

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ
KULLANARAK EVAPOTRANSPIRASYONUN
BELİRLENMESİ**

**Hazırlayan
Ümit Haluk ATASEVER**

**Danışman
Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN**

Doktora Tezi

**Mart 2016
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ
KULLANARAK EVAPOTRANSPIRASYONUN
BELİRLENMESİ
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Ümit Haluk ATASEVER**

**Danışman
Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN**

**Bu çalışma; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
(TÜBİTAK) tarafından 114Y049 kodlu proje ve 2211-C Kodlu Öncelikli
Alanlara Yönelik Doktora Bursu ile desteklenmiştir.**

**Mart 2016
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Ümit Haluk ATASEVER

İmza :



YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Uzaktan Algılama Teknolojileri Kullanarak Evapotranspirasyonun Belirlenmesi” adlı doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Ümit Haluk ATASEVER

Onaylayan

Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN

Harita Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Erkan BEŞDOK

KABUL VE ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN'ın danışmanlığında **Ümit Haluk ATASEVER** tarafından hazırlanan “**Uzaktan Algılama Teknolojileri Kullanarak Evapotranspirasyonun Belirlenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

18 /03 / 2016

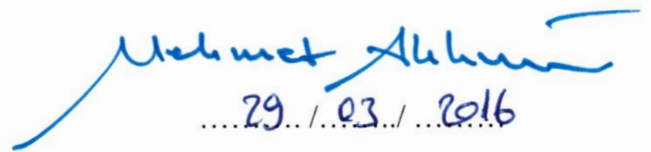
JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN
 Üye : Prof. Dr. Mahmut ÇETİN
 Üye : Doç. Dr. Murat ÇOBANER
 Üye : Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim İNAN
 Üye : Yrd. Doç. Dr. Cenk DÖNMEZ



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 29/03/2016 tarih ve 2016/16-22. sayılı kararı ile onaylanmıştır.


29.../...03.../...2016

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde önemli katkıları olan Sayın Hocam Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Arazi çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mahmut ÇETİN'e, Doç. Dr. Murat ÇOBANER ve Yard. Doç. Dr. Halil İbrahim İNAN'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına 114Y049 numaralı proje ve 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Doktora Bursu ile maddi destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen; yoğun çalışma dönemlerinde desteğini hep hissettiğim eşim Ferhan ATASEVER'e en içten sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Ümit Haluk ATASEVER

Kayseri, Mart 2016

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ KULLANARAK EVAPOTRANSPIRASYONUN BELİRLENMESİ

Ümit Haluk ATASEVER

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Mart 2016
Danışman: Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN**

ÖZET

Yakın zamana kadar, potansiyel ya da referans evapotranspirasyon hesaplamaları meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler, ya da Bowen sistemleri ile noktasal olarak yapılmaktaydı. Son yıllarda ise uzaktan algılama teknikleri ile bölgesel gerçek evapotranspirasyon haritaları üretilebilmektedir. Uzaktan algılama verileri harita, ziraat, orman, jeoloji gibi birçok bilim dalının temel veri kaynaklarından biri olmuştur. Çok kanallı birçok uydu sisteminin en önemli kullanım alanlarından biri SEBAL gibi teknikler yardımıyla gerçek evapotranspirasyon haritalarının üretimidir.

Bu tez kapsamında, Landsat 8 görüntülerinin kullanılabildiği ve yer kontrol noktalarına (yer gerçeği) bağlı olarak parametre optimizasyonunu otomatik yapabilen iki yaklaşım sunulmuştur. Uygulamaların tamamı, Türkiye'nin en önemli tarım alanlarından biri olan Çukurova bölgesindeki Akarsu Sulama Birliği havzasında gerçekleştirilmiştir. Her iki yaklaşımda da yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığı arasındaki farkı tanımlayan parametreler Diferansiyel Arama (DS) ile optimize edilirler. İlk yaklaşımda albedometre ölçümleri kullanılarak gerçek evapotranspirasyon haritaları üretilmektedir. İkinci yaklaşımda ise, albedo ölçümlerine gerek duyulmadan NFBİ-albedo dönüşüm katsayılarının optimizasyonu ile gerçek evapotranspirasyon değerleri hesaplanabilmektedir.

Konu edilen yaklaşımlar, 22 Ocak 2015, 28 Nisan 2015 ve 01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüleri ve albedo ölçümleri kullanılarak geliştirilmiş ve test edilmiştir. Farklı tarihlerde yapılan işlemler sonucunda, sunulan yaklaşımın elde ettiği sonuçlar ile yer gerçeği değerleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı istatistiksel testlerle irdelenmiştir. İstatistiksel test olarak, Normal dağılımı destekleyen bulgular için parametrik eşlenik çift t-testi (paired t test); Normal dağılımı desteklemeyen bulgular için ise parametrik olmayan Wilcoxon eşlenik işaret testi tercih edilmiştir. Testler neticesinde,

önerilen iki yaklaşımın ürettiği değerler ile yer gerçeği arasında anlamlı bir fark olmadığı ortaya konmuştur. Bu tez kapsamında, birçok kamu kurum ve kuruluşunun yer gerçeği değerleri belirlemek koşuluyla rahatlıkla kullanabileceği, en az düzeyde uzman bilgisi gerektiren SEBAL yaklaşımı önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Evapotranspirasyon, Gerçek Evapotranspirasyon, SEBAL, Diferansiyel Arama (DS)



DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION USING REMOTE SENSING TECHNOLOGY

Ümit Haluk ATASEVER

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Ph.D. Thesis, March 2016

Supervisor: Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN

ABSTRACT

Until recent years, evapotranspiration (ET) calculations were performed locally, using data obtained from weather stations, lysimeters or bowen systems. In recent years, regional actual evapotranspiration maps can be produced with remote sensing techniques. Remote sensing data have been one of the main data sources in many disciplines such as mapping, agriculture, forestry, geology. One of the multispectral satellite systems applications is actual evapotranspiration mapping via image processing techniques like SEBAL.

In this study, two SEBAL based approaches which can optimize some parameters with ground truth points and can use Landsat 8 images as data have been proposed. All of the applications have been realized in Akarsu Irrigation District -governed by Akarsu Water User Association- located in the Çukurova region which is a very important agricultural area in Turkey. In the first approach, actual evapotranspiration maps can be produced using albeometer measurements at ground truth points. In the second approach, actual evapotranspiration values can be calculated by optimizing NDVI-Albedo transformation coefficients without requiring measuring albedo values.

Suggested approaches have been developed and tested by using January 22 2015, April 28 2015 and July 01 2015 dated Landsat 8 images and albedo measurements. As a result of application on different days, proposed approaches have been examined whether there are significant differences between ground truth points' actual evapotranspiration values and model generated ET data through using parametric and non-parametric statistical tests. Parametric paired t-test and non-parametric Wilcoxon paired sign test are used as statistical hypothesis tests. The proposed SEBAL and Differential search (DS) based approach in this thesis, is capable of being user-friendly for institutions and organizations related to water management providing use ground truth points.

Keywords: Evapotranspiration, Actual Evapotranspiration, Albedo, SEBAL, Differential Search (DS)



İÇİNDEKİLER

UZAKTAN ALGILAMA TEKNOLOJİLERİ KULLANARAK EVAPOTRANSPIRASYONUN BELİRLENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
 GİRİŞ	 1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

2. BÖLÜM

ÇALIŞMA BÖLGESİ, TEÇHİZAT VE VERİLER

2.1 Çalışma Bölgesi	9
2.2 Landsat 8 (LDCM) Verisi ve Özellikleri	10
2.2.1 Operasyonel Arazi Görüntüleyici (Operational Land Imager)	10
2.2.2 Termal Kızılötesi Algılayıcı (Thermal Infrared Sensor)	10
2.3 Albedometre ve Veri Kaydedici.....	11

3. BÖLÜM

SUNULAN YAKLAŞIM (SEBAL-DS)

3.1 Piksel Değerlerinden Radyans ve Reflektans Değerlerinin Hesaplanması.....	13
---	----

3.2 Yüzey Sıcaklıklarının Hesaplanması.....	14
3.3 Net Radyasyonun Hesaplanması	15
3.3.1 Anlık Gelen Kısa Dalga Radyasyonun Hesaplanması	15
3.3.2 Anlık Gelen Uzun Dalga Boylu Radyasyonun Hesaplanması	16
3.3.3 Anlık Giden Uzun Dalga Boylu Radyasyonun Hesaplanması.....	16
3.4 Toprak Isı Akısının Hesaplanması	17
3.5 Hissedilebilir Isı Akısının Hesaplanması	17
3.7 Günlük Gerçek Evapotranspirasyonun Hesaplanması	18
3.8 Aylık Gerçek evapotranspirasyon Haritalarının Hesaplanması	21
3.9 Diferansiyel Arama Algoritması.....	21
3.9.1 Parametre Optimizasyonunda Kullanılan Maliyet Fonksiyonu	23
3.10 Lilliefors Testi.....	24
3.11 T Testi.....	25
3.11.1 Anakütle Ortalamasının Testi.....	25
3.11.2 Eşlenik Çift T Testi.....	26
3.12 Wilcoxon Eşlenik Çift Testi.....	26

4. BÖLÜM

SEBAL-DS İLE ELDE EDİLEN BULGULAR

4.1 Albedometre Ölçümleri ve Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi Değerlerinin İlişkilendirilmesi.....	28
4.1.1. 22 Ocak 2015 Tarihi İçin Albedo ve NFBİ Verilerinin İlişkilendirilmesi	32
4.1.2. 28 Nisan 2015 Tarihi için Albedo ve NFBİ Değerlerinin İlişkilendirilmesi	34
4.1.3. 01 Temmuz 2015 Tarihi İçin Albedo ve NFBİ Değerlerinin İlişkilendirilmesi	35
4.2 Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar	38

4.2.1 Uygulama No:1 (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)	38
4.2.2 Uygulama No:2 (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)	46
4.2.3 Uygulama No:3 (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)	52
4.3 Albedo Ölçümleri Kullanılmadan Elde Edilen Bulgular	59
4.3.1. Uygulama No:4 (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)	59
4.3.2 Uygulama No:5 (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)	63
4.3.3 Uygulama No: 6 (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)	66
4.4 Aylık Gerçek Evapotranspirasyon Değerlerinin Haritalanması	70
4.4.1 Ocak 2015 Ayı İçin Aylık Evapotranspirasyon Değerlerinin Hesaplanması ve Haritalanması Haritasının Hesaplanması	70
4.4.2 Nisan 2015 Ayı İçin Aylık Evapotranspirasyon Haritasının Hesaplanması	70
4.4.3 Temmuz 2015 Ayı İçin Aylık Evapotranspirasyon Haritasının Hesaplanması	70
4.5 Bitki Örtüsü ve Atmosferik Koşulların Değişiminin Model Üzerine Etkileri	72

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	86

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>	<u>Birim</u>
ET_a	Gerçek Evapotranspirasyon	(mm/gün)
NFBİ	Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi	Birimsiz
ET_r	Referans Evapotranspirasyon	(mm/gün)
DS	Diferansiyel Arama Algoritması	Birimsiz
$Objval$	Optimizasyon Maliyet Değeri	Birimsiz
$corr$	Person Korelasyon Fonksiyonu	Birimsiz
$pval$	P Olasılık Değeri	Birimsiz
LE	Gizli Isı Akısı	(Wm^{-2})
R_{net}	Net Radyasyon	(Wm^{-2})
H	Hissedilebilir Isı Akısı	(Wm^{-2})
G	Toprak Isı Akısı	(Wm^{-2})
L_λ	Toa Spektral Radyans	($Watts/m^2 \times srad \times \mu m$)
M_L	Banda Özgü Çarpım Faktörü	Birimsiz
Q_{cal}	Kalibre Edilmiş Piksel Parlaklık Değeri (DN)	Birimsiz
A_L	Banda Özgü Toplam Faktörü	Birimsiz
$p\lambda'$	Gezegensel Reflektans	Birimsiz
M_P	Banda Özgü Çarpım Faktörü	Birimsiz
Q_{calP}	Kalibre Edilmiş Piksel Parlaklık Değeri (DN)	Birimsiz
A_p	Banda Özgü Toplam Faktörü	Birimsiz
$p\lambda$	Düzeltilme Yapılmış Reflektans (Yansıma) Değeri	Birimsiz
θ_{sz}	Yerel Güneş Zenit Açısı	(°)
T_R	Radyometrik Sıcaklık	Kelvin
T_s	Yüzey Sıcaklığı	Kelvin
ε_s	Yüzey Emisivite Değeri	Birimsiz
$R_{s\downarrow}$	Gelen Kısa Dalga Radyasyon	(Wm^{-2})

α	Geniş Bant Yüzey Albedo Değeri	Birimsiz
$R_{L\downarrow}$	Gelen Uzun Dalga Radyasyon	(Wm^{-2})
$R_{L\uparrow}$	Giden Uzun Dalga Radyasyon	(Wm^{-2})
$R_{s\downarrow}^{TOA}$	Ekstra Karasal Solar Radyasyon	(Wm^{-2})
Ecc_0	Eksentirisite Düzeltme Faktörü	Birimsiz
w_s	Güneş Doğumu Saat Açısı	<i>radian</i>
Φ	Enlem Değeri	<i>radian</i>
d_{ang}	Gün Açısı	<i>radian</i>
τ	Atmosferik Geçirgenlik	Birimsiz
ε_a	Atmosferik Emissivite (Yayım)	Birimsiz
ρ_a	Hava Yoğunluğu	(kgm^{-3})
C_p	Havanın Isı Kapasitesi	$(Jkg^{-1}K^{-1})$
dT	Hava Sıcaklığı Ve Yüzey Sıcaklığı Arasındaki Fark	<i>Kelvin</i>
r_{ah}	Isı Transferine Karşı Aerodinamik Direnç	(sm^{-1})
MAE	Ortalama Mutlak Hata	Birimsiz
MARE	Ortalama Mutlak Oransal Hata	Birimsiz
RMSE	Ortalama Karesel Hatanın Kökü	Birimsiz

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.	LANDSAT 8 uydusunun temel özellikleri	11
Tablo 2.	Albedometrenin teknik özellikleri.....	12
Tablo 3.	Diferansiyel Arama Algoritmasına ait ölçek faktörleri.....	23
Tablo 4.	22 Ocak 2015 tarihli ölçüm değerleri ve yer gerçeği noktalarındaki bitki türü	30
Tablo 5.	28 Nisan 2015 tarihli ölçüm değerleri ve yer gerçeği noktalarındaki bitki türü	31
Tablo 6.	01 Temmuz 2015 tarihli ölçüm değerleri ve yer gerçeği noktalarındaki bitki türü	31
Tablo 7.	Noktalara ait NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve 3. dereceden polinomial regresyon ile elde edilen albedo değerleri	33
Tablo 8.	22 Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen albedo değerlerinin istatistiksel analizi	34
Tablo 9.	Noktalara ait NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve lineer regresyon ile elde edilen albedo değerleri.....	34
Tablo 10.	22 Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen albedo değerlerinin istatistiksel analizi	35
Tablo 11.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için noktalara ait NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve lineer regresyon ile elde edilen albedo değerleri.....	36
Tablo 12.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için elde edilen albedo değerlerinin istatistiksel analizi	37
Tablo 13.	Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri	39
Tablo 14.	Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi analizi	40
Tablo 15.	Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi.....	40
Tablo 16.	28 Nisan 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri.....	46
Tablo 17.	Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi.....	47

Tablo 18.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri ve sonuçlara ilişkin istatistiksel testler	52
Tablo 19.	Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi.....	54
Tablo 20.	Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri	59
Tablo 21.	Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi analizi	61
Tablo 22.	Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi.....	61
Tablo 23.	28 Nisan 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri.....	63
Tablo 24.	Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi.....	64
Tablo 25.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri ve sonuçlara ilişkin istatistiksel testler	66
Tablo 26.	Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi.....	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Çalışma bölgesi	9
Şekil 2.	Comet S6011 Veri Kaydedici (Solda) ve LP PYRA 05Albedometre	12
Şekil 3.	Sunulan Yaklaşımın İşlem Akışı Diyagramı.....	20
Şekil 4.	22 Ocak 2015 tarihli uygulamadaki Albedo-NFBİ (NDVI) arasındaki ilişki.....	29
Şekil 5.	28 Nisan 2015 tarihli uygulamadaki Albedo- NFBİ (NDVI) arasındaki ilişki.....	29
Şekil 6.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulamadaki Albedo- NFBİ (NDVI) arasındaki ilişki.....	30
Şekil 7.	22 Ocak 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği	41
Şekil 8.	22 Ocak 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği	41
Şekil 9.	22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen NFBİ haritası.....	42
Şekil 10.	22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası.....	43
Şekil 11.	22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen albedo haritası	44
Şekil 12.	22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklık haritası	45
Şekil 13.	28 Nisan 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği	47
Şekil 14.	28 Nisan 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği	47
Şekil 15.	28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası.....	48
Şekil 16.	28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen NFBİ haritası.....	49
Şekil 17.	28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen albedo haritası	50
Şekil 18.	28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklık haritası	51
Şekil 19.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği.....	54
Şekil 20.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği.....	54
Şekil 21.	01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası	55
Şekil 22.	01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen NFBİ haritası	56

Şekil 23.	01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen albedo haritası ..	57
Şekil 24.	01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklık haritası	58
Şekil 25.	22 Ocak 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği	61
Şekil 26.	22 Ocak 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği	61
Şekil 27.	22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası.....	62
Şekil 28.	28 Nisan 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği	64
Şekil 29.	28 Nisan 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği	64
Şekil 30.	28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası.....	65
Şekil 31.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği.....	68
Şekil 32.	01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği.....	68
Şekil 33.	01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası.....	69
Şekil 34.	Çalışma bölgesinin 2015 yılı ocak ayı için hesaplanan aylık ET_a haritası...	71
Şekil 35.	Çalışma bölgesinin 2015 yılı nisan ayı için hesaplanan aylık ET_a haritası..	71
Şekil 36.	Çalışma bölgesinin 2015 yılı temmuz ayı için hesaplanan aylık ET_a haritası	72

GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusuna bağlı olarak su gereksinimi de artmaktadır. Bu nedenle suyun etkin biçimde kullanımı geçmişe nazaran çok daha önemli hale gelmiştir. Su yönetiminin en önemli basamaklarından biri, su bütçesinin hassas biçimde hesaplanmasıdır. Su bütçesinin en önemli bileşeni ise gerçek evapotranspirasyondur. Konvansiyonel olarak referans evapotranspirasyon (ET) hesaplamaları FAO-Penman, Blaney-Criddle gibi tekniklerle yapılmakta; gerçek evapotranspirasyon ise lizimetreler yardımıyla arazide ölçülebilmektedir. Ayrıca, Bowen sistemleri aracılığıyla da ET kestirilebilmektedir [1-11]. Noktasal olarak oldukça hassas ölçümler yapılabilmesine rağmen, gerçek anlamda etkin bir su yönetimi için bölgesel evapotranspirasyon haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla geliştirilmiş olan SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), uydu görüntülerini kullanarak gerçek evapotranspirasyon haritalarını üretebilen çok kanallı bir görüntü işleme algoritmasıdır [12-23]. SEBAL tekniği elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızılötesi ve uzun dalga kızılötesi bölgelerinde algılama yapan uydulara ihtiyaç duyduğu için yapılan birçok çalışmada Landsat 5 ve 7, Modis, ASTER gibi uzaktan algılama uyduları tercih edilmiştir [9]. Ancak MODIS uydusunun mekânsal çözünürlüğünün oldukça düşük olması, Landsat 5 uydusunun artık çalışmaması, Landsat 7 uydusunun arızalı olması, ASTER uydusunun ise bazı spektral bantlarının görüntü üretmemesi gibi problemlerden dolayı gerçek evapotranspirasyon (ET_a) değerlerinin eldesi ve haritalanması için yeni uydu sistemlerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle SEBAL ile yeni uydu sistemlerinin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Yeni uydu sistemlerinden Landsat 8, gerekli tüm spektral bantları içermesi, mekânsal çözünürlüğünün yeterli olması ve dağıtımının oldukça hızlı ve ücretsiz olmasından dolayı akla ilk gelen sistem olmaktadır. Landsat 8'in Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) tekniği ile kullanımında karşılaşılan en önemli problem, bu uydu sistemi için geliştirilmiş bir albedo eşitliğinin olmaması ve Hissedilebilir Isı Akısı'nın (H) hesaplanması sırasında uç piksel seçiminin uzmanlık gerektirmesidir [12]. Bununla birlikte literatürde albedo ile normalize edilmiş fark bitki indeksi (NFBİ) arasında

oldukça kuvvetli bir ilişki olduğu belirtilmiştir [24, 25]. Bu özelliği kullanabilmek için tez kapsamında bir albedometre temin edilmiş ve çalışma bölgesinde farklı noktalarda gerçek albedo ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen albedo değerleriyle ölçümlerin yapıldığı aynı koordinatlara denk gelen piksellerden hesaplanan NFBİ değerleri arasındaki ilişki lineer regresyon tekniği ile modellenmiştir. Ayrıca albedo ölçümlerine gerek kalmadan, yer yer gerçeği değerleri yardımıyla NFBİ ve albedo arasındaki lineer ilişkinin Diferansiyel Arama Algoritması ile modellenbildiği ikinci bir yaklaşımda önerilmiştir. Bu yaklaşımda basit bir regresyon modeli olan $Albedo = k1 + k2 \times NFBİ$ dönüşümdeki $k1$ ve $k2$ parametreleri yer gerçeği değerlerine bağlı olarak optimize edilmektedir. Kurulan modeller, ölçüm sayısının görece az olduğu uygulamalarda Wilcoxon işaret testi ile fazla olduğunda Eşlenik t-testi kullanılarak analiz edilmiştir.

Klasik SEBAL yaklaşımında Hissedilebilir Isı Akısının hesaplanması esnasında, ıslak (wet) ve kuru (dry) uç (ekstrem) pikseller kullanıcı tarafından uydu görüntüsü üzerinden seçilir. Daha sonra yüzey sıcaklıkları (T_s) ve hava sıcaklığı (T_a) arasındaki fark olan dT parametresine dönüşüm gerçekleştirilir. Bu işlemde yapılan, uç (ekstrem) pikseller yardımıyla $dT = a + b \times (T_s)$ dönüşümündeki a ve b katsayılarının hesaplanmasıdır. Aslında bu dönüşüm, dT hesaplaması için uç (ekstrem) pikseller yardımıyla parametre tahmini yapılan basit lineer regresyon modelidir. Klasik SEBAL yaklaşımında ET_a haritalarının doğruluğu, ıslak (wet) ve kuru (dry) uç (ekstrem) piksellerin doğru olarak seçilmesine büyük ölçüde bağlıdır. Bu problemi aşmak için, bir başka deyişle uç (ekstrem) piksellerin kullanımına gerek kalmaması için, a ve b katsayılarının hesaplanmasında Diferansiyel Arama (DS) optimizasyon algoritması kullanılmaktadır. Bu araştırma ile su yönetimi ile sorumlu kurum ve kuruluşların kullanabileceği Landsat 8 görüntüleri ile çalışabilen uç piksel seçim ilemini otomatik olarak yapabilen SEBAL tabanlı yeni bir yaklaşımın geliştirilmesi ve test edilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen yöntemde, çalışma bölgesinde belirlenen yer gerçeği noktalarında hesaplanan ET_a ile aynı noktaya ait DS ile optimize edilen a ve b parametrelerine göre hesaplanmış ET_a değerleri arasındaki farkın minimum olması amaçlanmıştır. Tez kapsamında sunulan albedo ölçümlerinin kullanıldığı yaklaşımda sadece a ve b parametreleri optimize edilirken; albedo ölçümlerinin kullanılmadığı yaklaşımda ise a , b , $k1$ ve $k2$ parametreleri optimize edilmektedir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

Dünyanın birçok ülkesinde, su/sulama yönetimi bilimsel veri ve yöntemlerle yürütülmekte, evapotranspirasyon değerlerinin üretilmesi ve bu verilere göre kullanılacak suyun belirlenmesini temel alan farklı yöntemler kullanılmaktadır. Referans *ET* hesabında kullanılan FAO-Penman, Thornwait ve Blaney-Criddle gibi birçok farklı hesaplanma tekniği bulunmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Penman metodunu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ise Blaney-Criddle ve FAO-Penman yöntemini kullanmaktadır [26]. Bu yöntemlerden en fazla kullanılanı ise FAO-Penman metodudur. Bu yöntemlerin temeli, meteorolojik veriler kullanılarak referans evapotranspirasyonun tahmin edilmesine dayanmaktadır. Doğrudan ölçme yöntemleri doğruluğu yüksek sonuçlar vermesine rağmen pahalı ve uzun zaman gerektiren işlemlerdir. Gerek doğrudan ölçmeler gerekse iklim verilerinin kullanılarak geniş alanlara ait ET_a 'nin hesaplanması; yeterli ayrıntı olmaması, mevcut verilerin noktasal ve subjektif olması gibi nedenlerden ötürü oldukça zor ve birçok uygulama için yeterli değildir [26]. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek ve üretilen veriyi birçok disiplin için kullanışlı kılmak bakımından uzaktan algılama, uydu görüntülerinin yüksek mekânsal ve spektral çözünürlüklere sahip olması ve çok geniş alanlara ait sinoptik, sürekliliği olan objektif bilgileri içermesinden dolayı oldukça etkin bir yöntem olarak önemli bir avantaja sahiptir [27].

Evapotranspirasyonun uzaktan algılama teknikleri ile hesaplanmasında kullanılan en etkin yöntemler “Arazi İçin Yüzey Enerji Dengesi” (SEBAL: Surface Energy Balance Algorithm For Land) ve yine SEBAL yönteminden geliştirilen METRIC (Mapping Evapotranspiration At High Resolution With Internalized Calibration) yöntemleridir. Bu yöntemlerle, çalışma alanının büyüklüğü arttıkça evapotranspirasyonun belirlenmesinde daha başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Örneğin SEBAL yönteminde 1 ha’lık alan için %10-20, 1000 ha’lık bir alan için %5 ve 1 milyon ha’lık bir alan için ise ihmal edilebilir düzeyde bir hata elde edilmektedir [13, 28]. Hongjun Li ve ark. (2008) yaptıkları bir çalışmada, çalışma bölgesi olarak dünyanın su stresi en fazla olan alanlarından Kuzey Çin

Ovası'nı seçmişlerdir. SEBAL yönteminin ve AVHRR verilerinin tercih edildiği makalede söz konusu bölgedeki kışlık buğdaya ait su tüketimini dolayısıyla ET_a 'yı hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda çalışmanın doğruluğunu ölçmek için lizimetre kullanmışlar ve %4.3 hata oranını elde etmişlerdir [29]. 2000 yılında Bastiaanssen tarafından gerçekleştirilen ve çalışma bölgesi Gediz Havzası olarak seçilen çalışmada bölgeye ait 26 Haziran 1998 ve 29 Ağustos 1998 günlerine ait gerçek evapotranspirasyon miktarlarını hesaplamış ve havza alanlar için SEBAL yöntemini önermiştir [30]. 2007 yılında Kimura ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Çin'e ait Loess Platosu'na ait günlük (24-h) ET_a değerleri Landsat 5 verileri kullanılarak hesaplanmıştır [31]. Evapotranspirasyon hesabı için uzaktan algılama disiplini dünyanın birçok farklı bölgesinde kullanılmıştır. Kongo ve ark. [32] tarafından Güney Afrika'nın Yukarı-Thukela Havzası'nda yapılan çalışmada 2005 Haziran ve 2006 Eylül tarihleri arasında MODIS uydusuna ait 28 görüntü kullanılarak arazi kullanım amacı farklı alanların evaporatif su kullanımı belirlenmiştir. Makalede mevsimlere göre farklılık gösteren buharlaşma miktarlarının değişimi izlenmiştir. 2011 yılında Sun ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Çin'in Nansi Gölü Sulak alanlarında SEBAL yöntemi kullanılarak ET_a hesaplanmıştır. Landsat 7 ETM verilerinin kullanıldığı çalışmada günlük ET_a hesaplanmasında ortalama olarak %10.8'lik bir hata değeri elde edilmiş ve SEBAL yöntemi sulak alanların gerçek ET_a değerlerinin hesaplanması için önerilmiştir [33]. Chemin ve arkadaşları tarafından yapılan uygulamada Özbekistan'ın Fergana iline ait ET_a değerleri uzaktan algılama verileri kullanılarak (SEBAL Yöntemi ile) hesaplanmıştır. NOAA/AVHRR verilerinin kullanıldığı çalışmada elde edilen ET_a değerleri direk ölçme yöntemleriyle karşılaştırılmış ve geniş alanlar için bu yöntemin kullanılabileceği gösterilmiştir [19]. Kenya'da Yukarı Ewaso Ng'iro Kuzey Havzası'nda Mutiga ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada 2000, 2003 ve 2006 yıllarındaki ET_a haritaları MODIS verileri kullanarak hesaplanmış ve FAO-56 yöntemi ile hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bulgulara göre SEBAL yönteminin büyük alanlar için etkin bir yöntem olduğu belirtilmiştir [34]. FAO-Penman yöntemi, ABD Gıda ve Tarım Örgütü tarafından kullanılan en temel referans ET hesaplama yöntemlerinden biridir [7, 35]. 2009 yılında Teixeira ve arkadaşları tarafından Brezilya'daki Sao Francisco Nehri Havzası'na ait ET_a değerleri SEBAL yöntemi kullanılarak bulunmuştur. Bu çalışmada SEBAL'in giriş parametrelerinin kalibrasyonu yapılmıştır [35]. Jang ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, Kore'nin Gwangneung ve Haenam yerleşkeleri ile Japonya'nın

Takayama Ormanı ve Tomakomai şehri içi ET_a hesaplaması MODIS verileri kullanarak yapılmıştır. Çalışma sonucu MODIS görüntüsünün çok büyük alanların ET_a değerlerinin hesaplanabilmesi için etkin olarak kullanılabileceği belirtilmiştir [36]. Amerika’da, Batra ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, ABD’nin Büyük Güney Ovası Bölgesine ait ET_a değerleri uzaktan algılama verileri kullanarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada MODIS ve AVHRR verileri kullanılmıştır. Çalışmanın temelinde klasik potansiyel ET hesaplama yöntemlerinden biri olan Priestley–Taylor Eşitliği ile uzaktan algılama verilerinin ilişkilendirilmesi (Yüzey sıcaklığı ve bitki indeksi ile) yatmaktadır. Yazarlar tarafından önerilen yöntemde büyük alanlara ait ET_a değerlerinin hesaplanması için uydu verilerinin kullanılmasının gerekliliği vurgulanmıştır [37]. 2008 yılında İtalya’nın güneyinde Basilicata Bölgesinde yapılan çalışmada ET_a hesaplamaları için Landsat 5 ve 7 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Söz konusu bölge 9992 km² büyüklüğünde olmasından dolayı arazi örtüsü CORINE veri tabanından elde edilmiştir. İki Kaynaklı Enerji Dengesi (Two-Source Energy Balance - TSEB) metodunun tercih edildiği yöntemde günlük ET_a değerlerini, yerel meteoroloji istasyonları ile yapılan kontrol ölçmelerine göre ortalama 1 mm/gün hata değeri ile elde etmişlerdir [38]. 2008 yılında Singh ve arkadaşları tarafından Güney Nebraska’da yapılan çalışmada konuma ait gerçek evapotranspirasyon haritaları ve yüzey enerji akışları SEBAL yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait Landsat 5 ve 7 uydu görüntülerinin kullanıldığı çalışmada yazarlar, ölçülmüş ET_a değerleri ile SEBAL ile hesapladıkları değerler arasında %5 hata değeri olduğunu gözlemlemişler ve geniş alanlar için bu değer kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir [39]. ET_a hesabının yüksek doğrulukla yapılabilmesi için en önemli etkenlerden biri araştırma alanına ait uydu görüntülerinin yüksek çözünürlüklü olmasıdır. Hafeez ve arkadaşları tarafından Filipinler’de yapılan çalışmada ülkenin en büyük pirinç üretiminin yapıldığı bölgelerden Luzon Bölgesinde, Terra ASTER, Landsat 7 ETM+ ve MODIS verilerini kullanarak SEBAL ile bölgenin ET_a haritası üretilmiş ve doğrudan ölçümler ile uydu görüntülerinden elde edilen ET_a değerleri karşılaştırılmıştır. Doğrudan ölçümler baz alındığında ortalama olarak Terra ASTER ile %9, Landsat 7 ETM+ ile %3 ve MODIS ile %13 sapmayla ET değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın sonucunda, çalışma alanının çok büyük olmaması durumunda Landsat ve ASTER kullanımının daha doğru sonuçlar vereceği vurgulanmıştır [9].

SEBAL sulama suyu tüketiminin belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Hafeez ve Kahn tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada Çin’e ait Liuyuankou sulama sistemindeki su

tüketiminin belirlenmesinde MODIS uydu görüntüsü ve SEBAL yöntemi tercih edilmiştir. Yöntemin kontrolü için ET_a değerleri yersel ölçümler ile hesaplanmış ve SEBAL'in ürettiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Doğrudan ölçmelerle %5 civarında bir farklılık olduğu gözlemlenmiş ve büyük alanların ET_a değerlerinin hesaplanmasında bu hata değerinin kabul edilebilir bir hata oranı olduğu vurgulanmıştır [40]. Hafeez ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada Avustralya'daki Murrumbidgee Havzası için ET_a haritası SEBAL yöntemi kullanılarak üretilmiştir. NOAA-AVHRR, MODIS ve Landsat 5 TM verilerinin kullanıldığı çalışmada doğrudan ölçümlerle elde edilen değerlere en yakın sonucu Landsat verileri ile ulaşılmış ve yazalar bu verinin kullanılmasını önermiştir [41].

Homojen olmayan büyük bölgelerde evapotranspirasyon hesabı oldukça önemli fakat zordur. Bu sebepten etkin bir yöntem seçmek hayati önem taşımaktadır. Guo ve arkadaşları Tibet Platosundaki ET_a değerlerini hesaplamak için Landsat 7 ETM+ verilerin kullanmışlar ve homojen olmayan büyük alanlar için ET_a hesabında uzaktan algılama verilerinin kullanılabileceğini göstermişleridir [42].

Uzaktan algılama verileri ile evapotranspirasyonun ve büyük alanlar için su kaybının kabul edilebilir bir hata değeri ile hesaplanabilmesinden dolayı bu konuyla ilgili değişik çalışmalar IEEE tarafından desteklenen birçok sempozyumda sunulma imkanı bulmuştur. Jun ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yayımlanan bildiride, Çin'in Haihe Havzası'nda yapılan çalışmada yıllık ET_a değerlerini hesaplamak için SEBAL yöntemini ve Landsat 5-7 verilerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda yıllık ET_a değerlerini hidrolojik yöntemlere göre 2003 yılı için %10 fark ve 2004 yılı için %6 hata değeri ile bulmuşlardır. Bu hata değerlerinin çalışma alanı yaklaşık 3177 ha olduğu için kabul edilebilir bir hata değeri olduğu söylenebilir [43]. 2001 yılında Allen ve arkadaşları tarafından ABD Idaho'daki Bear Riber Havzası'na ait 1985 yılı Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları için ET_a değerlerini hesaplamış ve mevcut doğrudan ölçümlerle (lizimetre) üretilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuçta SEBAL yöntemi, lizimetre ölçümleri ile aylık bazda %16, sezonsal bazda %4 farkla ET_a değerlerini hesaplamıştır [14]. Aylık bazdaki bu farkın, kullanılan uydu görüntüsünün Landsat 5 olması dolayısıyla termal bandın uzaysal çözünürlüğünün 120 m olmasından kaynaklanmaktadır.

Uzaktan algılama yöntemleri ile ET_a hesabı kentsel alanlara göre tarımsal alanlarda daha başarılı sonuçlar vermektedir. Morse ve arkadaşları tarafından 2003 yılında yapılan

Güneybatı Idaho'da Boise Vadisi'ne ait ET_a değerlerinin hesaplanması için yapılan çalışmada tarımsal alanlarda günlük bazda ortalama 1.5 mm/gün hata değeri ile sonuçlar elde edilirken, kentsel alanlarda sezonsal ET_a değerlerinde ortalama %15-20 sapma gözlemlenmiştir [44]. Uydu görüntüsünün gözlemlediği alan içinde tarımsal alanların artması genel doğruluğun artması için bir etken olabilmektedir. Dolayısıyla mevcut arazi kullanımındaki değişimler, ET_a değerlerinde önemli değişimlere sebebiyet verebilmektedirler. Chuansheng ve arkadaşları tarafından Çin'e ait Tarım Havzası'nda yapılan çalışmada, SEBAL ve Landsat ETM+ verileri kullanılarak arazi kullanımındaki değişimlerin gerçek evapotranspirasyon değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. NFBİ üzerinde değişimler olduğundan dolayı ET_a değerlerinin SEBAL ile üretiminde önemli değişimler olduğu gözlemlenmiştir [45]. Mingming ve arkadaşları 2011 yılında Çin'in Sarı Nehir Deltası'nda (Yellow River Delta) MODIS uydu görüntüsünü ve SEBAL yöntemini kullanarak yaptıkları çalışmada ET_a değerlerinin zamansal ve konumsal değişimini incelemişlerdir [46].

Bitkilerin büyüme evresinde su açığının büyümeyi etkileyecek önemli bir etken olduğu düşünülürse, gerçek evapotranspirasyon değerinin mümkün olduğu kadar doğru hesaplanması hayati önem taşımaktadır. Küçük alanlarda ET_a değerinin doğrudan ölçme yöntemleri ile hesaplanması başarılı ve çok doğru sonuçlar vermesine rağmen çok büyük alanlar için bu çok mümkün olmamaktadır. Bu problemin üstesinden gelebilmek için uzaktan algılama teknolojisi kullanılmaktadır. Lihongve arkadaşları tarafından 2010 yılında Çin Songnen Ovası'nda yapılan konumsal ET_a haritalama işlemi için MODIS uydu verileri ve SEBAL yöntemi tercih edilmiştir. Kontrol değerleri istasyondan elde edilmiş ve SEBAL'in sonuçları ile karşılaştırılmıştır. SEBAL yönteminde tüm bitki büyüme sezonunda %18.26 sapma gözlemlenmiştir. Bu değer gerek kullanılan uydu görüntüsünün uzaysal çözünürlüğünün görece düşük olması gerekse çalışma alanının konumsal olarak farklı iklimsel varyasyonlara sahip olmasından dolayı araştırmacı tarafından kabul edilebilir bir değer olarak tanımlanmıştır [47]. ET_a değerlerini etkileyen başka bir etken ise yine arazi kullanımındaki değişimden kaynaklanan arazi yüzey sıcaklığındaki değişimdir. Cao ve arkadaşlarının 2009 yılında yayımlanan çalışmalarında 1990 ve 1999 yılları arasındaki arazi kullanımındaki değişimin dolayısıyla arazi yüzey sıcaklığının ET_a üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ET_a hesabı ile arazi yüzey sıcaklığının tüm arazi tipleri için belirgin biçimde negatif korelasyona sahip olduğu

gösterilmiştir [48]. Arazi yüzey sıcaklığıyla beraber kentleşmenin başlıca etkilerinden nüfus artışı ve endüstrileşme gibi etkenler kentsel ısı adalarının oluşmasında neden olmaktadır. Kentsel ısı adaları ise ET_a değerlerini değiştiren etkenlerden biri haline gelmektedir. 2008 yılında Lin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ısı adaları ve ET_a arasındaki ilişkiyi irdelemişlerdir [49].

Su kaynaklarının yönetimi hem lokal hem de global olarak büyük önem taşıdığından, su yönetiminin doğru yapılması ancak doğruluğu yüksek verilerin elde edilmesi ile mümkündür. Bu verilerden en önemlisi su kaybının dolayısıyla bölgeye ait ET_a değerlerinin mümkün olduğu kadar hassas olarak hesaplanmasıdır. Bu amaçla dünyanın birçok ülkesinde geniş alanların ET_a değerlerinin hesaplanmasında uzaktan algılama verilerin kullanıldığı birçok doktora ve yüksek lisans tezleri bulunmaktadır. 2010 yılında Chatterjee tarafından tamamlanan doktora tezinde uzaktan algılama verileri ile ET_a hesabının etkinliği için geniş çaplı bilgi verilmiştir [50]. Su [51], 2008 yılında tamamladığı doktora tezinde ABD Oklahoma'ya ait ET_a değerlerini hesaplamak için MODIS verilerinden faydalanmıştır. Güney Dakota'daki su kullanımı belirlemek amacıyla hazırlanan, 2008 yılında kabul edilen doktora tezinde Swanson, bölgeye ait ET_a değerlerini hesaplamak için MODIS, Landsat verileri ile SEBAL ve METRIC yöntemlerini tercih etmiştir [52].

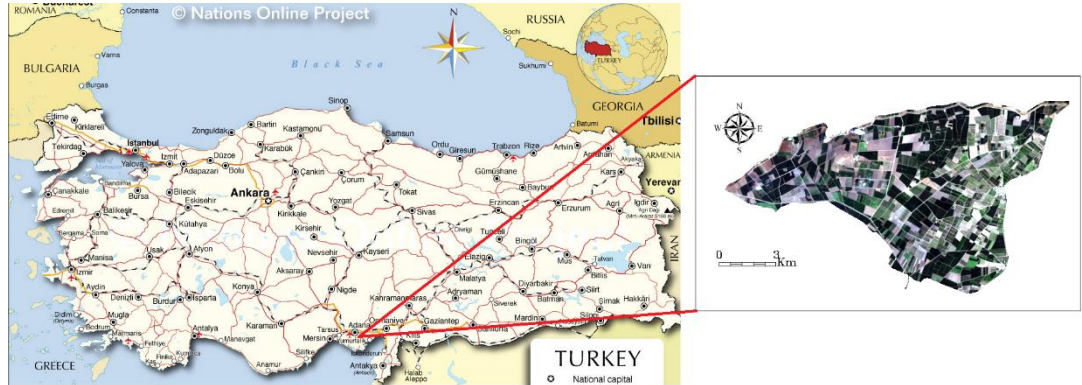
SEBAL yönteminin belirli amaçlarla modifiye edilmiş farklı versiyonları da bulunmaktadır. 2003 yılında Tasumi tarafından hazırlanan doktora tezinde SEBAL yöntemi temel alınarak SEBAL-ID isimli bir model üretilmiştir. Bu yeni model SEBAL'in dağlık veya fazla engebeli alanlardaki zayıflığını gidermek için geliştirilmiş ve Güney Idaho'da Idaho Su Kaynakları Yönetimi'ne ait lizimetre ölçümleri ile karşılaştırılmış ve kullanılması önerilmiştir [18].

2. BÖLÜM

ÇALIŞMA BÖLGESİ, TEÇHİZAT VE VERİLER

2.1 Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi olarak, Adana ili Aşağı Seyhan Ovası (ASO) sol sahil sulama alanında yer alan ve hidrolojik olarak “sınırları iyi tanımlanabilme” olanağı olan Akarsu Sulama Birliği sulama sahası tercih edilmiştir. Çalışma bölgesi, Türkiye’nin en önemli tarım bölgelerinden biri olan Çukurova’nın sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Coğrafi bakımdan 36° 51' 46"-36° 57' 00" kuzey enlemleri ve 35° 24' 10"-35° 36' 34" doğu boylamları arasında yer alan çalışma alanı 9495 ha olup, Akdeniz iklimi etkisi altındadır [53]. Çalışma bölgesinin en önemli özellikleri ise, her mevsim ürün bulunması ve farklı birçok bitkinin ekiliyor olmasıdır.



Şekil 1. Çalışma bölgesi

Alüvyon toprak yapısı, eğimin oldukça az olması ve sulanabilir tarım arazilerinin geniş olması gibi nedenlerden dolayı bölge tarım için Türkiye’nin, dolayısıyla da Çukurova’nın en önemli alanlarından biridir. Çalışma alanında Akdeniz iklimi görülmektedir. Kış döneminde çoğunlukla buğday, soğan, patates ve kısmen marul; yaz döneminde ise çoğunlukla mısır, pamuk olmak üzere soya yer fıstığı ve susam tarımı yapılmaktadır [53]. Buna ek olarak narenciye (portakal, mandalina, limon ve greyfurt) üretimi de oldukça

yüksektir. Çetin ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmalarda, narenciye ekim alanlarının %26 dolayında olduğu saptanmıştır [53]. Tarım arazilerinin tamamı beton kaplamalı sulama kanalları yardımıyla sulanmaktadır [54].

2.2 Landsat 8 (LDCM) Verisi ve Özellikleri

Tez kapsamında kullanılan temel veri (22 Ocak 2015, 28 Nisan 2015 ve 01 Temmuz 2015 tarihli) Landsat 8 uydu görüntüleridir. Landsat 8 uydusu günde yaklaşık 700 görüntü alabilmektedir. Uydunun görüntü formatı GeoTiff; projeksiyonu UTM, datumu WGS84 ve yeniden örnekleme tekniği Kübik Konvolüsyondur. Yaklaşık 5.5 yılda geliştirilen bu uydunun kullanım süresinin 10 yıl olacağı düşünülmektedir. Landsat 8 Operasyonel Arazi Görüntüleyici (OLI) ve Termal Kızılötesi Algılayıcı (TIRS) olmak üzere iki sensörle algılama yapmaktadır [55].

2.2.1 Operasyonel Arazi Görüntüleyici (Operational Land Imager)

Operasyonel Arazi Görüntüleyici (OLI) sensörü NASA'nın deneysel uydularından EO-1'deki Advanced Land Imager(ALI) sensörünün geliştirilmiş halidir. OLI'de daha önceki Landsat serilerinde kullanılan whiskbroom aksine pushbroom sensör tercih edilmiştir. Bu sensör için her bir spektral bantta 7000'nin üzerinde algılayıcı ve daha az hareketli parça bulunmakla beraber yeryüzüne ait bilgiler daha doğru olarak elde edilebilmektedir. Ek olarak coastal band ve cirrus band bilim insanlarının su kalitesini ölçmesine ve ince bulutları tespit etmesine imkân vermektedir [55].

2.2.2 Termal Kızılötesi Algılayıcı (Thermal Infrared Sensor)

Bu sensör evapotranspirasyon hesaplamaları gibi önemli uygulamaların gerçekleştirilebilmesi için GaAs Quantum Well Infrared foto-algılayıcı dizisi kullanılarak tasarlanmıştır. Termal Kızılötesi Algılayıcı (TIRS) verisi OLI verisine kaydedilerek radyometrik, geometrik ve arazi bazlı düzeltmeleri yapılmış 12-bit radyometrik çözünürlüğe sahip Landsat 8 görüntüsü elde edilir [55]. LANDSAT 8 (LDCM) uydusunun temel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. LANDSAT 8 uydusunun temel özellikleri

Sensör	Spektral Bant	Dalgaboyu (μm)	Çözünürlük (m)
OLI (Operasyonel Arazi Görüntüleyici)	Band 1 Coastal Aerosol	0.43-0.50	30
	Band 2 Blue	0.45-0.50	30
	Band 3 Green	0.53-0.59	30
	Band 4 Red	0.64-0.67	30
	Band 5 Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	30
	Band 6 SWIR1	1.57-1.65	30
	Band 7 SWIR2	2.11-2.29	30
	Band 8 Panchromatic	0.50-0.68	15
	Band 9 Cirrus	1.36-1.38	30
TIRS (Termal Kızılötesi Algılayıcı)	Band 10 Thermal Infrared1	10.60-11.19	100
	Band 11 Thermal Infrared2	11.50-12.51	100

2.3 Albedometre ve Veri Kaydedici

Net radyasyon ve Toprak ısı akısının hesaplanması amacıyla gerekli olduğu için albedometre ölçümleri oldukça önemlidir. Albedometre olarak LP PYRA 05 tercih edilmiştir. Albedometre tarafından üretilen değerlerin kaydedilmesi için ise Comet S6011 kullanılmıştır. LP PYRA 05 cihazı $0.3 \mu\text{m}$ - $2.8 \mu\text{m}$ spektral aralığındaki elektromanyetik enerjinin yeryüzü yansıtım karakterine göre ortak bir albedo değeri üretmektedir. Bu albedometrede 1. Sınıf kalitede iki ayrı pasif piranometre bulunmaktadır. Burada albedometre tarafından ölçülen değerler bir milivoltmetre tarafından hesaplanarak veri kaydediciye aktarılır. Bu yüzden veri kaydedicideki okunan değerler 0-20 mV arasında olur. Hesaplanan bu potansiyel farkın irradyans değerlerine dönüştürülmesi için Eşitlik 1 kullanılır.

$$E_e = \frac{PF}{S} \quad (1)$$

Eşitlikte E_e irradyans değeri (W m^{-2}) PF voltmetre tarafından ölçülen potansiyel fark (μV) S kalibrasyon faktörüdür ($\mu\text{V}/(\text{W m}^{-2})$). S değeri cihazın üretimi sırasında hesaplanır ve kalibrasyon raporu ile kullanıcılara iletilir. Delta Ohm LP PYRA 05 albedometrenin teknik özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Albedometrenin teknik özellikleri

Özellikler	Değer
Öz Direnç	$30\Omega \div 60\Omega$
Ölçüm Aralığı	0-2000 ($W m^{-2}$)
Görüş Açısı	2π rs
Spektral Çalışma Aralığı	305nm-2800nm
Çalışma Sıcaklığı	-40°C-80°C
Ağırlık	1.35 kg

Albedometrenin kabul edilebilir doğrulukta ölçüm yapabilmesi için (%95 doğruluk), albedosu ölçülecek bitkiye tam dik ve yaklaşık 1 m mesafeden en az 28 saniye ölçüm yapılmalıdır. Tez kapsamında bu süre 1 dakika olacak şekilde uygulama yapılmıştır. LP PYRA 05 albedometre ve Comet S6011 veri kaydediciye ilişkin görüntüler Şekil 2’de sunulmuştur. Görüntülerin ön işlem uygulamaları ENVI yazılımı ile gerçekleştirilmiş, sunulan yaklaşımın tamamı Matlab programlama dilinde kodlanmış ve uygulama ile testlerin tamamı Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Comet S6011 Veri Kaydedici (Solda) ve LP PYRA 05 Albedometre (Sağda)

3. BÖLÜM

SUNULAN YAKLAŞIM (SEBAL-DS)

SEBAL, Bastiaanssen vd. (1998) tarafından uydu görüntüleri kullanarak geniş alanlara ait gerçek evapotranspirasyon değerlerinin haritalanması için geliştirilmiş bir görüntü işleme algoritmasıdır [12, 13]. Bu teknik kullanıldığında, toprak veya arazi kullanımına ilişkin herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. SEBAL tekniğinde yüzey enerji dengesi her bir piksel için uygulanarak gerçek evapotranspirasyon değerleri elde edilir. Temel enerji dengesi Eşitlik 2'deki gibi tanımlanır:

$$LE = R_{net} - H - G \quad (2)$$

Eşitlikte LE gizli ısı akısı ($W m^{-2}$); R_{net} net radyasyon ($W m^{-2}$); H hissedilebilir ısı akısı ($W m^{-2}$); G ise toprak ısı akısıdır ($W m^{-2}$). Kısaca SEBAL, enerji dengesi bileşenlerinin hesaplanması ve elde edilen bulguların ET_a değerlerine dönüştürülmesinden oluşur [13].

3.1 Piksel Değerlerinden Radyans ve Reflektans Değerlerinin Hesaplanması

Klasik SEBAL tekniğinde olduğu gibi sunulan yaklaşımın ilk aşamasında da piksel parlaklık değerleri meta veri dosyasından elde edilen ölçekleme faktörleri kullanılarak radyans değerlerine dönüştürülür [56]:

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (3)$$

Eşitlikte, L_λ TOA(top of atmosphere) spektral radyans ($Watts/m^2 \times srad \times \mu m$); M_L meta veriden elde edilen banda özgü çarpım faktörü; A_L banda özgü toplam faktörü; Q_{cal} kalibre edilmiş piksel değerleridir. Burada tanımlanan Eşitlik 3, radyans dönüşümü yapılacak her bir banda ayrı ayrı uygulanır. Daha sonra Landsat 8 uydusunun OLI sensörüne ait band verileri meta veri dosyasında verilen dönüşüm katsayıları ile reflektans değerlerine dönüştürülürler [56]:

$$p\lambda' = M_p \times Q_{calP} + A_p \quad (4)$$

Burada $p\lambda'$ gezegensel reflektans; M_p meta veri dosyasından elde edilen banda özgü çarpım faktörü; A_p meta veri dosyasından elde edilen banda özgü toplam faktörü; Q_{calP} kalibre edilmiş piksel değerleridir. Ek olarak radyans ve reflektans dönüşümü yapılacak her bir bandın ölçekleme faktörleri farklıdır. Ayrıca Eşitlik 4'deki $p\lambda'$ güneş açısı düzeltilmesi içermemektedir. Düzeltme Eşitlik 5 ile tanımlanmıştır [56]:

$$p\lambda = \frac{p\lambda'}{\cos(\theta_{sz})} \quad (5)$$

Burada $p\lambda$ düzeltme yapılmış reflektans değeri; θ_{sz} yerel güneş zenit açısıdır. Burada ki yerel güneş açısı (θ_{sz}) toplam ve ölçekleme faktörlerinde olduğu gibi meta veri dosyasında sunulmaktadır.

3.2 Yüzey Sıcaklıklarının Hesaplanması

Yüzey sıcaklıklarının hesaplanması için radyometrik sıcaklık değerleri bulunur:

$$T_R = \frac{C_2}{\ln\left(\frac{C_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (6)$$

Eşitlik 6'daki T_R (K) radyometrik sıcaklık; L_λ TOA spektral radyans değerleri ($Watts/m^2 \times srad \times \mu m$); C_1 ve C_2 meta veri dosyasından alınan dönüşüm sabitleridir. Daha sonra Eşitlik 7 yardımıyla yüzey sıcaklıkları hesaplanır [56]:

$$T_s = \frac{T_R}{\varepsilon_s^{0.25}} \quad (7)$$

Eşitlik 7'deki T_s (K) yüzey sıcaklığı ve ε_s ise yüzey emisivite değerleridir. Yüzey emisivite değeri Eşitlik 8 ile hesaplanabilir [12, 57]:

$$\varepsilon_s = 1.009 + 0.04 \times \log(NFBI) \quad (8)$$

Eşitlik 8'de log doğal logaritma fonksiyonudur. NFBI değerleri ise Eşitlik 9 ile hesaplanır:

$$NFB\dot{I} = \frac{B_5 - B_4}{B_5 + B_4} \quad (9)$$

Eşitlik 9’da B_4 ve B_5 sırasıyla Landsat 8 görüntüsünün 4 ve 5 numaralı bantların reflektans değerleridir.

3.3 Net Radyasyonun Hesaplanması

Net radyasyon klasik anlamda, gelen radyasyondan giden radyasyonun farkı olarak tanımlanabilir ve tez kapsamında Eşitlik 10 ile hesaplanmıştır:

$$R_{net} = R_{S\downarrow} \times (1 - \alpha) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} \quad (10)$$

Eşitlik 10’da $R_{S\downarrow}$ gelen kısa dalga radyasyon ($W m^{-2}$); α geniş bant yüzey albedo değeri; $R_{L\downarrow}$ gelen uzun dalga radyasyon ($W m^{-2}$); $R_{L\uparrow}$ giden uzun dalga radyasyon dur ($W m^{-2}$) [13, 57].

3.3.1 Anlık Gelen Kısa Dalga Radyasyonun Hesaplanması

Arazi yüzeyine ulaşan kısa dalga radyasyon miktarı atmosferik soğurma ve saçılmaya bağlıdır. Bulutsuz hava durumunda yeryüzüne gelen anlık kısa dalga radyasyon Eşitlik 11 ile hesaplanabilir:

$$R_{S\downarrow} = \tau \times R_{S\downarrow}^{TOA} \quad (11)$$

Eşitlik 11’de τ atmosferik geçirgenlik; $R_{S\downarrow}^{TOA}$ ise ekstra karasal solar radyasyon değeridir. Ekstra karasal solar radyasyon değeri şu şekilde hesaplanır:

$$R_{S\downarrow}^{TOA} = sc \times Ecc_0 \times (\sin(\delta) \times \sin(\phi) + \cos(\delta) \times \cos(\phi) \times \cos(w_s)) \quad (12)$$

Eşitlik 12’de w_s güneş doğumu saat açısı (*radian*); ϕ enlem değeri (*radian*); δ solar denklinasyon değeri; Ecc_0 eksentrisite düzeltme faktörü; sc solar sabitidir ($1367 \times 0.0036 \text{ megajoules } m^{-2} \text{ saat}^{-1}$). Ancak bu Eşitlik ekvator da kullanıma uygun değildir. Eksentrisite düzeltme faktörü (Ecc_0) şu şekilde hesaplanır [58]:

$$Ecc_0 = 1.00011 + 0.034221 \times \cos(d_{ang}) + 0.00128 \times \sin(d_{ang}) + 0.000719 \times \cos(2 \times d_{ang}) + 0.000077 \times \sin(2 \times d_{ang}) \quad (13)$$

Eşitlik 13’de d_{ang} gün açısidir ve Eşitlik 14 ile hesaplanır:

$$d_{ang} = 2 \times \pi \times \frac{(day_{num} - 1)}{365} \quad (14)$$

Eşitlik 14’deki day_{num} uydu görüntünün alındığı Julian gün numarasıdır. Atmosferik geçirgenlik τ ise Tasumi tarafından önerilen ortalama yüzey yüksekliğine bağlı olarak Eşitlik 15 kullanılarak hesaplanabilir:

$$\tau = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times z \quad (15)$$

Eşitlik 15’de z çalışma bölgesi için tanımlanan ortalama yüksekliktir (m) [59].

3.3.2 Anlık Gelen Uzun Dalga Boylu Radyasyonun Hesaplanması

Yüzeye gelen uzun dalga boylu radyasyon atmosferden yüzeye inen termal radyasyon olarak tanımlanabilir. Gelen uzun dalga boylu radyasyon Stefan-Boltzman eşitliği kullanılarak hesaplanabilir [60]:

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times Ta^4 \quad (16)$$

Eşitlik 16’da ε_a atmosferik emissivite (yayım); σ Stefan-Boltzman sabiti ($5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$) ve Ta ise çalışma bölgesindeki hava sıcaklığıdır. Atmosferik yayım ε_a deneysel bir Eşitlik kullanılarak hesaplanır [60, 61]:

$$\varepsilon_a = 0.85 \times (-\ln(\tau)) \quad (17)$$

3.3.3 Anlık Giden Uzun Dalga Boylu Radyasyonun Hesaplanması

Giden uzun dalga boylu radyasyon yüzeyden ayrılarak yükselen termal radyasyondur. Giden uzun dalga boylu radyasyon Stefan-Boltzman eşitliği kullanılarak hesaplanabilir:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_s \times \sigma \times Ts^4 + (1 - \varepsilon_s) \times R_{L\downarrow} \quad (18)$$

Eşitlik 18’de σ Stefan -Boltzman sabiti ($5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$); ε_s yüzey yayım değeri; T_s ise yüzey sıcaklığıdır (*Kelvin*) [62].

3.4 Toprak Isı Akısının Hesaplanması

Toprak ısı akısı, kısaca toprağın ısınmasına veya soğumasına neden olan enerji miktarı olarak tanımlanır [63]. SEBAL yaklaşımında toprak ısı akısı Eşitlik 19 ile bulunur.

$$G = R_{net} \times \left(\frac{T_s - 273}{\alpha} \right) \times (0.0032 \times (c1 \times \alpha) + 0.0062 \times (c1 \times \alpha)^2 \times (1 - 0.97 \times NFBI^4)) \quad (19)$$

Eşitlik 19’de R_{net} net radyasyon (Wm^{-2}); T_s yüzey sıcaklığı (*Kelvin*); $NFBI$ normalize edilmiş fark bitki indeksi değerleri; $c1$ düzeltme parametresi (genelde 1.1 alınır); α yüzey albedo değeridir [30].

Toprak ısı akısının hesaplanması sırasında en önemli işlem adımlarından biri yüzey albedosunun hesaplanmasıdır. Albedo, yüzeylerin yansıtım karakterini tanımlayan bir sabittir. Uydu görüntülerinden albedo haritalarının hesaplanabilmesi için literatürde tanımlanmış eşitlikler kullanılmaktadır [39]. Ancak çok yeni bir uydu sistemi olan Landsat 8 (LDCM) için literatürde önerilmiş bir eşitlik bulunmamaktadır. Bu eşitlik çalışma bölgesinde yapılan albedo ölçümleri ile $NFBI$ değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

3.5 Hissedilebilir Isı Akısının Hesaplanması

Hissedilebilir ısı akısı, literatürde yüzey ve hava arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transferi olarak tanımlanmıştır. Hissedilebilir ısı akısının hesaplanması amacıyla Eşitlik 20 kullanılır [33, 39]:

$$H = \rho_a \times C_p \times \left(\frac{dT}{r_{ah}} \right) \quad (20)$$

Eşitlik 20’de H hissedilebilir ısı akısı (Wm^{-2}); ρ_a hava yoğunluğu (kgm^{-3}); C_p havanın ısı kapasitesi ($Jkg^{-1}K^{-1}$); dT hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı arasındaki fark (K); r_{ah} ise ısı

transferine karşı aerodinamik dirençtir (sm^{-1}). Bu adımda r_{ah} hesaplanırken Monin-Obukhov teorisi kullanılır. Klasik SEBAL tekniğinde $dT = a + b \times (T_s)$ eşitliğine uygun olarak a ve b katsayıların hesaplanabilmesi için uydu görüntüsü üzerinde uç piksel seçim işlemi gerçekleştirilir [13, 64, 65]. Ancak bu işlemin uzmanlık gerektirmesi nedeniyle farklı branşlardaki araştırmacıların kullanabilmesi anlamında zorluklar içermektedir.

Bu problemi aşmak, yani a ve b katsayılarının hesaplanabilmesi için Diferansiyel arama algoritması kullanılmıştır. Bu sayede yöntemle ilişkin kullanıcı müdahalesi azaltılmış ve otomatize edilmiştir.

3.7 Günlük Gerçek Evapotranspirasyonun Hesaplanması

Günlük gerçek evapotranspirasyon değerleri (21) numaralı Eşitlik ile bulunur [39]:

$$ET_{act24} = \frac{86400 \times \Lambda \times (R_{net24} - G_{24})}{\rho_w \times \lambda} \quad (21)$$

Eşitlikte ET_{act24} günlük gerçek evapotranspirasyon değeri (mmd^{-1}); Λ buharlaşma fraksiyonu; R_{net24} günlük net radyasyon (Wm^{-2}); G_{24} günlük toprak ısı akısı (Wm^{-2}); ρ_w su yoğunluğu ($1000kgm^{-3}$) ve λ buharlaşma latent ısıdır ($2.47 \times 10^6 Jkg^{-1}$). G_{24} gün boyunca toprakta depolanan enerji geceleri tekrar havaya bırakıldığı için genelde sıfır kabul edilir. Eşitlik 21'deki buharlaşma fraksiyonu (Λ) ise Eşitlik 22 ile hesaplanır:

$$\Lambda = \frac{LE}{R_{net} - G} \quad (22)$$

Eşitlik 22'de R_{net} net radyasyon (Wm^{-2}); G toprak ısı akısı (Wm^{-2}) ve LE ise latent ısı akısıdır (Wm^{-2}). Günlük net radyasyon (R_{net}) ise yeryüzüne bir gün boyunca gelen ve giden uzun dalga arasındaki enerji dengesinin sonucudur. Pozitif değerler toprağa nüfuz eden; negatif değerler ise topraktan ayrılan enerjiyi tanımlamaktadır [58]. Günlük net radyasyon (R_{net24}) Eşitlik 23 ile hesaplanabilir.

$$R_{net24} = (1 - c_1 - \alpha) \times R_{S\downarrow day} + R_{Lday} \quad (23)$$

Eşitlik 23'de c_1 yüzey albedosu için kullanılan dönüşüm faktörü (genelde 1.1); α yüzey albedo değerleri; $R_{S\downarrow day}$ günlük gelen kısa dalga radyasyon değeri; R_{Lday} günlük ortalama

uzun dalga radyasyon değeridir [58]. Günlük gelen kısa dalga radyasyon değeri $R_{S\downarrow day}$ şu şekilde hesaplanır:

$$R_{S\downarrow day} = 11.5741 \times \left((a_s + b_s \times \frac{n}{N}) \times K_{\downarrow day-exo} \right) \quad (24)$$

Eşitlik 24’de $K_{\downarrow day-exo}$ günlük karasal solar radyasyon; n/N güneş fraksiyonu; a_s tamamen bulutlu bir günde toprağa ulaşan karasal solar radyasyonun fraksiyonu (genelde 0.25 alınır); b_s güneşin en parlak olduğu anda yere ulaşan karasal radyasyonun fazlalık oranıdır (genelde 0.5 alınır). Güneş fraksiyonu ise gün boyunca kaydedilen güneş ışığının en parlak olduğu zaman dilimidir. N tamamen açık bir günde toplam güneşlenme süresi; n konum ve zamana bağlı gerçek güneşlenme süresidir [58, 66]. N şu şekilde hesaplanır:

$$N = \frac{360}{15 \times \pi} \times w_s \quad (25)$$

$$w_s = \arccos(-\tan(\phi) \times \tan(\delta)) \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \delta = & (0.006918 - 0.399912 \times \cos(d_{ang}) + 0.070257 \times \sin(d_{ang}) - 0.006758 \times \\ & \cos(2 \times d_{ang}) + 0.000907 \times \sin(2 \times d_{ang}) - 0.002697 \times \cos(3 \times d_{ang}) + \\ & 0.00148 \times \sin(3 \times d_{ang})) \end{aligned} \quad (27)$$

$$d_{ang} = 2 \times \pi \times \frac{(day_{num} - 1)}{365} \quad (28)$$

Eşitliklerde w_s güneş doğumu saat açısı (*radian*); ϕ enlem değeri (*radian*); δ solar denklinasyon değeri; d_{ang} gün açısı (*radian*); day_{num} uydu görüntünün alındığı gün numarasıdır. Günlük gelen kısa dalga radyasyon değerinin hesaplanmasında kullanılan günlük karasal solar radyasyon ($K_{\downarrow day-exo}$) Eşitlik 29 ile hesaplanır.

$$K_{\downarrow day-exo} = \frac{24}{\pi} \times sc \times Ecc_0 \times \sin(\phi) \times \sin(\delta) \times (w_s - \tan(w_s)) \quad (29)$$

Eşitlikte 29’de Ecc_0 eksentrisite düzeltme faktörüdür. Günlük net radyasyonun (R_{net24}) hesaplanabilmesi için gerekli son bileşen günlük ortalama uzun dalga radyasyon değeridir (R_{Lday}). Bu değer Eşitlik 30 kullanılarak hesaplanır:

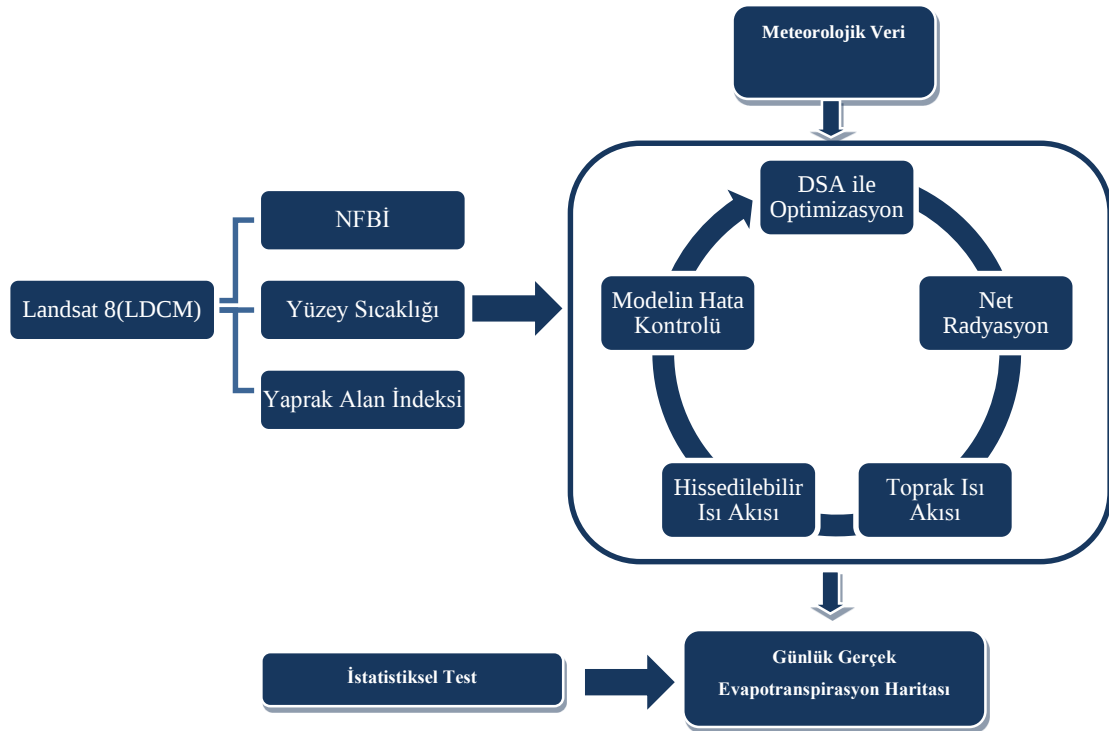
$$R_{Lday} = -f \times e' \times \sigma \times (T_{a,mean} + 273)^4 \quad (30)$$

Eşitlik 30'da σ Stefan-Boltzman sabiti; e' atmosfer ve yeryüzü arasındaki net yayım değeri; $T_{a,mean}$ çalışma bölgesinin günlük ortalama hava sıcaklığı ($^{\circ}C$) ve son olarak f ise bulutsuzluk faktörüdür. Yukarıdaki eşitlikte kullanılan net yayım değeri Eşitlik 31 ile bulunabilir [58, 66] :

$$e' = -0.02 + 0.261 \times \exp(-7.77 \times 10^{-4} \times T_{a,mean}) \quad (31)$$

Tez kapsamında önerilen yaklaşımı özetlemek gerekirse; uydu görüntüsü ve meteorolojik veriler (Ortalama sıcaklık vb.) ile işlem başlatılır. Her bir iterasyonda hissedilebilir ısı akısının hesaplanmasında kullanılan $dT = a + b \times (T_s)$ fonksiyonundaki a ve b değişkenler DS tarafından güncellenir ve yer gerçeği noktalarında bitki katsayısı yöntemiyle hesaplanan ET_a değerleri ile sunulan yaklaşım ile hesaplanan ET_a değerleri arasındaki farkın maliyet fonksiyonuna bağlı olarak minimum olması amaçlanır.

Kullanıcı tarafından belirlenen durdurma kriterlerinden (iterasyon sayısı veya minimum maliyet fonksiyonu değeri gibi) birinin sağlanması durumunda işlem tamamlanır ve en son elde edilen çarpanlar ile çalışma bölgesi için ET_a haritalama işlemi tamamlanır. Sunulan yaklaşıma ait işlem akış diyagramı Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. Sunulan yaklaşımın işlem akışı diyagramı

3.8 Aylık Gerçek evapotranspirasyon Haritalarının Hesaplanması

Gerçek evapotranspirasyon değerlerinin haritalanmasında uydu teknolojilerini kullanan SEBAL ve benzeri tekniklerin en önemli dezavantajı, kullanılan uyduların zamansal çözünürlüklerinin düşük olması ve bulutlu olan günlerde işlemin yapılamamasıdır. Doğrudan uydu görüntüleri üzerinden aylık gerçek evapotranspirasyon haritalarının üretimi bu açıdan çok mümkün olmamaktadır. Bu nedenle aylık gerçek evapotranspirasyon günlük olarak meteorolojik verilerden hesaplanan referans ET'ye bağlı olarak hesaplanmıştır. Buradaki temel fikir; uydu görüntülerinin alındığı gün hesaplanan referans ET değeri ile o aya ait yığışimli referans ET değeri arasındaki ilişkinin; günlük ET_a ve yine aynı aya ait yığışimli ET_a 'ya benzerlik göstereceğidir. Literatürdeki birçok çalışmada yığışimli ET_a bu şekilde hesaplanmaktadır [63, 67]. Bu işlemi matematiksel olarak ifade etmek gerekirse:

$$CET_r = \sum_{j=1}^k (ET_r)_j \quad (32)$$

$$K_m = \frac{CET_r}{ET_r} \quad (33)$$

$$CET_a = \sum_{i=1}^n (ET_a)_i \times K_m \quad (34)$$

Eşitlik 32, 33 ve 34'de n görüntü sayısını; K_m yığışimli çarpım katsayısını; CET_a hesaplanan yığışimli gerçek evapotranspirasyon değerini; ET_a hesaplanan gerçek evapotranspirasyon değerini; CET_r yığışimli referans evapotranspirasyon; ET_r uydu görüntüsünün alındığı güne ait referans evapotranspirasyon değerini; k ise bir sezon süresi için gün sayısını tanımlamaktadır.

3.9 Diferansiyel Arama Algoritması

Günümüzde bir çok mühendislik problemi global optimizasyon algoritmaları ile çözülebilmektedir [11, 68-80]. Diferansiyel arama, gerçel değerli optimizasyon problemlerinin çözümü için Çivicioğlu tarafından geliştirilmiş popülasyon tabanlı iteratif yarı-sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır [70, 81]. Diferansiyel arama algoritması bir süper-organizmanın göç etmek amacıyla kullandığı brownian benzeri rastgele yürüme

hareketini simüle eder. Doğada besin alanlarının verimliliği iklime bağlı olarak değiştiğinden, birçok canlı türü daha verimli alanlara göç ederler. Kuş, karınca ve arı gibi birçok canlı türü dönemsel göç döngüsüne sahiptirler. Göç eden canlılar çok sayıda birey içeren süper-organizma meydana getirirler. Ardından süper-organizma daha verimli alanlara doğru bulunduğu konumu değiştirmeye başlar. Süper-organizmanın bu hareketi brownian benzeri rastgele yürüme hareketi ile açıklanabilir [82]. Yağmacı birçok canlı türü, yeni bir habitata göç etmeden önce o habitatın verimliliğini kontrol ederler. Eğer bu habitatın potansiyeli, süper-organizmanın ihtiyaçlarını karşılayabiliyorsa, süper-organizma geçici olarak bu yeni bölgeye yerleşir ve daha verimli bölgeler bulma amacıyla göçüne devam eder. Diferansiyel arama algoritmasında ilgili optimizasyon probleminin çözümlerinden oluşan popülasyonun, göç eden bir süper-organizmayı ifade ettiği kabul edilir. Bu süper-organizma, habitat içerisindeki iyi lokasyonları konaklama alanı (stop-over site) olarak seçer. Ardından daha iyi bir konaklama alanı bulan süper-organizma üyeleri (klanlar) bu konaklama alanına geçiş yaparlar. Süper-organizmayı oluşturan yapay organizmalar sayısı söz konusu optimizasyon probleminin boyutuna eşittir. Diferansiyel arama algoritmasında süper-organizmaların başlangıç pozisyonu şu şekilde hesaplanır [81]:

$$x_{i,j} = rand(uplim_j - lowlim_j) + lowlim_j \quad (35)$$

Eşitlikte, $i = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ olmak üzere N popülasyon sayısı; $uplim_j$ ve $lowlim_j$ ise süper-organizma üyelerinin $j.nci$ elemanlarının habitat üst ve alt sınırlarıdır [81].

DS algoritmasında, konaklama alanı arama işlemi basit bir brownian benzeri rastgele yürüme hareketi ile açıklanır. Klandan rastgele olarak seçilen sınırlı sayıdaki bireyler göç sürecinin başarısı için önemli olan parametrelerden yeni konaklama alanlarını bulmak için $donor = [X_{Rand-Shuffling(i)}]$ hedeflerine doğru ilerler. $Rand-Shuffling(i)$ fonksiyonu X_i seti içerisindeki elemanlarının sıralamasını değiştirmek için kullanılırlar. Yapay organizmaların konumlarındaki değişimler ölçek faktörleri kullanılarak belirlenir. Diferansiyel arama algoritmasında 6 farklı ölçek faktörü tercih edilebilir. Ölçek faktörleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3’de $lognrnd(rand, 5 \times rand)$; $rand$ ortalama ve $5 \times rand$ standart sapma değerine sahip log-normal dağılıma uygun rastgele sayı dizisi oluşturur; $gamrnd(1 \ 0.5)$ şekil

parametresi 1 ve ölçek parametresi 0.5 olan gama dağılımına uygun rastgele sayı dizisi oluşturur; *randg* şekil parametresi ve ölçek parametresi birim değerde olan gama dağılıma uygun rastgele sayı oluşturur; *randn* standart normal dağılıma uygun pseudo rastgele sayı oluşturur ve *rand* ise (0, 1) aralığında standart normal dağılıma uygun sayı üretir [81].

Tablo 3. Diferansiyel Arama Algoritmasına ait ölçek faktörleri

Ölçek Faktör Numarası	Ölçek Faktörü
1	$R = \text{lognrnd}(\text{rand}, 5 \times \text{rand});$
2	$R = 1/\text{gamrnd}(1, 0.5);$
3	$R = 1/\text{normrnd}(0.5, 0.5)$
4	$R = 4 \times \text{randg};$
5	$R = 4 \times \text{randn};$
6	$R = 1/\text{normrnd}(0, 5);$

Diferansiyel arama algoritmasında Bijective DS, Surjective DS ve Elitist DS olmak üzere üç farklı konaklama alanı üretme mekanizması tanımlıdır. Bijective DS’de her klanın farklı bir klana giderek habitatı araştırır. Bijective DS multi-modal problemlerin kullanımı için uygundur. Surjective DS’de bir klan daha verimli bir konumdaki klanlara doğru gitme eğilimi vardır. Kısmen multi-modal ve daha çok unimodal problemler için tercih edilebilir. Elitist DS’de ise tüm klanları, en verimli lokasyondaki klana doğru gitmeye zorlar. Çok hızlı bir mekanizmadır ve özellikle unimodal problemler için kullanılabilir.

Süper-organizmayı oluşturan yapay organizmadaki bireylerden hangilerinin konaklama alanı arama sürecine katılacağına rastgele bir süreç sonunda karar verilir. DS’de yalnızca iki kontrol parametresi bulunur. Bunlar $p1$ ve $p2$ ’dir. Daha önceki yapılan testlerde $p1$ ve $p2$ için 0.3 önerilmiş ve bu çalışma kapsamında da bu değerler kullanılmıştır.

3.9.1 Parametre Optimizasyonunda Kullanılan Maliyet Fonksiyonu

Yapay zeka algoritmalarının kullanıldığı uygulamaların tamamında bir minimizasyon veya maksimizasyon fonksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. SEBAL-DS yaklaşımında ise bilinmeyen parametrelerin kestirilebilmesi için bir minimizasyon fonksiyonu kullanılmıştır.

Birçok çalışmada NFBI ve evapotranspirasyon arasında oldukça güçlü bir ilişki olduğu vurgulanmıştır [83]. Maliyet fonksiyonun tasarımı, hem bu ilişkiyi hem de yer gerçeği değerlerini kullanan bir yapı sunulmuştur. Çalışma için kullanılan minimizasyon (maliyet) fonksiyonu Eşitlik 36'da verilmiştir.

$$objval(i) = \frac{1}{corr(NFBI, ET_a)} \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n |ET_{gc(j)} - ET_{a(j)}|}{n} \right)^2 \times \left(\frac{1}{pval} \right) \quad (36)$$

Eşitlikte $corr(NFBI, ET_a)$ NFBI haritası ile ET_a haritası arasındaki Pearson korelasyon katsayısı, n yer gerçeği nokta sayısı; $ET_{gc(j)}$ jnci yer gerçeği noktasından elde edilen ET_a değeri; $ET_{a(j)}$ jnci yer gerçeği noktasının SEBAL-DS ile elde edilen ET_a değeri ve $||$ mutlak değer fonksiyonu; $pval$ ise yer gerçeği noktaları ile her bir iterasyonda modelin ürettiği ET_a değerlerinin farklarına Eşlenik T testi uygulanarak elde edilen P değeri, ve i ise kullanıcı tarafından belirlenen iterasyon sayısıdır.

Maliyet fonksiyonu incelendiğinde çözüm sırasında NFBI ve ET_a arasındaki korelasyon değerinin yüksek olması ve yer gerçeği değerleri ile SEBAL-DS ile elde edilen ET_a değerleri arasındaki farkın minimum olması amaçlanmaktadır. Eşitlik 36'da sunulan maliyet fonksiyonu ile $dT=a+b \times (T_s)$ dönüşümündeki a ve b katsayıları ile $Albedo=k1+k2 \times NFBI$ dönüşümündeki $k1$ ve $k2$ katsayıları her bir iterasyonda güncellenerek en uygun değerler belirlenir.

3.10 Lilliefors Testi

Elde edilen araştırma sonuçlarının parametrik veya parametrik olmayan testler ile değerlendirilebilmesi, bulgu örneklerinin normal dağılıma uygun olup olmamasına bağlıdır. “Lilliefors Testi” temelde Kolmogorov–Smirnov (KS) testine dayanan bir normallik testidir [84, 85]. KS testine göre daha güçlü olduğu bazı çalışmalarda gösterilmiştir [86]. Lilliefors Testi temel istatistik olarak KS ile aynı modeli kullanmasına rağmen kritik değerler için farklı bir tablo kullanır ve bu da bazı durumlarda verinin normalliği konusunda KS ile farklı sonuçlar ortaya çıkmasına neden olabilir. Eğer

hesaplanan D değeri tablodaki kritik değeri aşarsa H_0 reddedilir; yani verinin normal dağılım göstermediği kabul edilir.

$$D = maks |F(x) - S_n(x)| \quad (37)$$

Eşitlikte $S_n(x)$ örnek yığılımlı dağılım (deneysel) fonksiyonu ve $F(x)$ yığılımlı normal dağılım (teorik) fonksiyonudur. Burada hesaplanan D , $S_n(x)$ ile $F(x)$ arasındaki dikey mesafe olup teorik dağılıma uygunluk ölçüsü olarak kullanılır [86].

3.11 T Testi

Yapılan birçok araştırmada ana kütle varyansı hesaplanamadığı gibi örnek hacmi de gerektiği kadar arttırılamamaktadır. Ancak örnekler bağımsız ve tesadüfi ve ana kütle normal veya normale yakın bir dağılım gösteriyorsa *t-testi* kullanılabilir.

3.11.1 Anakütle Ortalamasının Testi

Varyansı bilinmeyen bir Ana kütle ortalaması için yapılacak hipotez testinin işlem adımları şu şekildedir [87]:

1. H_0 ve H_1 hipotezleri kurulur.

2. Ana kütle varyansı bilinmediğinden tahmini standart sapma $\hat{s} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}}$

hesaplanır.

3. s ile $\hat{s}$ arasında $\hat{s} = s \sqrt{\frac{n}{n-1}}$ ilişki bulunduğundan test istatistiği $t = \frac{\bar{X} - \mu}{\hat{s} / \sqrt{n-1}}$

eşitliği ile hesaplanır.

4. Kritik değerler önem seviyesi ve $n-1$ serbestlik derecesine göre T tablosundan tespit edilir ve buna göre H_0 hipotezinin doğru olup olmadığına kara verilir.

Eşitliklerde μ anakütle ortalaması; $\bar{X}$ örnek ortalaması; s örnek standart sapması; n örnek büyüklüğüdür [87].

3.11.2 Eşlenik Çift T Testi

Eşlenik çift T-testi birbiriyle eşlenebilen bir çift popülasyonun karşılaştırılabilmesi için kullanılır [87, 88]. Özellikle iki farklı metot ile elde edilen ölçüm veya bulguların karşılaştırılması için kullanımı uygundur. Test istatistiği şu şekilde hesaplanır (x A tekniğiyle elde edilen sonuçlar; y , B tekniğiyle elde edilen bulgular, n eleman sayısıdır):

5. H_0 ve H_1 hipotezleri kurulur.
6. Bulgular arasında birbirine eş olan ölçümlerin farkı ($D_i = y_i - x_i$) hesaplanır.
7. Farkların ortalaması ($\bar{D}$) hesaplanır.
8. Farklara ait standart sapma ($s_D = \sqrt{\frac{\sum (D - \bar{D})^2}{n-1}}$) hesaplanır.
9. Test istatistiği ($t = \frac{\bar{D}}{(s_D / \sqrt{n})}$) hesaplanır.
10. Kritik değerler önem seviyesi ve $n-1$ serbestlik derecesine göre t tablosundan tespit edilir ve buna göre H_0 hipotezinin doğru olup olmadığına karar verilir.

3.12 Wilcoxon Eşlenik Çift Testi

Deneysel çalışmaların sonunda iki işlemin birbirinden farklı olup olmadığı veya bir işlemin diğerinden daha iyi olup olmadığı test edilirken hemen hemen aynı olan iki örnek gereklidir. Bu örneklerle eşlenik çift örnekler denir. Bu tezde olduğu gibi kategorik olmayan ve tam anlamıyla normal dağılımı uyduğu söylenemeyen verilerin analizinde en sık kullanılan testler işaret ve Wilcoxon eşlenik çift testleridir [87, 89]. Ancak, “işaret testi” sadece çiftler arasındaki farkı ile ilgilenmesine karşın; Wilcoxon eşlenik çift testi hem farkların yönü hem de miktarını dikkate almaktadır. Bu nedenle daha güçlü bir test olduğu söylenebilir [87]. Test istatistiği şu şekilde hesaplanır [87]:

1. H_0 ve H_1 hipotezleri kurulur.
2. Farkları sıfır olan çiftler dikkate alınmadan her bir eşlenik çiftin farkı alınır. Farkları sıfır olmayan çiftlerin sayısı test örnek büyüklüğünü (k) belirler.
3. Sıfıra eşit olmayan farkların mutlak değerleri, en küçüğüne 1 en büyüğüne k diyecek şekilde sıralanır (etiketlenir).

4. Bir önceki aşamada tanımlanan sıra değerlerine orijinal farkların işaretleri (+ veya - şeklinde) verilir.
5. İşaretlenmiş sıra etiket değerlerinin toplamı ve bu test istatistiği olan T değeri hesaplanır.
6. Örnek büyüklüğünün 10'a eşit veya büyük ($k \geq 10$) olması durumunda, dağılımın standart sapması (σ_T) ve Z değeri şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{k \times (k+1) \times (2 \times k + 1)}{6}} \quad (38)$$

$$Z = \frac{T}{\sigma_T} \quad (39)$$

7. Karar verme aşamasında ise T değeri Wilcoxon eşlenik çift testi Kritik Değerler Tablosunda verilen değerden büyükse H_0 kabul edilir; diğer durumlarda ise H_0 reddedilir [87].

4. BÖLÜM

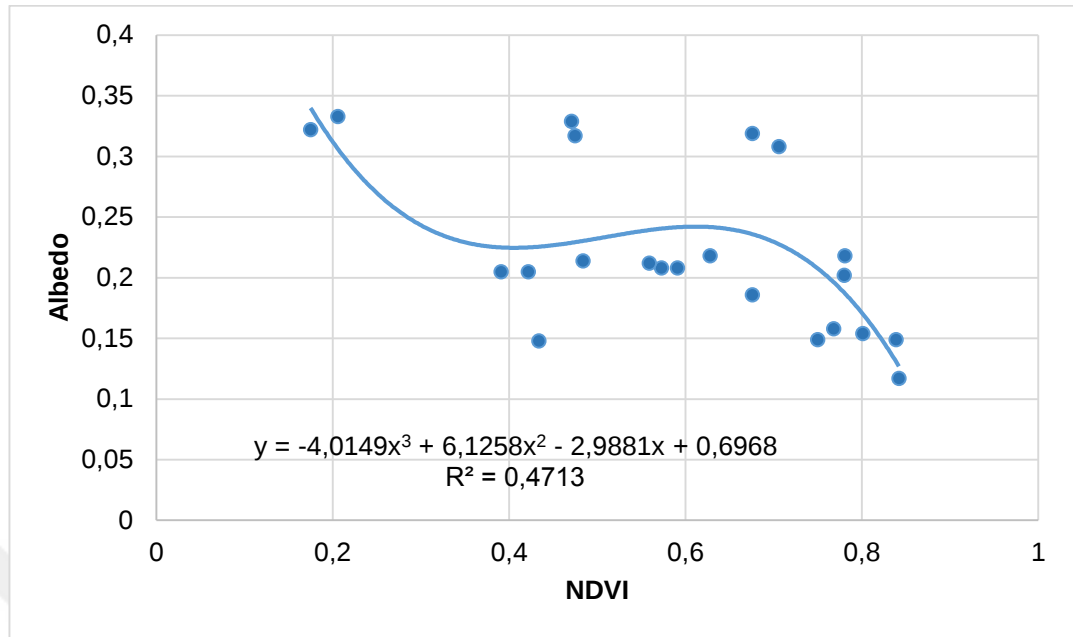
SEBAL-DS İLE ELDE EDİLEN BULGULAR

4.1 Albedometre Ölçümleri ve Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi Değerlerinin İlişkilendirilmesi

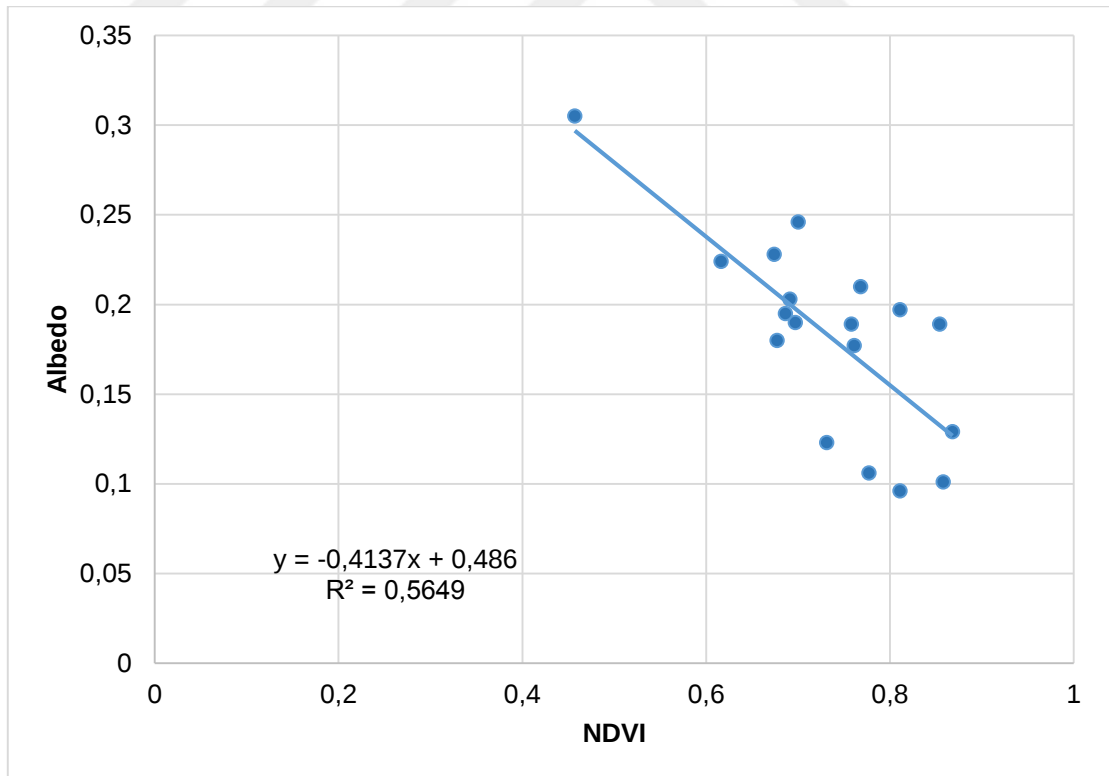
Landsat 8 (LDCM) uydusu ile evapotranspirasyon haritalamadaki en önemli problemlerden biri pikseller aracılığıyla albedo değerlerinin hesaplanmasıdır. Geçmişte yapılan uygulamalarda, Landsat 5-7, ASTER ve MODIS gibi farklı uydu sistemlerine ait deneysel olarak elde edilmiş, piksel parlaklık değerlerinden albedo değerlerine dönüşüm için kullanılan eşitlikler bulunmaktadır [24, 25, 90]. Ancak Landsat 8 uydusu için böyle bir eşitlik literatürde bulunmamaktadır.

Literatür incelendiğinde evapotranspirasyon haritalama için kullanılacak uydu sistemi ne olursa olsun NFBİ ile doğrudan ilişkili olduğu gözlemlenmiştir [91]. Bu husus dikkate alınarak çalışma bölgesinde albedometre ile elde edilen gerçek albedo değerleri ile ölçümün yapıldığı konumdaki piksellere ait NFBİ değerleri uygun lineer veya polinomial regresyon ile ilişkilendirilmiştir.

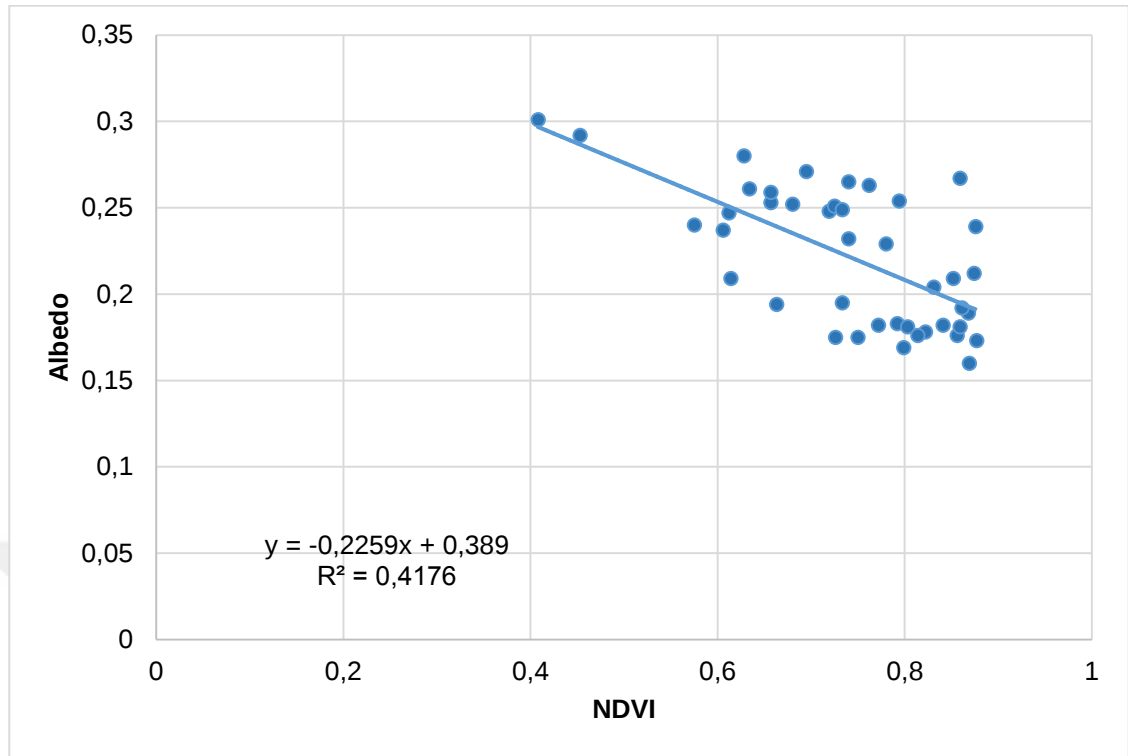
Tez kapsamında, hava şartlarının elverdiği ölçüde, 22 Ocak 2015, 28 Nisan 2015 ve 01 Temmuz 2015 tarihlerinde Adana ili, Akarsu Sulama Birliği Havzasında albedo ölçümleri yapılmış olup bitki deseninin izlenmesi amacıyla bu tarihlerden başka zamanlarda da sık sık araziye çıkılmıştır. Bu tarihlere ölçüm bilgileri sırasıyla Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Söz konusu tarihlerdeki NDVI ve albedo ölçümlerine ait regresyon grafikleri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 4. 22 Ocak 2015 tarihli uygulamadaki Albedo-NFBİ (NDVI) arasındaki ilişki



Şekil 5. 28 Nisan 2015 tarihli uygulamadaki Albedo- NFBİ (NDVI) arasındaki ilişki



Şekil 6. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulamadaki Albedo- NFBİ (NDVI) arasındaki ilişki

Tablo 4 22 Ocak 2015 tarihli ölçüm değerleri ve yer gerçeği noktalarındaki bitki türü

Nokta No	Okuma Değeri	Albedo	Bulunduğu arazi
1	7.80	0.208	Mandarin
2	7.70	0.218	Mandarin
3	7.80	0.208	Narenciye
4	8.29	0.158	Nar
5	8.33	0.154	Mandarin
6	8.38	0.149	Mandarin
7	8.38	0.149	Mandarin
8	8.39	0.148	Buğday
9	7.76	0.212	Fidanlık
10	7.86	0.202	Greyfurt
11	7.70	0.218	Mandarin
12	6.71	0.319	Mandarin
13	6.82	0.308	Mandarin
14	8.02	0.186	Mandarin
15	8.70	0.117	Limon
16	6.61	0.329	Buğday
17	6.73	0.317	Buğday
18	6.68	0.322	Buğday
19	6.57	0.333	Buğday
20	7.74	0.214	Buğday
21	7.83	0.205	Buğday
22	7.83	0.205	Buğday

Tablo 5. 28 Nisan 2015 tarihli ölçüm değerleri ve yer gerçeği noktalarındaki bitki türü

Nokta No	Okuma Değeri	Albedo	Bulunduğu arazi
1	12.15	0.180	Limon
2	11.70	0.210	Buğday
3	12.90	0.129	Erik
4	13.32	0.101	Nektarin
5	11.90	0.197	Soğan
6	11.80	0.203	Patates
7	12.19	0.177	Soğan
8	12.00	0.190	Patates
9	12.99	0.123	Patates
10	12.02	0.189	Buğday
11	13.39	0.096	Buğday
12	13.24	0.106	Buğday
13	12.02	0.189	Buğday
14	10.30	0.305	Portakal
15	11.93	0.195	Mandarin
16	11.50	0.224	Greyfurt
17	11.44	0.228	Mandarin
18	11.17	0.246	Mandarin

Tablo 6. 01 Temmuz 2015 tarihli ölçüm değerleri ve yer gerçeği noktalarındaki bitki türü

Nokta Adı	Okuma Değeri	Albedo	Bulunduğu arazi
1	11.57	0.209	Mısır
2	11.28	0.229	Mandarin
3	10.81	0.261	Erik
4	10.93	0.253	Şeftali
5	12.03	0.178	Pamuk
6	12.29	0.160	Yer Fıstığı
7	10.78	0.263	Mısır
8	10.67	0.271	Mısır
9	10.92	0.254	Pamuk
10	11.65	0.204	Yer Fıstığı
11	10.84	0.259	Karpuz
12	11.00	0.248	Yer Fıstığı
13	11.23	0.232	Soya
14	11.53	0.212	Soya
15	11.97	0.182	Soya

Nokta Adı	Okuma Değeri	Albedo	Bulunduğu arazi
16	11.78	0.195	Yer Fıstığı
17	12.07	0.175	Pamuk
18	10.36	0.292	Mısır
19	11.13	0.239	Mısır
20	11.02	0.247	Mısır
21	11.79	0.194	Kavun
22	10.75	0.265	Mısır
23	10.94	0.252	Mısır
24	11.57	0.209	Mısır
25	11.96	0.183	Soya
26	10.53	0.280	Mısır
27	10.72	0.267	Mısır
28	10.22	0.301	Limon
29	10.96	0.251	Mandarin
30	11.12	0.240	Greyfurt
31	12.06	0.176	Portakal
32	10.99	0.249	Mısır
33	12.05	0.176	Mandarin
34	12.16	0.169	Şeftali
35	12.07	0.175	Mandarin
36	11.97	0.182	Elma
37	11.98	0.181	Greyfurt
38	11.16	0.237	Greyfurt
39	11.86	0.189	Karpuz
40	12.10	0.173	Soya
41	11.98	0.181	Portakal
42	11.82	0.192	Soya

4.1.1 22 Ocak 2015 Tarihi İçin Albedo ve NFBİ Verilerinin İlişkilendirilmesi

Tablo 4’de verilen koordinatlarda albedo ölçümleri ve ölçümün yapıldığı konuma denk gelen piksellerden NFBİ değerlerinin hesaplanmasının ardından lineer regresyon tekniği ile verilerin ilişkilendirilmesi yapılmıştır. Noktalara ait NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve 3.dereceden polinomial regresyon ile elde edilen albedo değerleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Noktalara ait NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve 3. dereceden polinomial regresyon ile elde edilen albedo değerleri

Nokta Adı	NFBİ	Albedo	Hesaplanan Albedo
1	0.591	0.208	0.242
2	0.628	0.218	0.242
3	0.573	0.208	0.241
4	0.768	0.158	0.196
5	0.801	0.154	0.170
6	0.839	0.149	0.131
7	0.750	0.149	0.207
8	0.434	0.148	0.226
9	0.559	0.212	0.239
10	0.780	0.202	0.188
11	0.781	0.218	0.187
12	0.676	0.319	0.236
13	0.706	0.308	0.228
14	0.676	0.186	0.236
15	0.842	0.117	0.127
16	0.471	0.329	0.229
17	0.475	0.317	0.229
18	0.175	0.322	0.340
19	0.206	0.333	0.306
20	0.484	0.214	0.230
21	0.391	0.205	0.225
22	0.422	0.205	0.225

22 Ocak 2015 tarihinde toplanan verilere göre yapılan işlem sonucunda:

$$albedo = 4.0118 \times NFBİ^3 + 6.119 \times NFBİ^2 - 2.9845 \times NFBİ + 0.6962 \quad (40)$$

eşitliği elde edilmiş ve dönüşümün karesel ortalama hatası (MSE) 0.0024, ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.1825 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca regresyon modelinin anlamlı olup olmadığı 0.05 anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak test edilmiştir. Bu teste ilişkin bulgular Tablo 8’de verilmiştir. Kurulan regresyon modelin bağımlı değişkendeki varyansın ne kadarını açıkladığını gösteren (model uygunluk istatistiği) R^2 değeri 0.47 görece düşük bir değer (<0.5) olarak bulunmuştur. Bu istatistiğe rağmen modelin bağımsız değişkenlerine (predictor) ait kaysayıların P değerleri 0.05 anlamlılık seviyesinden düşük çıktığından (modelin geçerli olmadığını iddia eden H_0 hipotezi reddedilmektedir) modelin kullanımı uygun görülmüştür. Bu yaklaşımın uygunluğu önerilen yöntemlerin elde ettiği sonuçlarla da pratik olarak gösterilmiş

olacaktır. Bu bulgular ışığında, ilgili tarihte albedo haritalama için polinomial regresyon modeli NFBİ değerlerinden albedo değerlerinin hesaplanması için kullanılabilir.

Tablo 8. 22 Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen albedo değerlerinin istatistiksel analizi

R^2	P
0.47	Sabit: 0.044 NFBİ: 0.046 NFBİ ² : 0.038 NFBİ ³ : 0.0015

4.1.2 28 Nisan 2015 Tarihi için Albedo ve NFBİ Değerlerinin İlişkilendirilmesi

Tez kapsamında bir sonraki uygulama 28 Nisan 2015 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesinde albedometre ile 18 farklı noktadan ölçüm yapılmıştır. Noktalara ait NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve lineer regresyon ile elde edilen albedo değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Noktalara ait NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve lineer regresyon ile elde edilen albedo değerleri

Nokta Adı	NFBİ	Albedo	Hesaplanan Albedo
1	0.677	0.180	0.206
2	0.768	0.210	0.168
3	0.868	0.129	0.127
4	0.858	0.101	0.131
5	0.811	0.197	0.150
6	0.691	0.203	0.200
7	0.761	0.177	0.171
8	0.697	0.190	0.197
9	0.731	0.123	0.183
10	0.854	0.189	0.132
11	0.811	0.096	0.150
12	0.777	0.106	0.165
13	0.758	0.189	0.172

Nokta Adı	NFBİ	Albedo	Hesaplanan Albedo
14	0.457	0.305	0.296
15	0.686	0.195	0.202
16	0.616	0.224	0.231
17	0.674	0.228	0.207
18	0.700	0.246	0.196

28 Nisan 2015 tarihinde toplanan verilere göre yapılan işlem sonucunda:

$$albedo = -0.4131 \times NFBİ + 0.4855 \quad (41)$$

eşitliği elde edilmiş ve dönüşümün karesel ortalama hatası (MSE) 0.0012, ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.1873 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca regresyon modelinin anlamlı olup olmadığı 0.05 anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak test edilmiştir. İlgili istatistikler Tablo 10’da sunulmuştur.

Tablo 10. 22 Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen albedo değerlerinin istatistiksel analizi

R^2	P
0.56	Sabit: 3.260×10^{-4} NFBİ: 2.003×10^{-6}

R^2 normal seviyede bir model uygunluk değeri olan 0.56 (≈ 0.5) olarak hesaplanmıştır. Modelin bağımsız değişkenlerine (predictor) ait katsayıların P değerleri 0.05 anlamlılık seviyesinden oldukça düşük çıkmıştır (modelin anlamsız olduğunu iddia eden H_0 hipotezi reddedilmektedir). Yer gerçeği noktası sayısı diğer aylara göre daha az olmasına karşın modelin kullanımı uygun görülmüştür.

4.1.3 01 Temmuz 2015 Tarihi İçin Albedo ve NFBİ Değerlerinin İlişkilendirilmesi

Tez kapsamındaki son uygulama 01 Temmuz 2015 tarihinde tamamlanmıştır. Çalışma bölgesinden 42 farklı noktadan albedo ölçümü yapılmıştır. Elde edilen NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve lineer regresyon ile elde edilen albedo değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için noktalara ait NFBİ değerleri, gerçek albedo değerleri ve lineer regresyon ile elde edilen albedo değerleri.

Nokta Adı	NFBİ	Albedo	Hesaplanan Albedo
1	0.614	0.209	0.250
2	0.780	0.229	0.213
3	0.634	0.261	0.246
4	0.657	0.253	0.241
5	0.822	0.178	0.203
6	0.869	0.160	0.193
7	0.762	0.263	0.217
8	0.695	0.271	0.232
9	0.794	0.254	0.210
10	0.831	0.204	0.201
11	0.657	0.259	0.240
12	0.719	0.248	0.226
13	0.740	0.232	0.222
14	0.874	0.212	0.191
15	0.841	0.182	0.199
16	0.733	0.195	0.223
17	0.726	0.175	0.225
18	0.453	0.292	0.287
19	0.876	0.239	0.191
20	0.612	0.247	0.251
21	0.663	0.194	0.239
22	0.740	0.265	0.222
23	0.680	0.252	0.235
24	0.852	0.209	0.196
25	0.792	0.183	0.210
26	0.628	0.280	0.247
27	0.859	0.267	0.195
28	0.408	0.301	0.297
29	0.725	0.251	0.225
30	0.575	0.240	0.259
31	0.856	0.176	0.196
32	0.733	0.249	0.223
33	0.814	0.176	0.205

Nokta Adı	NFBİ	Albedo	Hesaplanan Albedo
34	0.799	0.169	0.209
35	0.750	0.175	0.220
36	0.772	0.182	0.215
37	0.803	0.181	0.207
38	0.606	0.237	0.252
39	0.868	0.189	0.193
40	0.877	0.173	0.191
41	0.859	0.181	0.195
42	0.861	0.192	0.194

Toplanan verilere göre yapılan regresyon işlem sonucunda:

$$albedo = -0.2262 \times NFBİ + 0.3891 \quad (42)$$

eşitliği elde edilmiş ve dönüşümün karesel ortalama hatası (MSE) 0.00089 ve ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.1195 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca regresyon modelinin anlamlı olup olmadığı 0.05 anlamlılık seviyesinde istatistiksel olarak test edilmiştir. İstatistiki bulgular Tablo 12’de sunulmuştur.

Tablo 12. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için elde edilen albedo değerlerinin istatistiksel analizi

R^2	P
0.42	Sabit: 3.85×10^{-6} NFBİ: 4.05×10^{-15}

R^2 görece düşük bir model uygunluk değeri olan 0.42 (<0.5) olarak hesaplanmıştır. Modelin bağımsız değişkenlerine (predictor) ait katsayıların P değerleri 0.05 anlamlılık seviyesinden oldukça düşük çıktığından (modelin anlamsız olduğunu iddia eden H_0 reddedilmektedir) lineer regresyon modelinin kullanımı uygun görülmüştür.

Tez kapsamında ölçüm yapılan her ay için bir albedo eşitliğinin çıkarılmasına ek olarak, yapılan tüm ölçümler için genel bir lineer regresyon eşitliği de hesaplanmıştır:

$$albedo = -0.2039 \times NFBI + 0.3556 \quad (43)$$

Modelin karesel ortalama hatası (MSE) 0.0019 ve ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) %18.44 olarak bulunmuştur. Modelin R^2 değeri 0.32 ve P değerleri $2.34e-08$; $4.02e-25$ olarak hesaplanmıştır. Bu modelde de R^2 istatistiği düşükken yine P değerlerine göre modelin kullanımı uygun görülmüştür.

4.2 Albedometre Ölçümleri Kullanılarak Gerçekleştirilen Uygulamalar

4.2.1 Uygulama No:1 (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)

Sunulan yaklaşımın ilk uygulaması 22 Ocak 2015 tarihli albedometre ölçümleri ve Landsat 8 (LDCM) verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama kapsamında 23 farklı noktada ölçüm yapılmış ve aynı noktalar sunulan yaklaşımın doğruluğunun tespiti için yer gerçeği noktası olarak belirlenmiştir. Araştırma alanı içerisinde bulunan meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler aracılığıyla referans evapotranspirasyon değeri Cropwat yazılımı kullanılarak 0.76 (mm/gün) olarak hesaplanmıştır. Bu yazılım FAO tarafından geliştirilmiş bir yazılım olup, ET_r parametresini dünyaca kabul gören FAO Penman-Monteith tekniğiyle hesaplamaktadır.

Gerçek evapotranspirasyon değerlerinin hesaplanabilmesi için, bitkilerin gelişme dönemlerine bağlı olarak çizelgelenmiş olan bitki katsayıları kullanılmaktadır [53]. Bu bitki katsayıları (K_c), FAO tarafından hazırlanan kılavuzdan temin edilerek yer gerçeği ET_a değerleri hesaplanmaktadır [7]. Bu araştırmada, değinilen yöntem ve K_c kat sayıları kullanılarak ET_a hesaplanmıştır. Hesaplamalarda istatistiksel olarak yanlılık olup olmadığını ortaya koymak ve kullanılan tekniğin performansının değerlendirilebilmesi için Jackknife yöntemi (Leave-One-Out) kullanılmıştır. Bu teknik, veri setinde her bir gözlem değeri bir kez dışarıda bırakılarak geride kalan gözlemlerden örneklem istatistikleri hesaplamaya dayanmaktadır [92-94].

Sunulan yaklaşım kullanılarak Jackknife yöntemi (Leave one out) ile hesaplanan ET_a değerleri ile bitki katsayısı yöntemi ile elde edilen değerler Tablo 13’de sunulmuştur.

Tablo 13. Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] ($mm/gün$)	SEBAL-DS (Jackknife Yöntemi) ($mm/gün$)
1	0.62	0.65
2	0.62	0.63
3	0.62	0.64
4	0.68	0.66
5	0.62	0.56
6	0.62	0.60
7	0.62	0.66
8	0.62	0.59
9	0.62	0.61
10	0.62	0.65
11	0.62	0.61
12	0.62	0.62
13	0.62	0.62
14	0.62	0.63
15	0.62	0.63
16	0.62	0.58
17	0.57	0.61
18	0.62	0.60
19	0.62	0.64
20	0.62	0.66
21	0.57	0.60
22	0.57	0.62
23	0.57	0.60

Şekil 8’deki kutu grafiğe (1.5 kartil aralığı) göre, fark verisinde uyumsuzluk yoktur. Uygulamanın ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.0248 ($mm/gün$); ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.291 ($mm/gün$); ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.040 olarak hesaplanmıştır. Lilliefors testine göre P değeri 0.2889 olarak hesaplanmıştır. Buradan verinin örneklediği popülasyonun dağılımı için normal dağılıma uygun olduğu söylenebilir. Bütün bunlara rağmen, Şekil 7’de sunulan hem Q-Q grafiğinin yeterince doğrusallık göstermemesi hem de veri sayısının görece az olmasından (veri sayısı=23<30) dolayı parametrik eşlenik örnekler t-testine ilaveten parametrik olmayan Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi’de kullanılmıştır.

Tablo 14’de sunulan eşlenik örnekler t-testi’nde P değeri 0.281 olarak hesaplanmıştır. Testin P değerine göre fark popülasyonu ortalamasının sıfıra eşit olduğu hipotezini iddia eden H_0 reddedilememiştir. Bir başka deyişle karşılaştırılan değerlerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Yani önerilen yaklaşım ile elde edilen gerçek

evapotranspirasyon değerleri ile FAO Penman-Monteith yöntemi ile elde edilen ET_a değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunamamış, yöntemin benzer sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır.

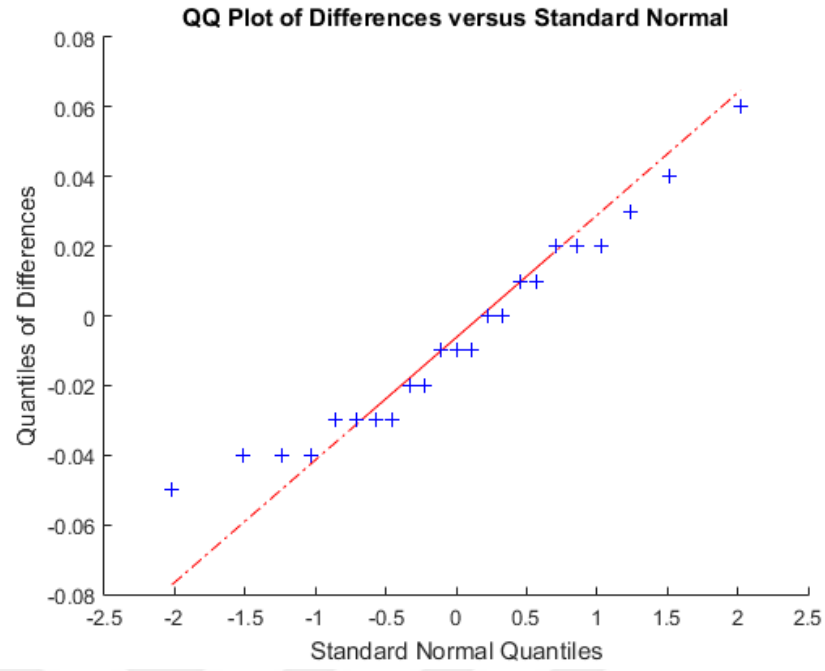
Tablo 15’de sunulan Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi’ne göre P değeri 0.181 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç da T-testinde olduğu gibi karşılaştırılan değerlerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ifade etmektedir. Sunulan yaklaşıma ait NFBİ haritası, ET_a haritası, albedo haritası ve yüzey sıcaklık haritası sırasıyla Şekil 9, 10, 11 ve 12’de sunulmuştur. Tablo 13 incelendiğinde hesaplanan ET_a değerleri ile yer yer gerçeği noktalarına ait ET_a birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson korelasyon değerinin 0.9270 olarak hesaplanması, sunulan yaklaşımın sadece yer geçeği anlamında değil, arazinin genelinde anlamlı ET_a sonuçları elde ettiğini göstermektedir.

Tablo 14. Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi analizi

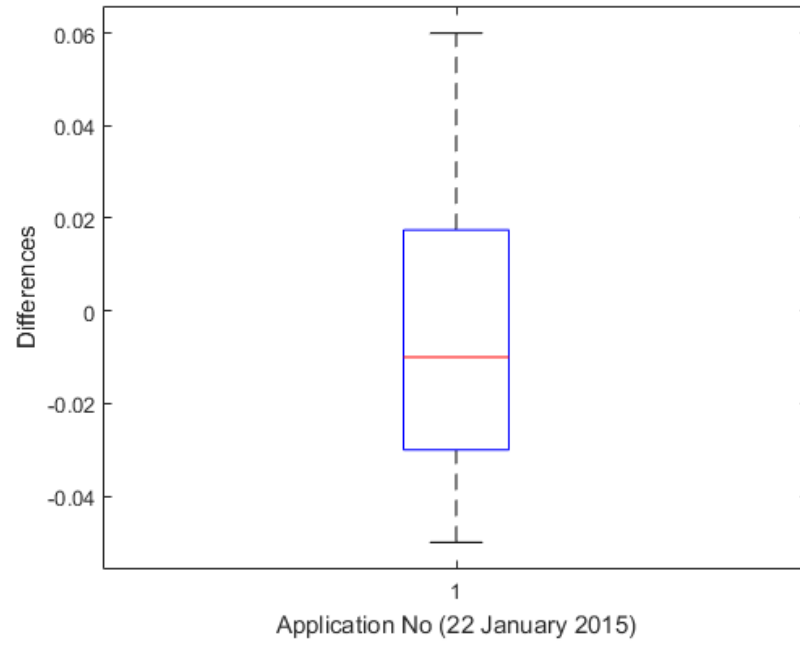
Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha= 0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Model - Bitki Katsayısı Yöntemi	-0.00675	0.0293	0.00611	-1.105	22	0.281

Tablo 15. Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi.

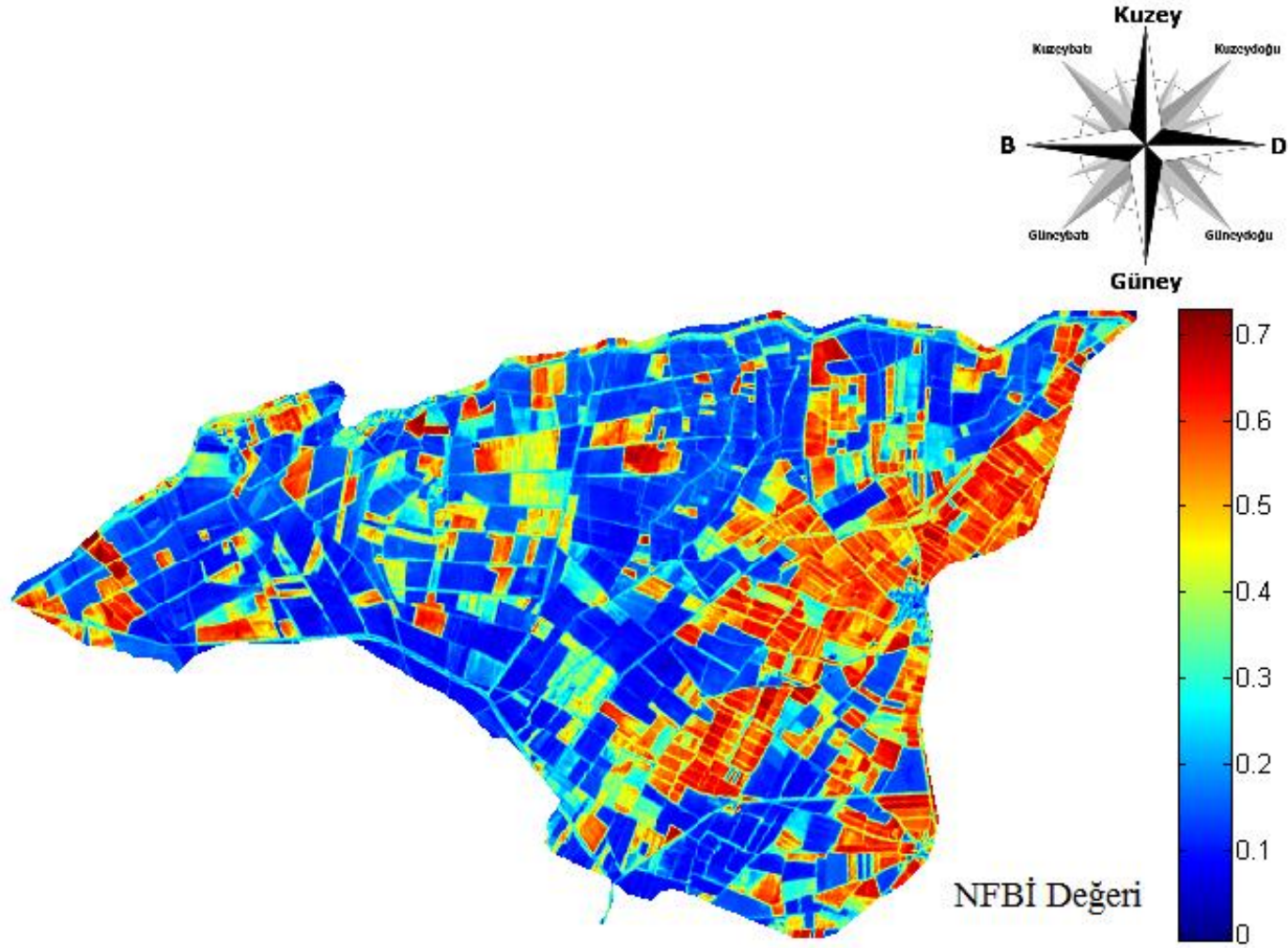
Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H_0 Hipotezi	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar ($\alpha=0.05$)
Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur	0.181	14	9	182	H_0 reddedilmez



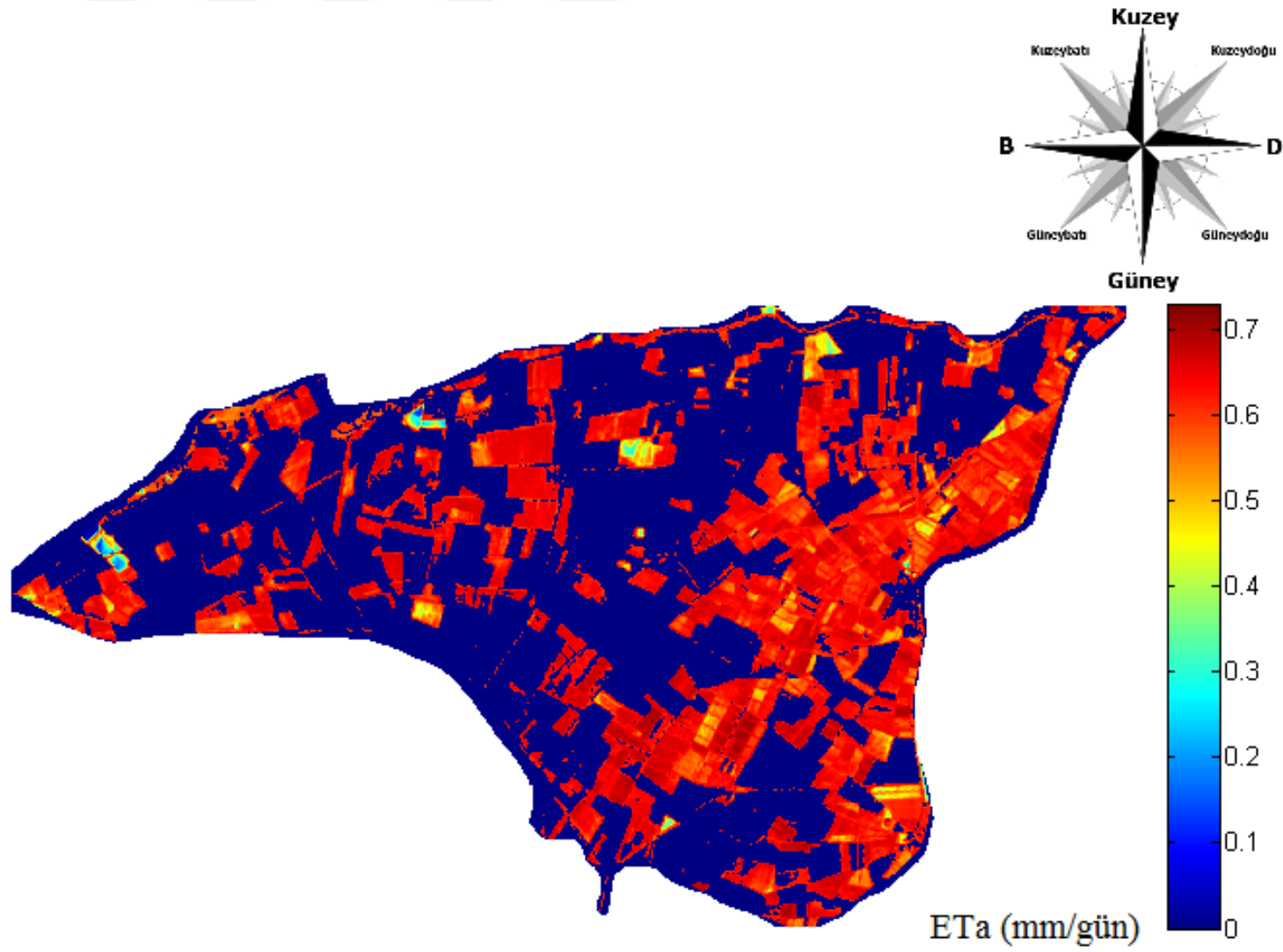
Şekil 7. 22 Ocak 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği



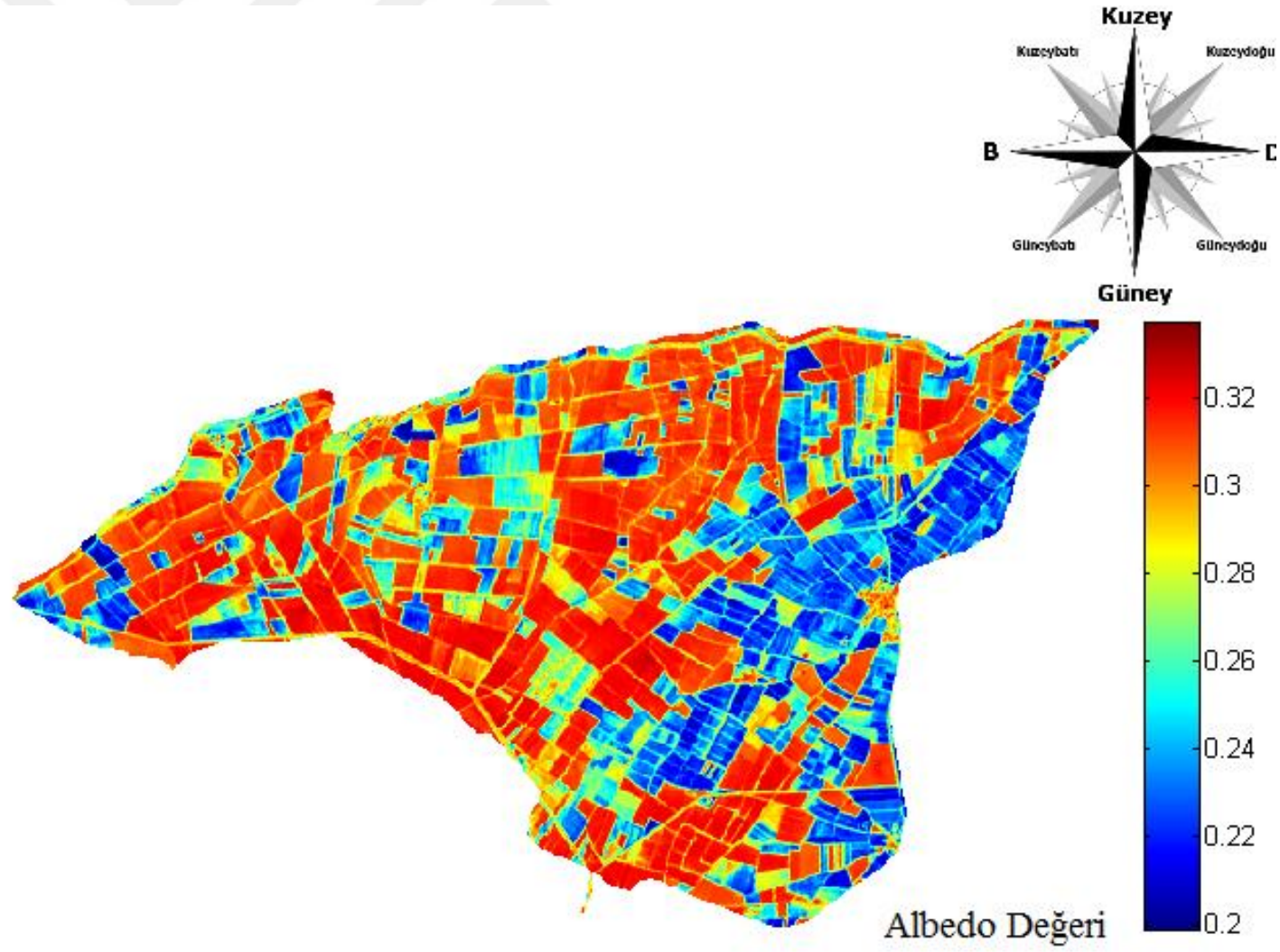
Şekil 8. 22 Ocak 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği



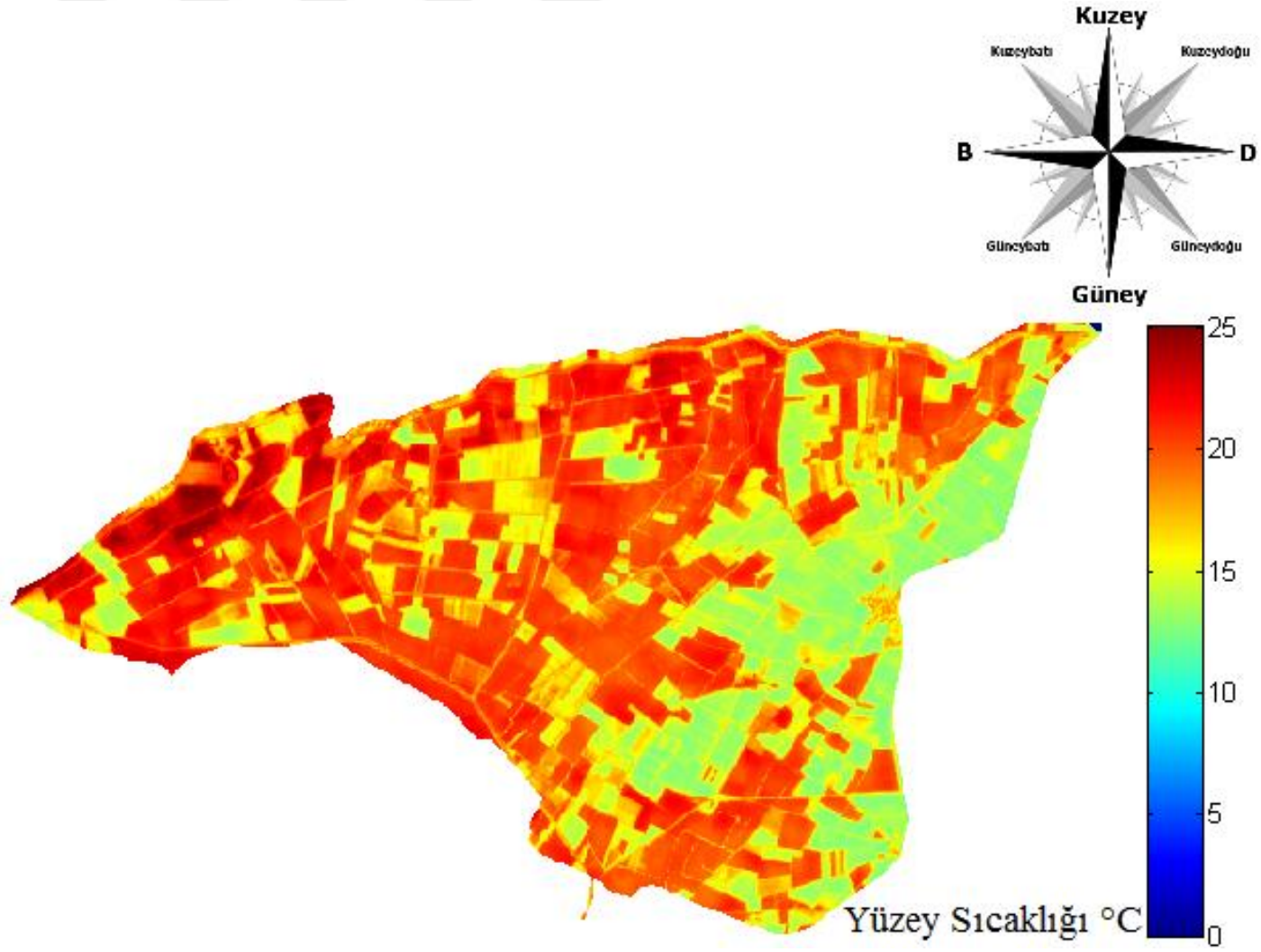
Şekil 9. 22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen NFBİ haritası



Şekil 10. 22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası



Şekil 11. 22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen albedo haritası



Şekil 12. 22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklık haritası

4.2.2 Uygulama No:2 (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)

28 Nisan 2015 tarihinde, albedometre ile elde edilen albedo ölçüleri ile NFBİ arasındaki ilişkinin lineer regresyon ile bulunmuş ve bu eşitlik aynı çalışma bölgesinde kullanılmıştır. Söz konusu tarihe ait referans evapotranspirasyon değeri bölgedeki meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler aracılığıyla 5.47 mm/gün olarak bulunmuştur. Sunulan yaklaşımın performansı özellikle kontrol verisinin az olmasından dolayı Jackknife (Leave-One-Out) yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Uygulamanın ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.4675 (*mm/gün*); ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.5713 (*mm/gün*); ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.089 olarak hesaplanmıştır. Kutu grafiğe (Şekil 13) göre uyuşumsuz örnek olmamasına rağmen verinin önemli derecede çarpık olması ve Q-Q grafiğindeki (Şekil 14) lineer olmayan paternden dolayı popülasyonun normal dağılmadığı kabul edilmiştir. T testleri robust testler olmasına rağmen veri sayısının da az olmasından dolayı T-testi kullanılmamıştır. Elde edilen fark sonuçları (Hedef ET_a – Sunulan yaklaşımla bulunan ET_a) Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testiyle istatistiksel olarak test edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 16 ve Tablo 17’de sunulmuştur. Wilcoxon işaret testine göre P değerinin 1 olması ayrıca NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson korelasyon değerinin 0.8913 olarak hesaplanması, sunulan yaklaşımın sadece yer gerçeği noktalarında değil, arazinin genelinde anlamlı ET_a sonuçları elde ettiğini göstermektedir.

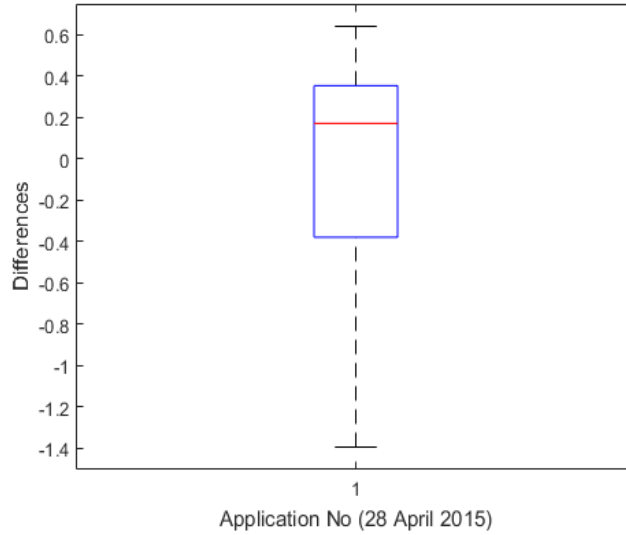
Tablo 16. 28 Nisan 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (<i>mm/gün</i>)	SEBAL-DS (Jackknife Yöntemi) (<i>mm/gün</i>)
1	5.75	5.48
2	5.47	5.91
3	5.75	5.11
4	5.75	5.31
5	4.51	5.59
6	5.47	5.86
7	4.51	5.91
8	5.47	5.66
9	5.47	5.77
10	5.47	5.84
11	5.47	5.29
12	5.75	5.19
13	5.75	5.19
14	5.75	5.59

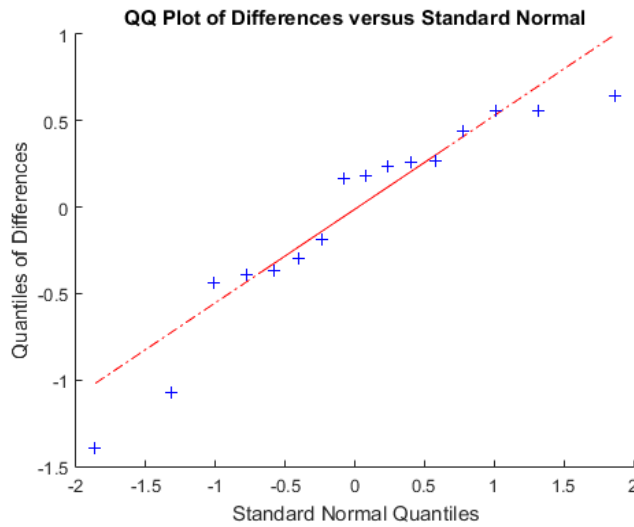
Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (mm/gün)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
15	5.75	5.51
16	5.75	5.49

Tablo 17. Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi

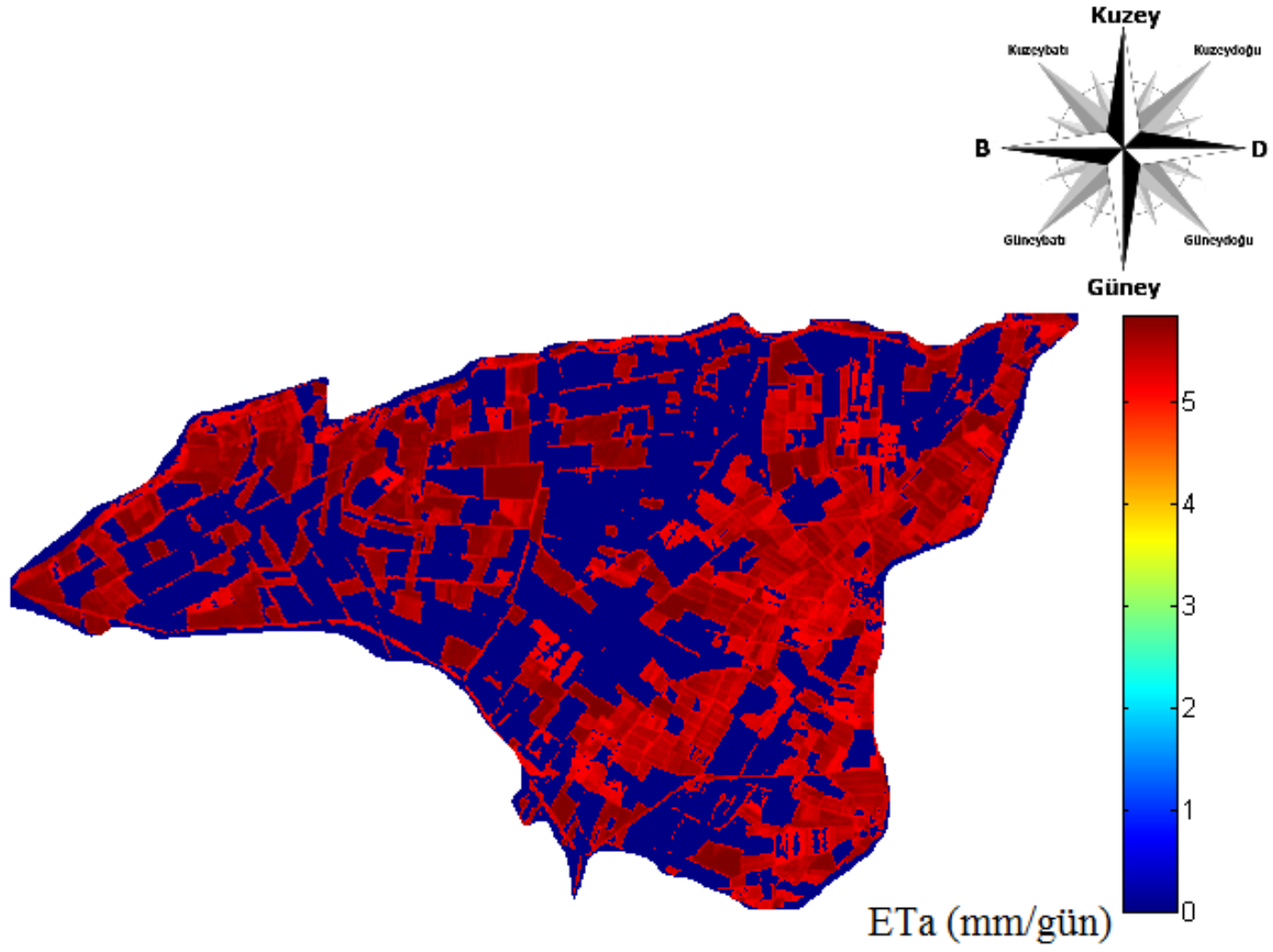
Bulgulara İlişkin Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H_0 Hipotezi ($\alpha=0.05$)	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar
Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur	1	7	9	68	Kabul



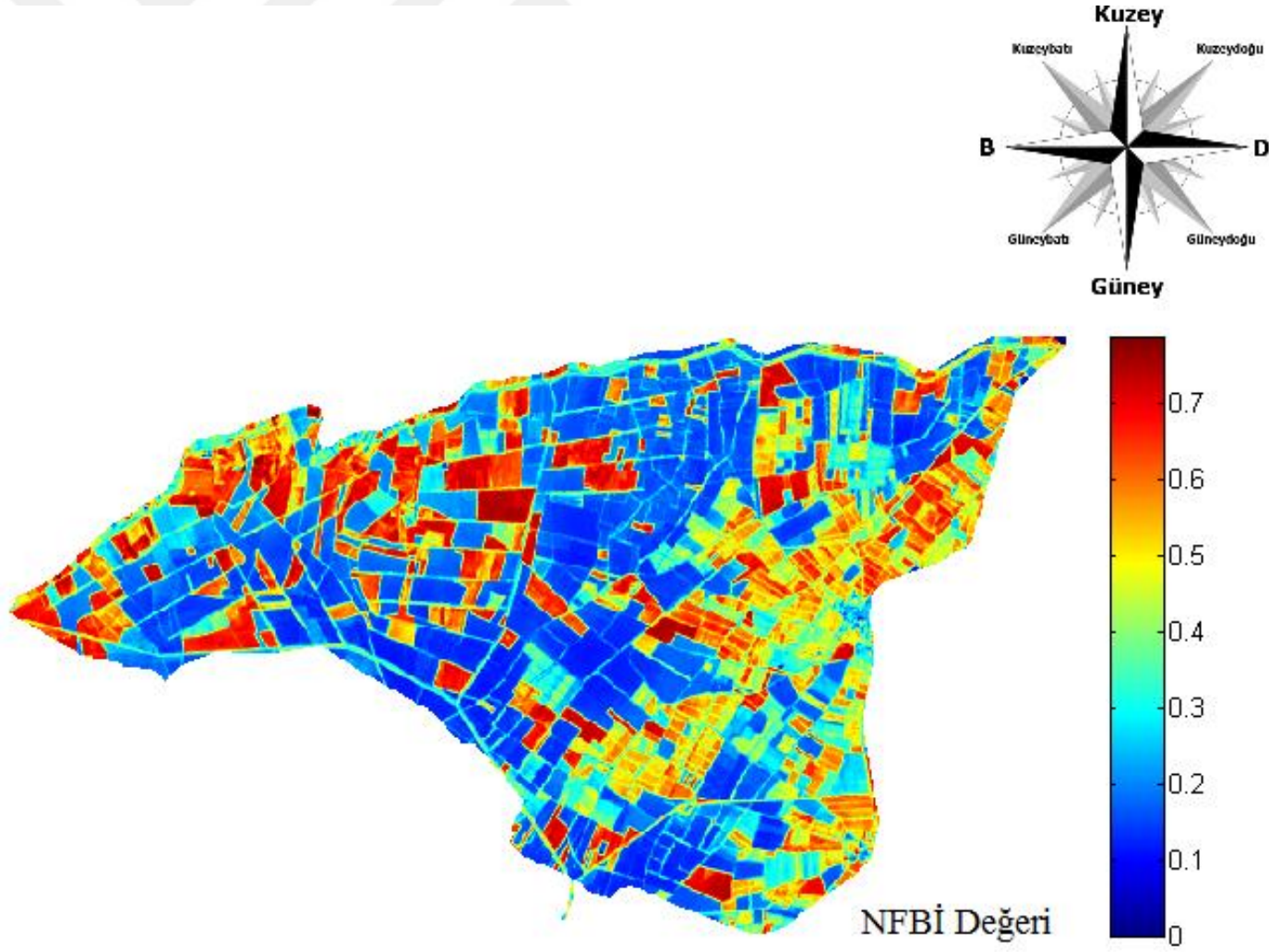
Şekil 13. 28 Nisan 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği



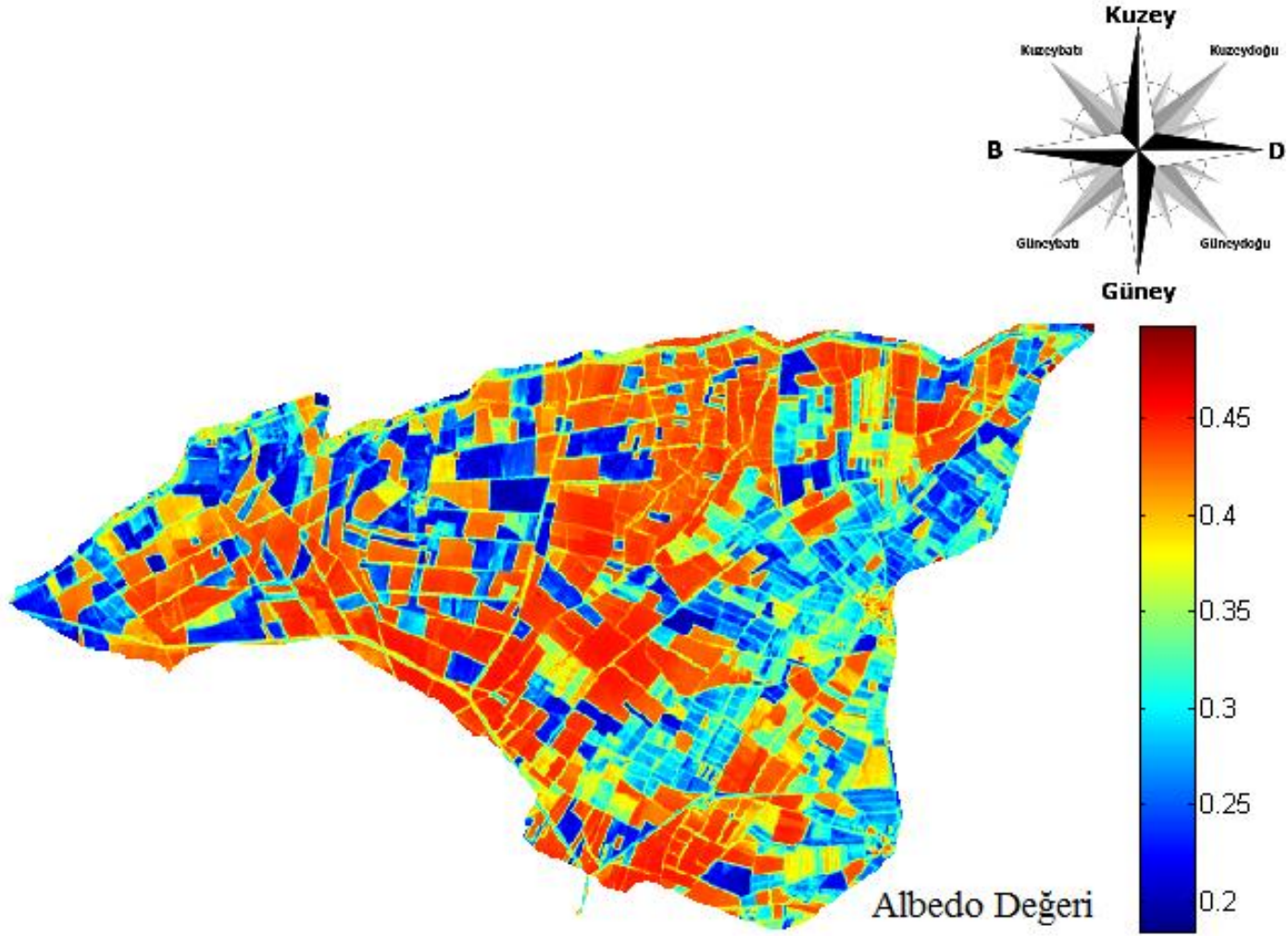
Şekil 14. 28 Nisan 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği



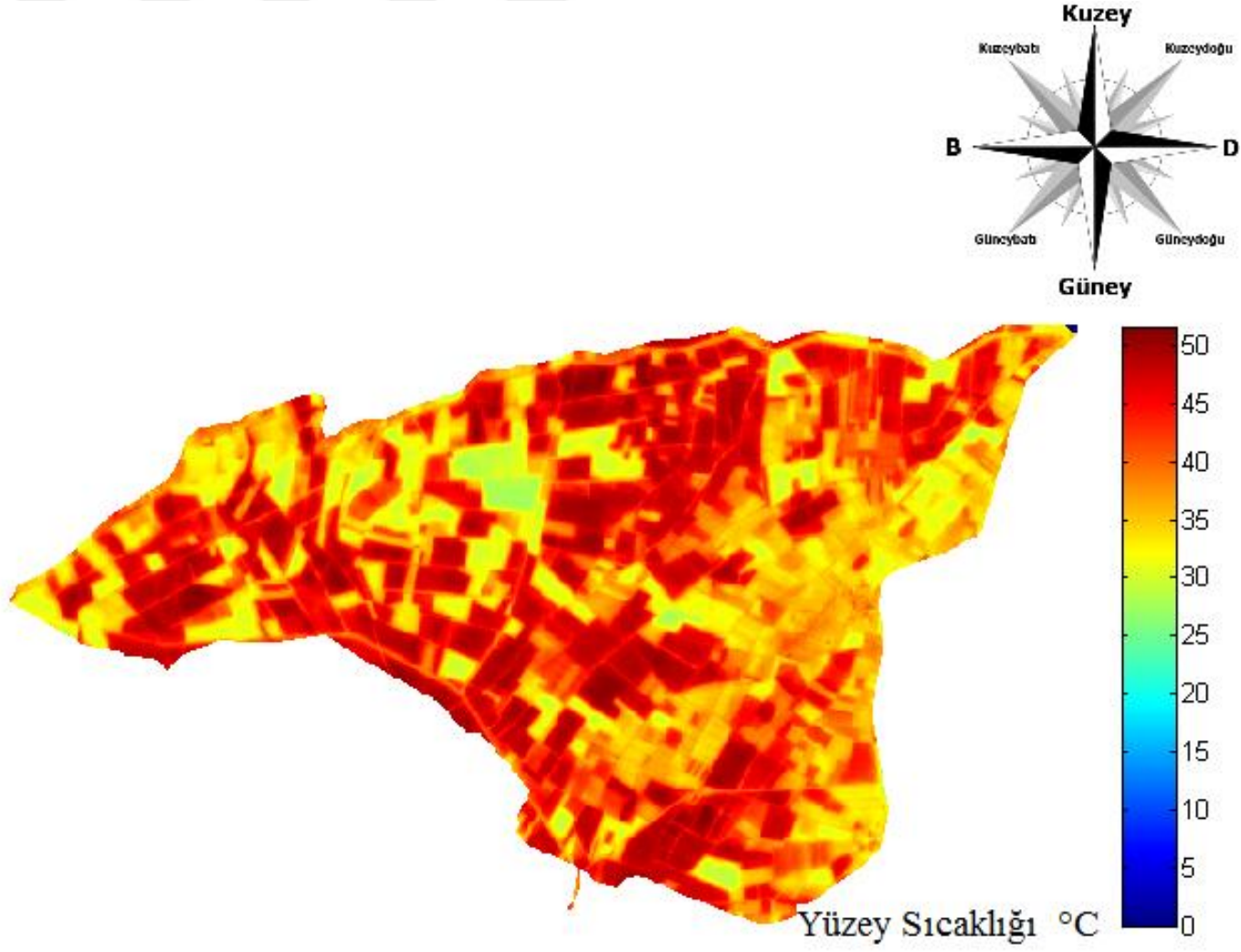
Şekil 15. 28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası



Şekil 16. 28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen NFBİ haritası



Şekil 17. 28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen albedo haritası



Şekil 18. 28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklık haritası

4.2.3 Uygulama No:3 (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)

Bu uygulama, 01 Temmuz 2015 tarihli uydusu görüntüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu ayda hava sıcaklığının ve yüzeye ulaşan radyasyonun oldukça fazla olması; artan gerçek evapotranspirasyon ve azalan yağıştan dolayı su yönetimi veya planlamasının oldukça önemli olduğu bir aydır. Ayrıca bu ay bitki çeşitliliğinin en fazla olduğu aylardan biridir. Bu uygulama, sunulan yaklaşım farklı bitkiler ile kullanıldığında, başarısının bazı bitkilerde mi yoksa genel mi olduğu hakkında önemli sonuçlara ulaşılması için önem arz etmektedir. Temmuz ayı uygulamasında toplam 42 yer gerçeği noktasında hesaplama yapılmıştır. Gerekli olan ET_r değeri ise çalışma bölgesinde bulunan meteoroloji istasyonundan temin edilen meteorolojik veriler yardımıyla Cropwat yazılımı kullanılarak 5.37 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Nokta sayısının görece fazla olması nedeniyle ($42 > 30$), merkezi limit teoremine göre nisan ayında yapılan uygulamadan farklı olarak istatistiksel değerlendirme aşamasında parametrik Eşlenik T testi kullanılmıştır. Jackknife (Leave-One-Out) tekniğine göre elde edilen bulgular Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri ve sonuçlara ilişkin istatistiksel testler

Nokta Adı	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (mm/gün)	SEBAL-DS (Jackknife Yöntemi) (mm/gün)
1	6.18	6.18
2	5.91	5.82
3	5.37	6.19
4	5.37	6.11
5	6.18	6.08
6	6.18	5.32
7	6.18	6.22
8	6.18	5.79
9	6.18	6.16
10	6.18	6.07
11	5.37	6.26
12	6.18	6.06
13	6.18	6.20
14	6.18	5.84
15	6.18	6.21
16	6.18	6.21
17	6.18	6.16
18	6.18	5.82
19	6.18	6.24
20	6.18	6.25
21	5.63	6.09

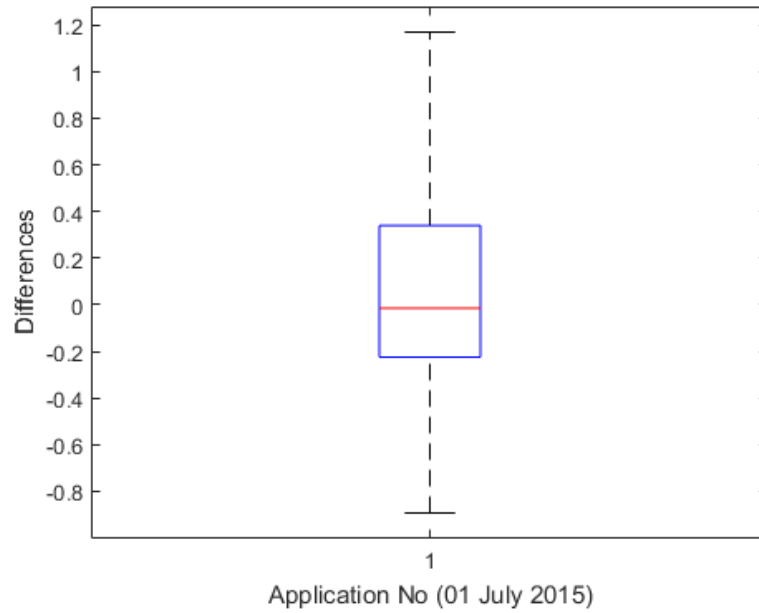
Nokta Adı	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (<i>mm/gün</i>)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (<i>mm/gün</i>)
22	6.18	5.82
23	6.18	5.98
24	6.18	5.80
25	6.18	6.23
26	6.18	5.62
27	6.18	5.01
28	5.91	6.25
29	5.91	5.40
30	5.91	6.05
31	5.91	6.03
32	6.18	5.78
33	5.91	6.23
34	5.37	6.25
35	5.91	6.24
36	5.37	6.05
37	5.91	6.22
38	5.91	5.85
39	5.37	4.79
40	6.18	6.25
41	5.91	6.13
42	6.18	6.03

Uygulamanın ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.319 (*mm/gün*); ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.4350 (*mm/gün*); ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.054 olarak hesaplanmıştır. Tablo 18 incelendiğinde hesaplanan ET_a değerleri ile yer gerçeği değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Tablo 19’de gösterildiği gibi, 0.05 anlamlılık düzeyinde yapılan T testi sonucunda P değeri 0.369 olarak hesaplanması H_0 Hipotezinin (Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur) reddedilmediği anlamına gelmektedir. Ayrıca NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson korelasyon değerinin 0.9229 olarak hesaplanması da çalışma bölgesinin geneli anlamında anlamlı ve tutarlı sonuçlar üretilebildiğini ortaya koymaktadır.

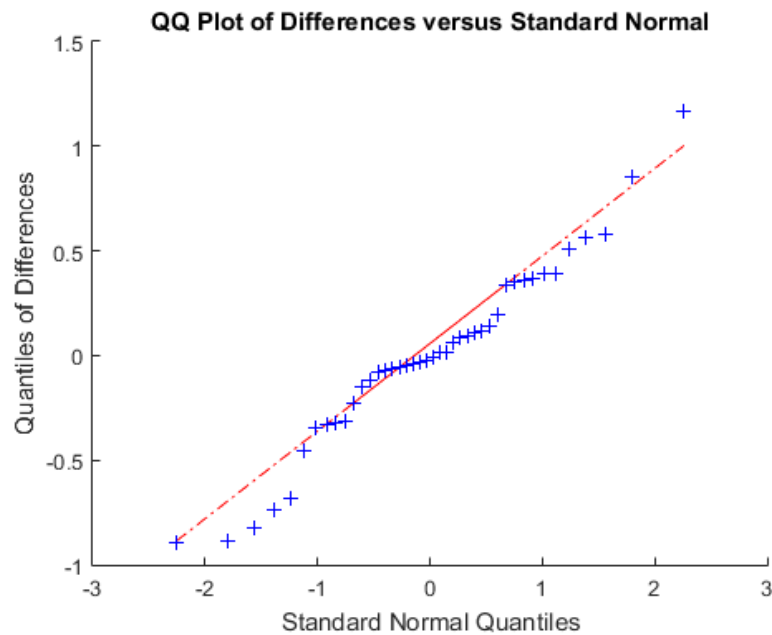
Ek olarak, Şekil 19’de verilen kutu ve Şekil 20’de verilen Q-Q grafikte uyuşumsuz ölçü olmadığı görülmektedir. Sunulan yaklaşıma ait (Jacknife 1. uygulamadan elde edilen) ET_a haritası, NFBİ haritası, albedo haritası ve yüzey sıcaklık haritası sırasıyla Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24’de sunulmuştur.

Tablo 19. Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi.

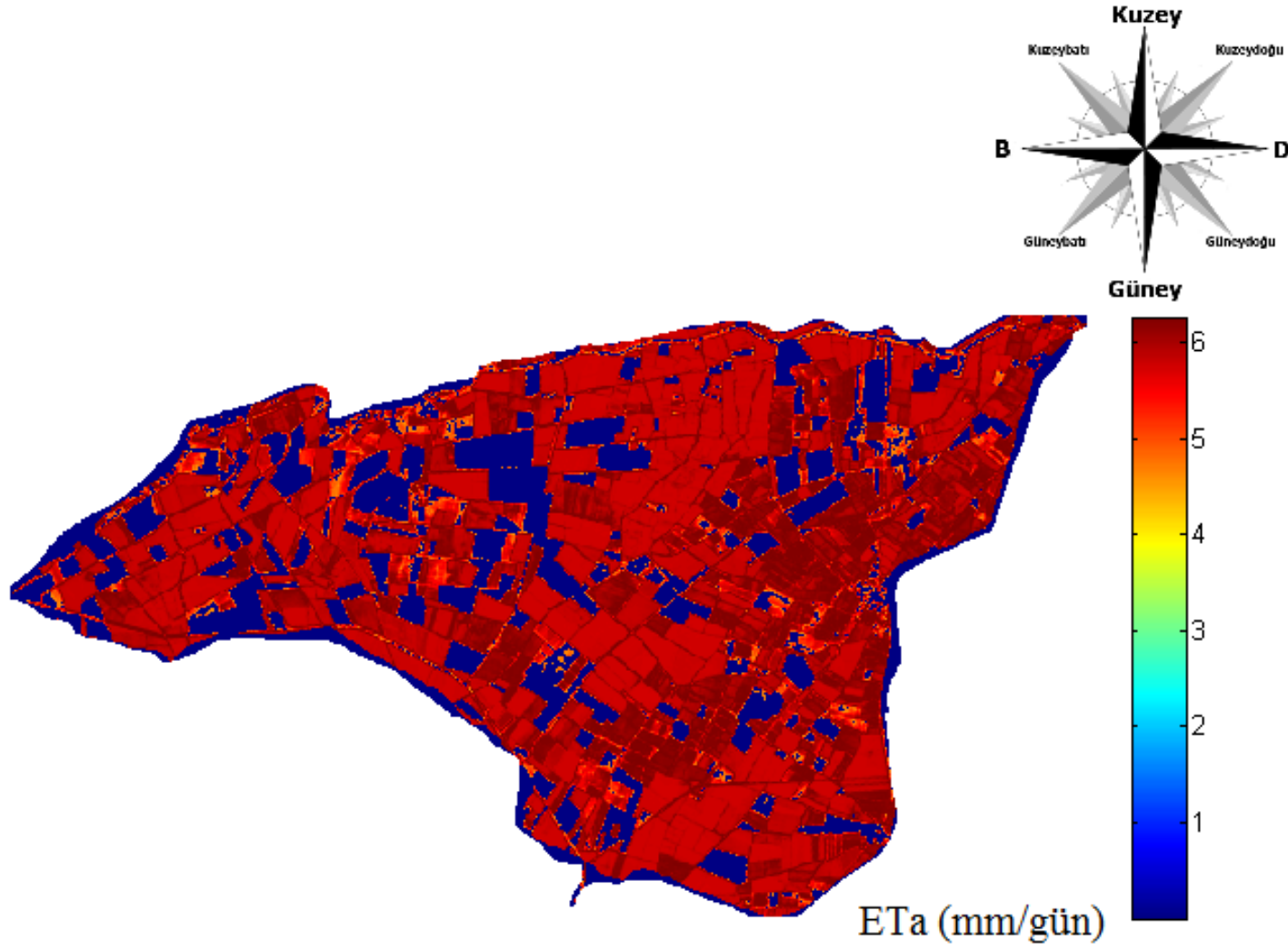
Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha=0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Sunulan Yaklaşım-Bitki Katsayısı Yöntemi	-0.1410	0.99	0.15	-0.908	41	0.369



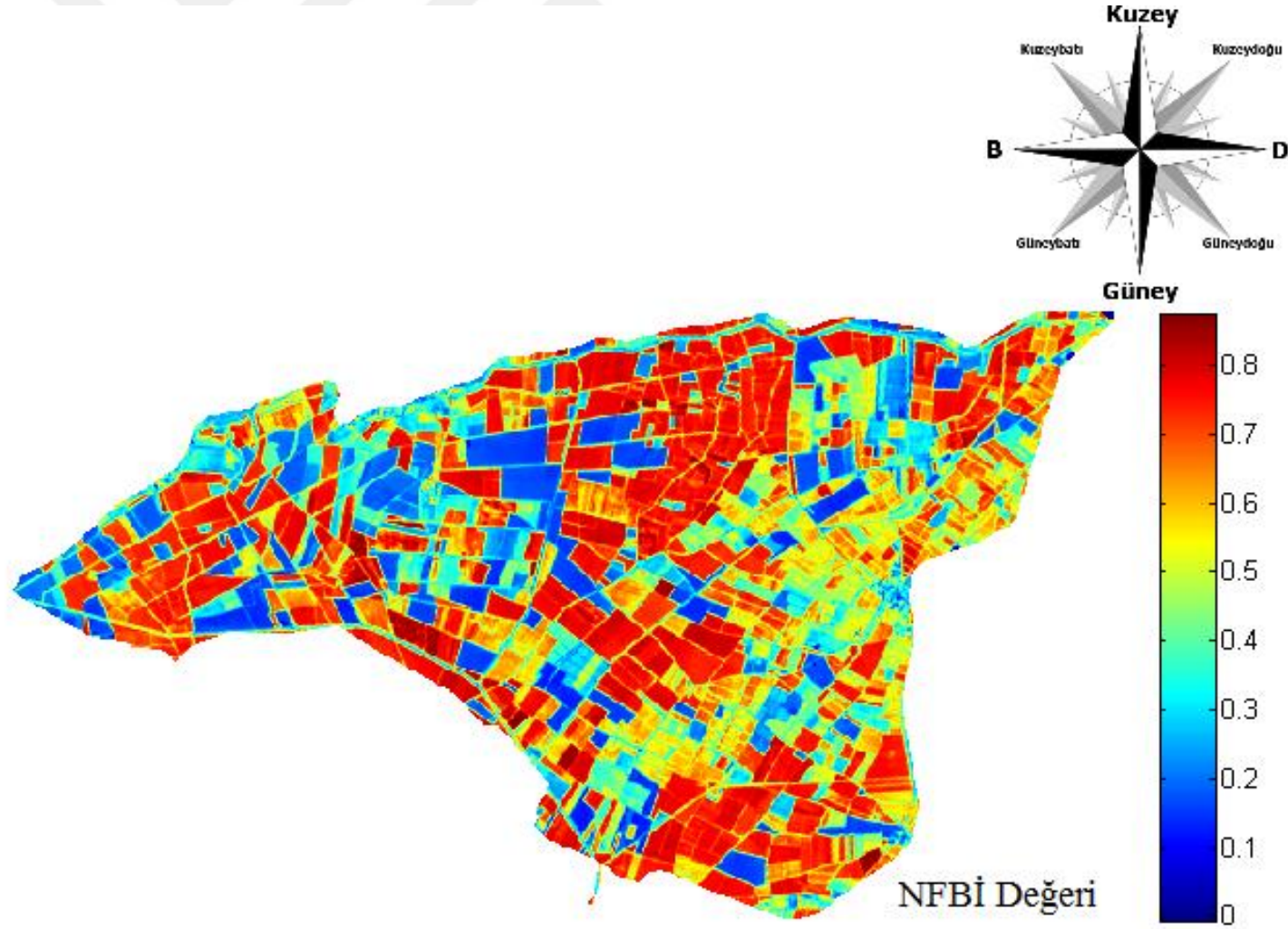
Şekil 19. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği



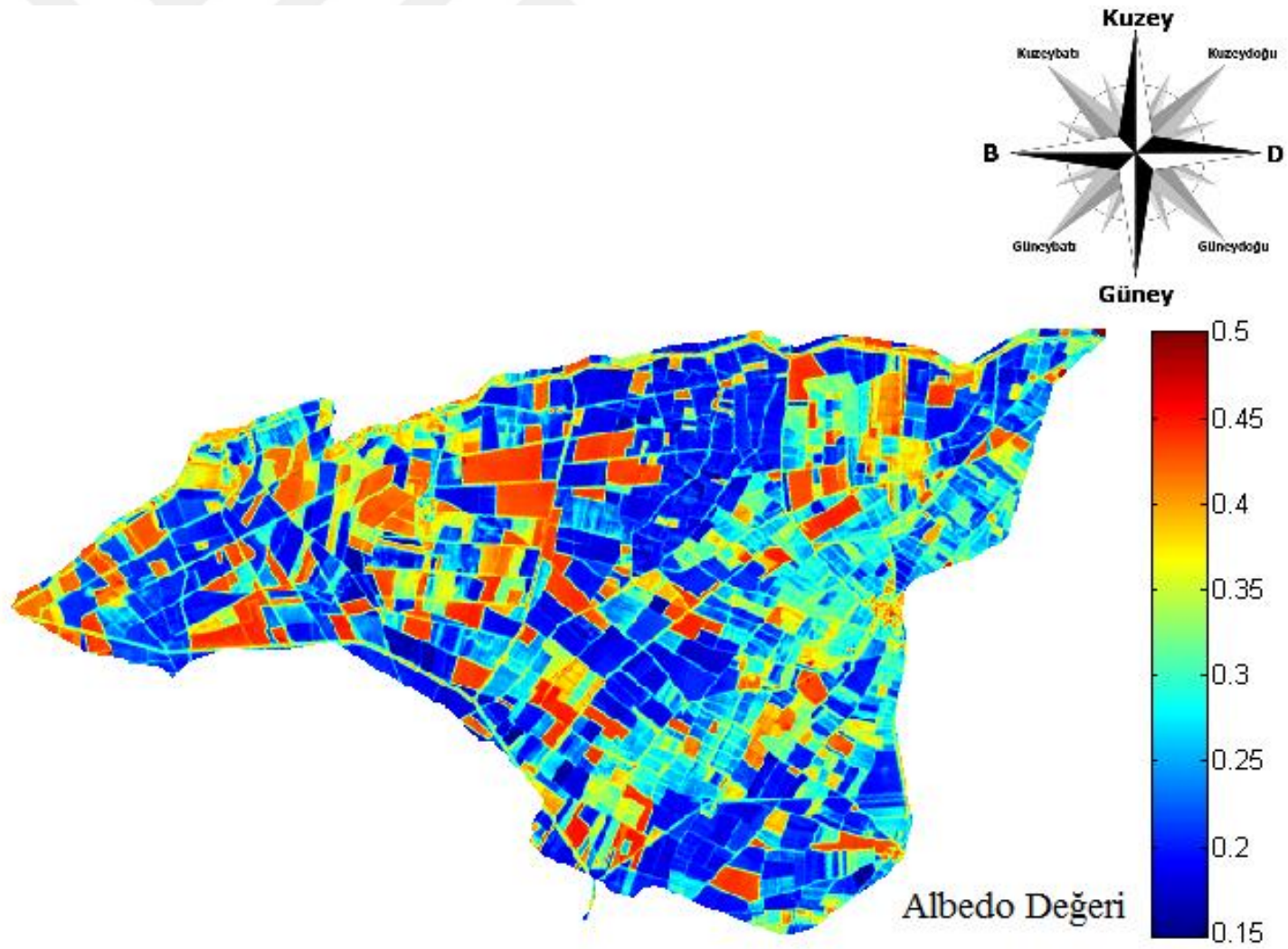
Şekil 20. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği



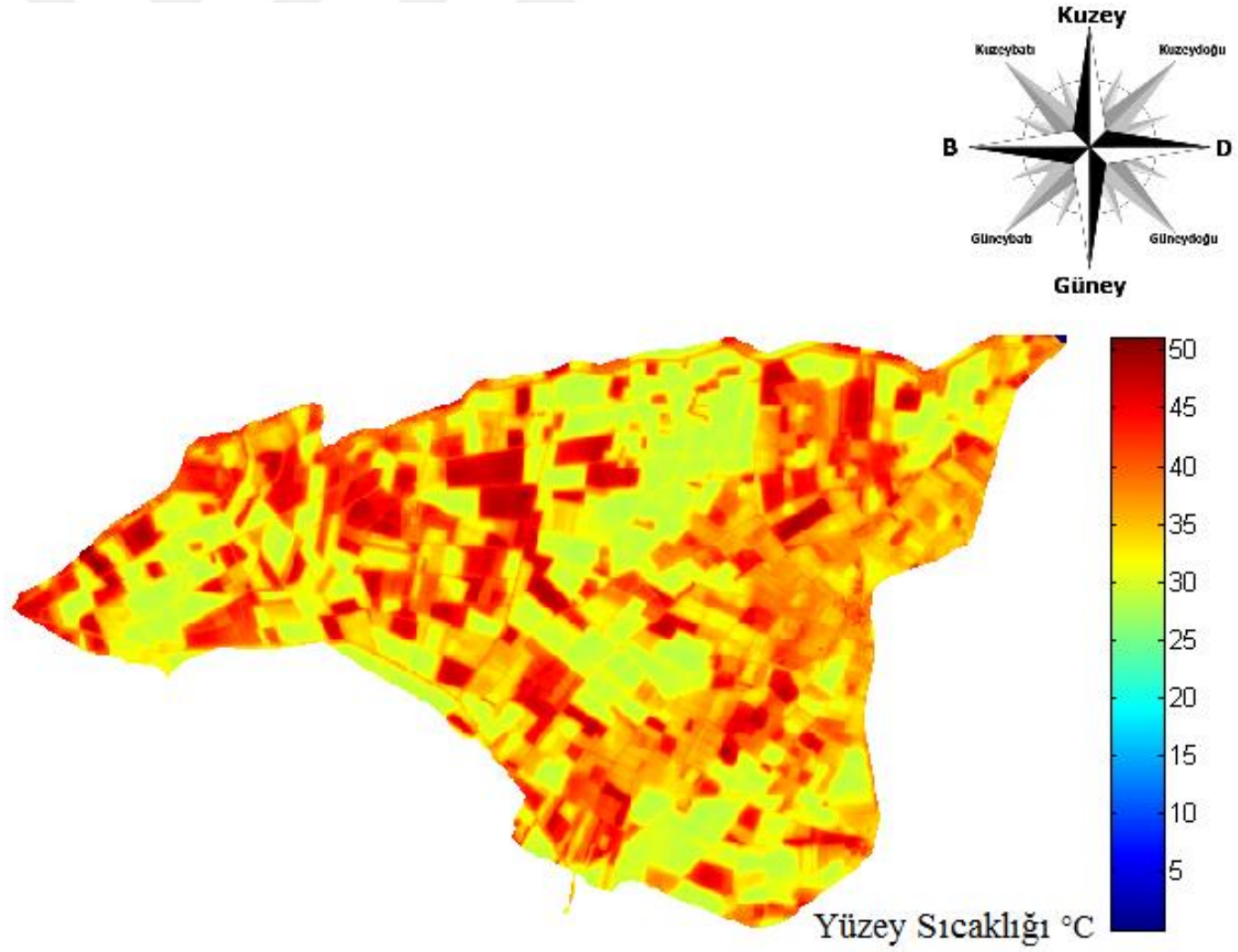
Şekil 21. 01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası



Şekil 22. 01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen NFBİ haritası



Şekil 23. 01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen albedo haritası



Şekil 24. 01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklık haritası

4.3 Albedo Ölçümleri Kullanılmadan Elde Edilen Bulgular

Bu yaklaşımda albedo ölçümlerinin kullanıldığı yaklaşımdan farklı olarak, sadece yer gerçeği noktalarındaki meteorolojik ölçümlere göre hesaplanan ET_a değerleri kullanılmaktadır. Gerçek albedo ölçümlerinin kullanılmadığı bu yaklaşımda hem $Albedo = k_1 + k_2 \times NFBI$ eşitliğindeki k_1 ve k_2 parametreleri hem de $dT = a + b \times (T_s)$ dönüşümündeki a ve b katsayıları Eşitlik 36'da tanımlanmış olan maliyet fonksiyonu kullanılarak yer gerçeği değerlerine göre aynı anda optimize edilmektedir. Bu özgün yaklaşımla arazide albedo ölçümlerine gerek kalmadan sadece bitki türü bilgisi ve meteorolojik ölçümlerle SEBAL-DS modelinin çalışması sağlanmaktadır.

4.3.1. Uygulama No:4 (22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama)

Sunulan yaklaşımın albedometre ölçümleri olmadan yapılan ilk uygulaması 22 Ocak 2015 tarihli Landsat 8 (LDCM) verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Bölüm 4.2.1'de kullanılan yer gerçeği noktaları ve meteorolojik veriler ile uygulama yapılmıştır. Hesaplamalarda istatistiksel olarak yanlılık olup olmadığını ortaya koymak ve kullanılan tekniğin performansının değerlendirilebilmesi için Bölüm 4.2'deki uygulamalarda olduğu gibi Jackknife yöntemi (Leave-One-Out) kullanılmıştır. Sunulan yaklaşım kullanılarak Jackknife yöntemi (Leave one out) ile hesaplanan ET_a değerleri ile bitki katsayısı yöntemi ile elde edilen değerler Tablo 20'de sunulmuştur.

Tablo 20. Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (mm/gün)	SEBAL-DS (Jackknife Yöntemi) (mm/gün)
1	0.62	0.57
2	0.62	0.64
3	0.62	0.61
4	0.68	0.65
5	0.62	0.61
6	0.62	0.60
7	0.62	0.61
8	0.62	0.59
9	0.62	0.59
10	0.62	0.57
11	0.62	0.57
12	0.62	0.59
13	0.62	0.66

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (<i>mm/gün</i>)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (<i>mm/gün</i>)
14	0.62	0.64
15	0.62	0.64
16	0.62	0.63
17	0.57	0.60
18	0.62	0.62
19	0.62	0.61
20	0.62	0.59
21	0.57	0.54
22	0.57	0.59
23	0.57	0.60

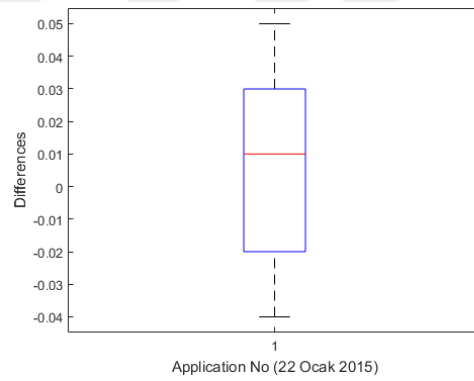
Uygulamanın ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.025 (*mm/gün*); ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.028 (*mm/gün*); ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.041 olarak hesaplanmıştır. Şekil 25’deki kutu grafiğe (1.5 kartil aralığı) göre fark verisinde uyuşumsuz ölçü yoktur. Lilliefor testine göre verinin örneklendiği popülasyonun dağılımı için normal dağılımı uygundur. Bütün bunlara rağmen, hem Q-Q grafiğinin yeterince doğrusallık göstermemesi hem de veri sayısının görece az olması (veri sayısı=23<30) ve Lilliefor testinden elde edile P değerinin 0.05 değerine çok yakın ($P=0.0835$) olması nedeniyle parametrik eşlenik örnekler t-testine ilaveten parametrik olmayan Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi de kullanılmıştır. Tablo 21’de sunulan eşlenik örnekler t-testi’nde P değeri 0.148 olarak hesaplanmıştır. Testin P değerine göre fark popülasyonu ortalamasının sıfıra eşit olduğu hipotezini iddia eden H_0 reddedilememiştir. Bir başka deyişle karşılaştırılan değerlerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı söylenebilir. Tablo 22’de sunulan Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi’ne göre P değeri 0.154 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç da, karşılaştırılan değerlerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ifade etmektedir. Sunulan yaklaşıma ait ET_a haritası Şekil 27’de sunulmuştur. Tablo 20 ve Şekil 27 incelendiğinde hesaplanan ET_a değerleri ile yer gerçeği ET_a değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson korelasyon değerinin 0.8270 olarak hesaplanması, sunulan yaklaşımın sadece yer gerçeği noktalarında değil, arazinin genelinde anlamlı ET_a sonuçları elde ettiğini göstermektedir.

Tablo 21. Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi analizi

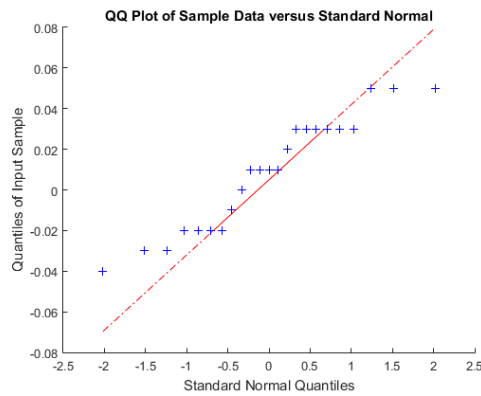
Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha=0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Model - Bitki Katsayısı Yöntemi	0.00870	0.0278	0.00581	1.498	22	0.148

Tablo 22. Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi.

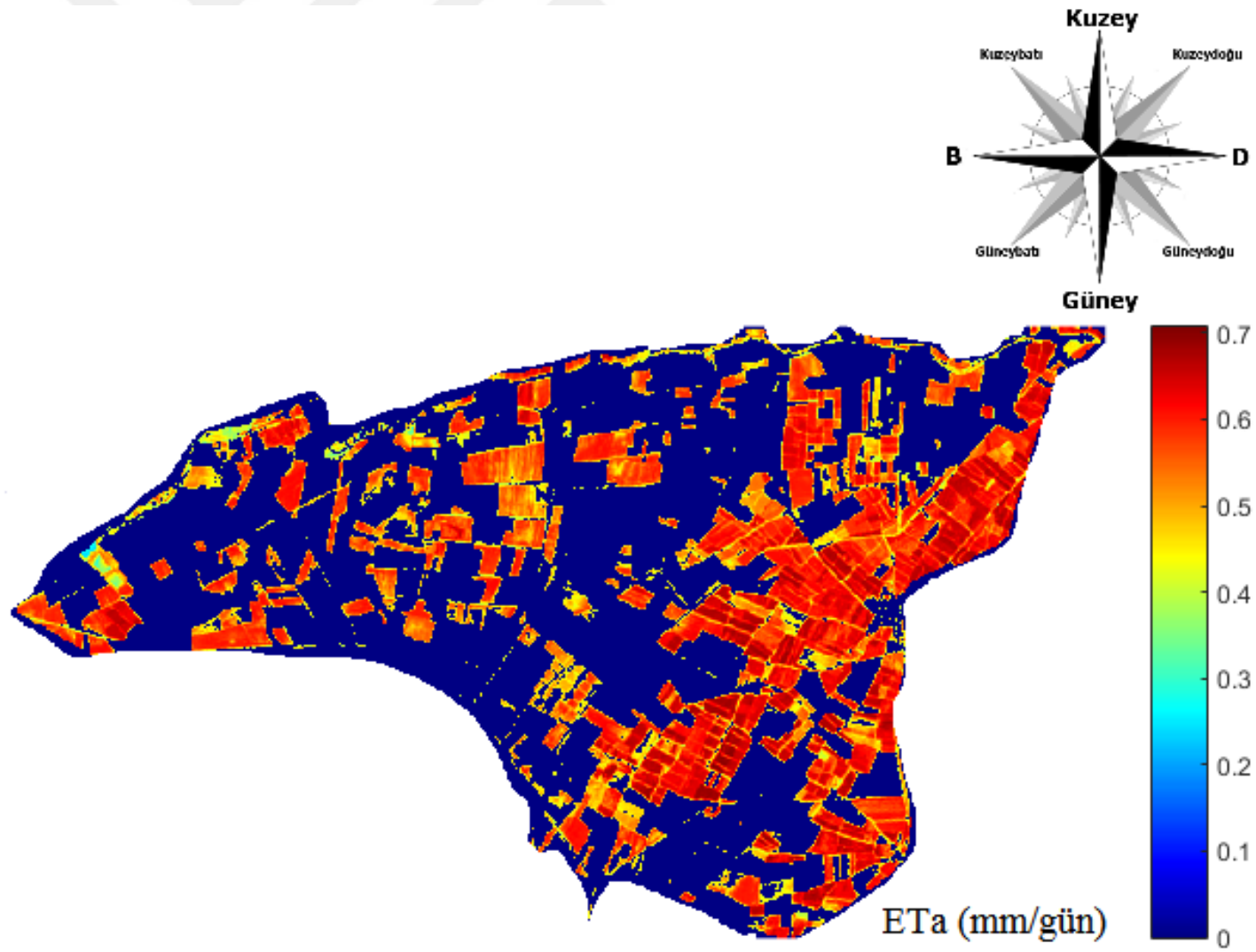
Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H_0 Hipotezi	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar ($\alpha=0.05$)
Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur	0.154	14	8	83	H_0 reddedilmez



Şekil 25. 22 Ocak 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği



Şekil 26. 22 Ocak 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği



Şekil 27. 22 Ocak 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası

4.3.2 Uygulama No:5 (28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama)

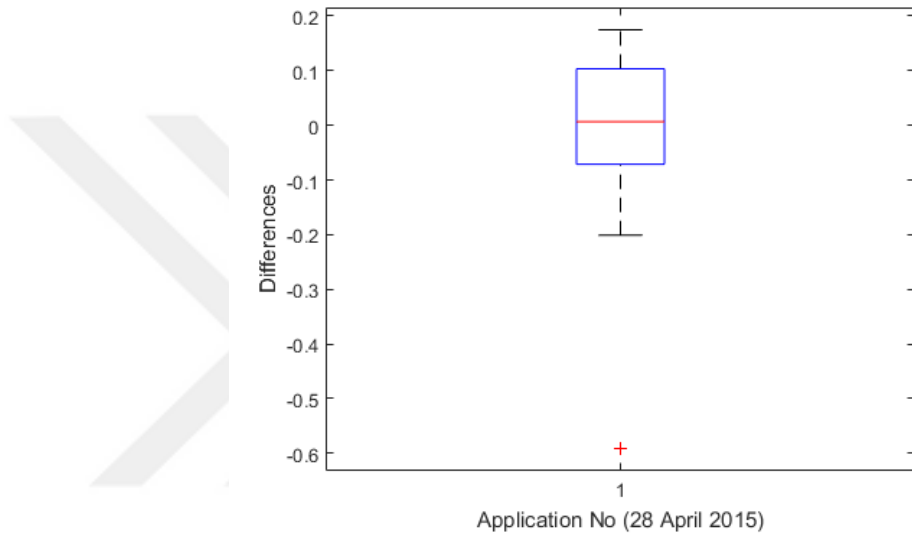
Albedometre kullanılmadan, yapılan ikinci uygulama 28 Nisan 2015 tarihine ait veriler ile gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.14 (*mm/gün*), ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.20 (*mm/gün*), ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.026 olarak hesaplanmıştır (Tablo 23). Kutu grafiğe göre bir adet uyuşumsuz örnek olması ve veri sayısının da az olmasından dolayı t-testi kullanılmamıştır. Elde edilen fark sonuçları (Hedef ET_a – Sunulan yaklaşımla bulunan ET_a) Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testiyle istatistiksel olarak test edilmiştir. Elde edilen değerler Tablo 24’de sunulmuştur. Wilcoxon işaret testine göre P değerinin 0.897 olması sunulan yaklaşımın etkili bir yaklaşım olduğu iddiasını oldukça güçlü desteklemektedir. Ek olarak NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson korelasyon değerinin 0.8913 olarak hesaplanması, sunulan yaklaşımın sadece yer gerçeği noktalarında değil, arazinin genelinde anlamlı ET_a sonuçları elde ettiğini göstermektedir.

Tablo 23. 28 Nisan 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri

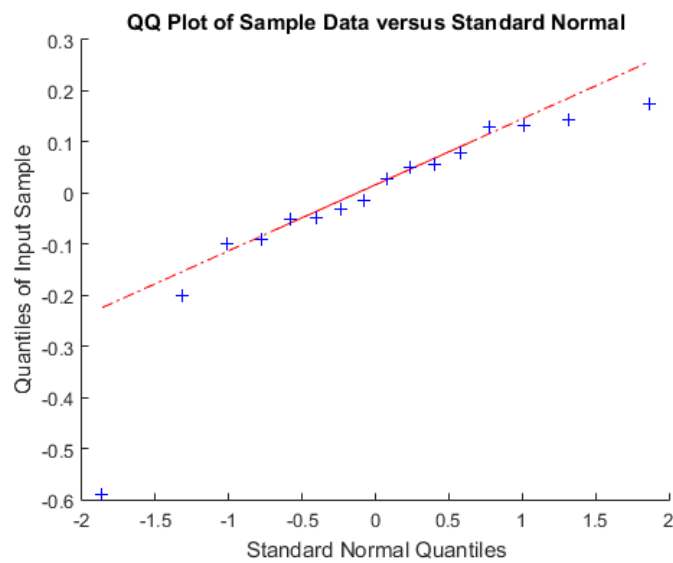
Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (<i>mm/gün</i>)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (<i>mm/gün</i>)
1	5.75	5.62
2	5.47	5.50
3	5.75	5.72
4	5.75	5.67
5	4.51	4.61
6	5.47	5.48
7	4.51	5.10
8	5.47	5.56
9	5.47	5.52
10	5.47	5.84
11	5.47	5.67
12	5.75	5.70
13	5.75	5.70
14	5.75	5.58
15	5.75	5.60
16	5.75	5.62

Tablo 24. Jackknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi

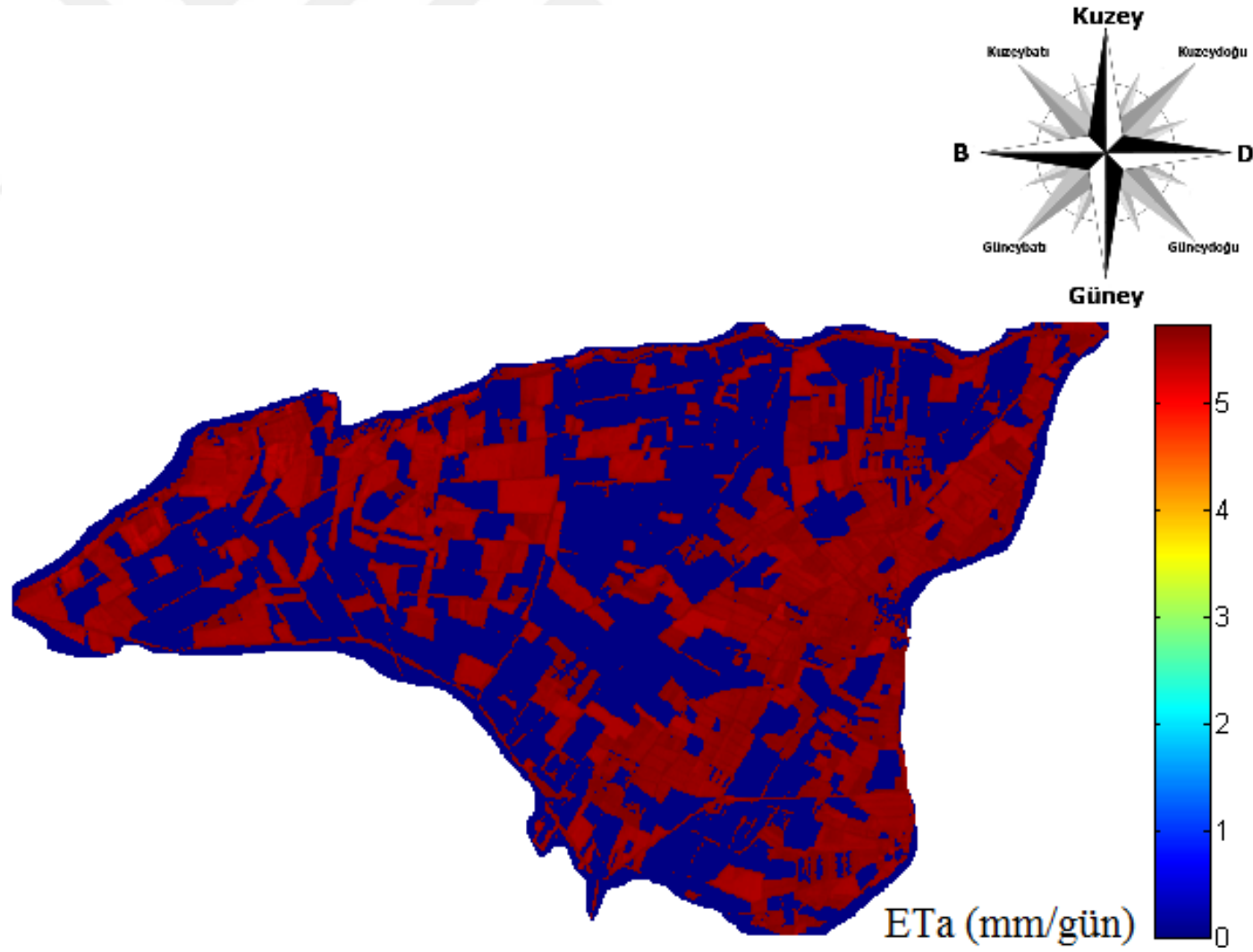
Bulgulara İlişkin Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H₀ Hipotezi($\alpha=0.05$)	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar
Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur	0.897	8	8	70.5	Kabul



Şekil 28. 28 Nisan 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği



Şekil 29. 28 Nisan 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği



Şekil 30. 28 Nisan 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası

4.3.3 Uygulama No: 6 (01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama)

Albedometre kullanılmadan gerçekleştirilen son uygulama, 01 Temmuz 2015 tarihli uydusu görüntüsü ve ilgili meteorolojik veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nokta sayısının görece fazla olması nedeniyle ($42 > 30$), merkezi limit teoremine göre nisan ayında yapılan uygulamadan farklı olarak hem amaç fonksiyonunda hem de istatistiksel değerlendirme aşamasında parametrik Eşlenik T testi kullanılmıştır. Jacknife (Leave-One-Out) tekniğine göre elde edilen bulgular Tablo 25’de verilmiştir.

Tablo 25. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri ve sonuçlara ilişkin istatistiksel testler

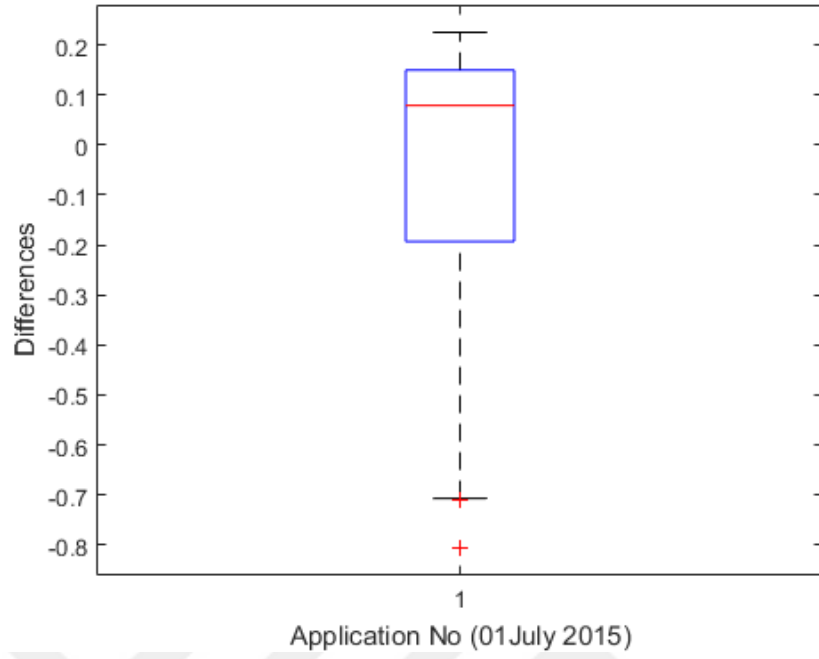
Nokta Adı	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (mm/gün)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
1	6.18	6.02
2	5.91	5.96
3	5.37	6.08
4	5.37	6.00
5	6.18	6.09
6	6.18	6.14
7	6.18	6.02
8	6.18	5.95
9	6.18	6.01
10	6.18	6.08
11	5.37	6.05
12	6.18	6.00
13	6.18	6.06
14	6.18	6.05
15	6.18	6.06
16	6.18	6.01
17	6.18	6.07
18	6.18	5.95
19	6.18	6.04
20	6.18	6.05
21	5.63	6.02
22	6.18	5.96
23	6.18	6.00
24	6.18	5.95
25	6.18	6.06
26	6.18	6.12

Nokta Adı	Bitki Katsayısı Yöntemi [53, 95] (mm/gün)	SEBAL-DS (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
27	6.18	6.16
28	5.91	6.05
29	5.91	6.14
30	5.91	6.10
31	5.91	6.10
32	6.18	5.95
33	5.91	6.03
34	5.37	6.05
35	5.91	6.03
36	5.37	6.07
37	5.91	6.02
38	5.91	6.12
39	5.37	6.17
40	6.18	6.05
41	5.91	6.00
42	6.18	6.09

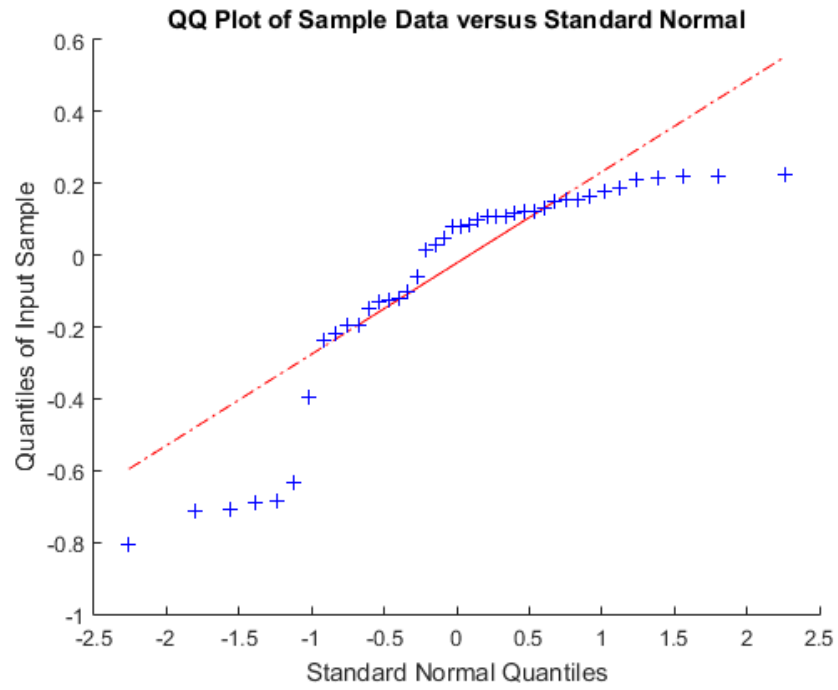
Uygulamanın ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.23, ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.430, ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.039 olarak hesaplanmıştır. Tablo 25 incelendiğinde hesaplanan ET_a değerleri ile yer gerçeği değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Tablo 26’de gösterildiği gibi, 0.05 anlamlılık düzeyinde yapılan t-testi sonucunda P değeri 0.215 olarak hesaplanmış ve H_0 Hipotezinin (Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur) reddedilmediği görülmüştür. Ayrıca NFBİ ve ET_a arasındaki Pearson korelasyon değerinin 0.9237 olarak hesaplanması, sunulan yaklaşımın sadece yer gerçeği noktalarında değil, arazinin genelinde anlamlı ET_a sonuçları elde ettiğini göstermektedir. Sunulan yaklaşıma ait (Jacknife 1. uygulamadan elde edilen) ET_a haritası Şekil 33’te sunulmuştur.

Tablo 26. Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi.

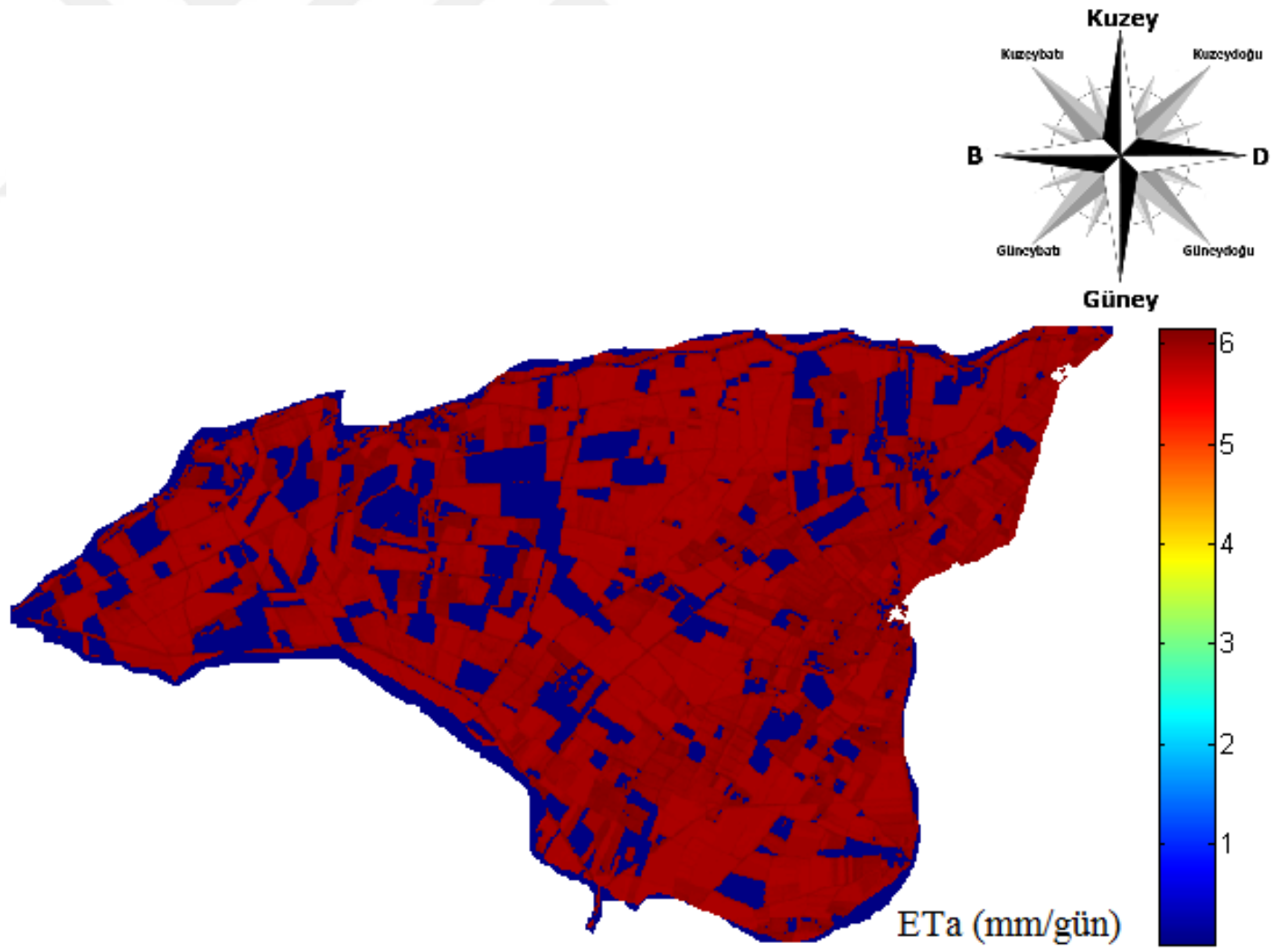
Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha= 0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Sunulan Yaklaşım-Bitki Katsayısı Yöntemi	-0.0590	0.3041	0.0469	-1.258	41	0.215



Şekil 31. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği



Şekil 32. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için Q-Q grafiği



Şekil 33. 01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen ET_a haritası

4.4 Aylık Gerçek Evapotranspirasyon Değerlerinin Haritalanması

4.4.1 Ocak 2015 Ayı İçin Aylık Evapotranspirasyon Değerlerinin Hesaplanması ve Haritalanması Haritasının Hesaplanması

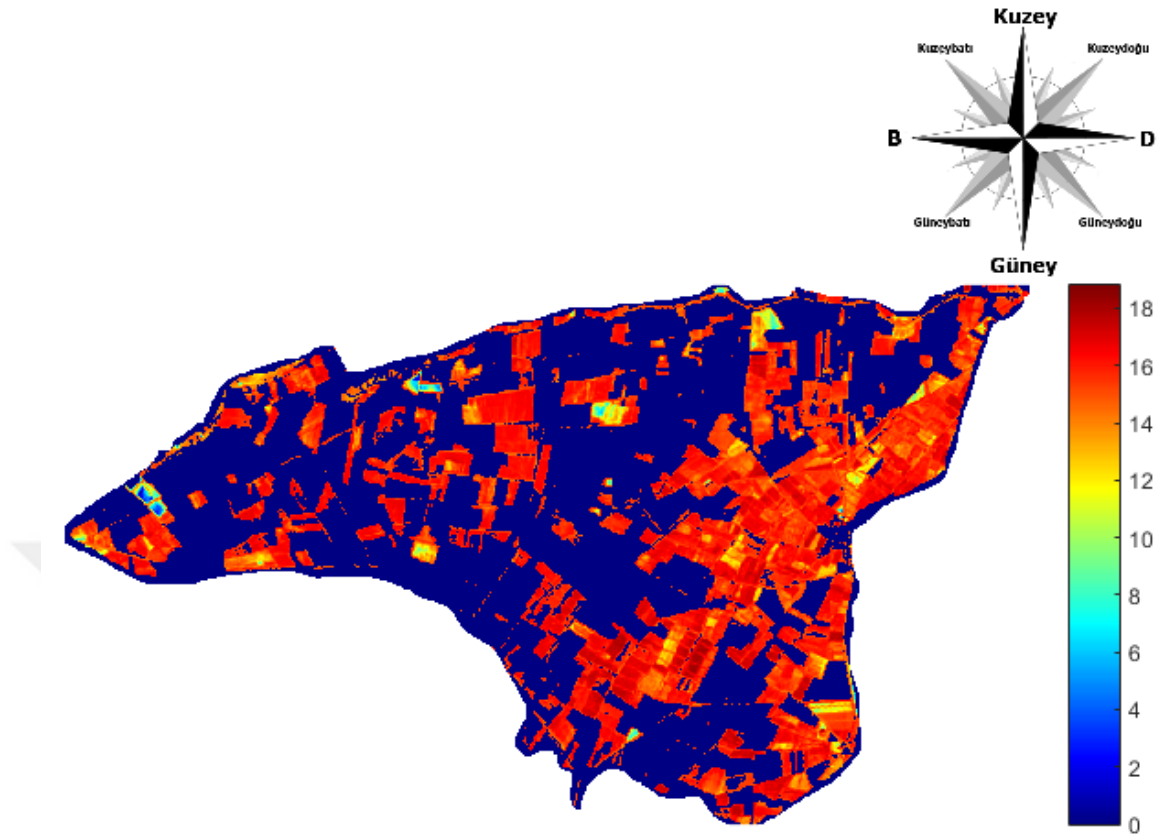
Meteoroloji istasyonundan alınan verilerden hesaplanan aylık toplam referans evapotranspirasyon değeri (ET_r) 21.6 mm/ay'dır. 22 Ocak 2015 tarihinde günlük (ET_r) değeri 0.76 mm/gün'dür. Buna göre yığışimli çarpım katsayısı 28.22 olarak bulunur ve aylık toplam gerçek evapotranspirasyon haritası Şekil 34'de sunulmuştur.

4.4.2 Nisan 2015 Ayı İçin Aylık Evapotranspirasyon Haritasının Hesaplanması

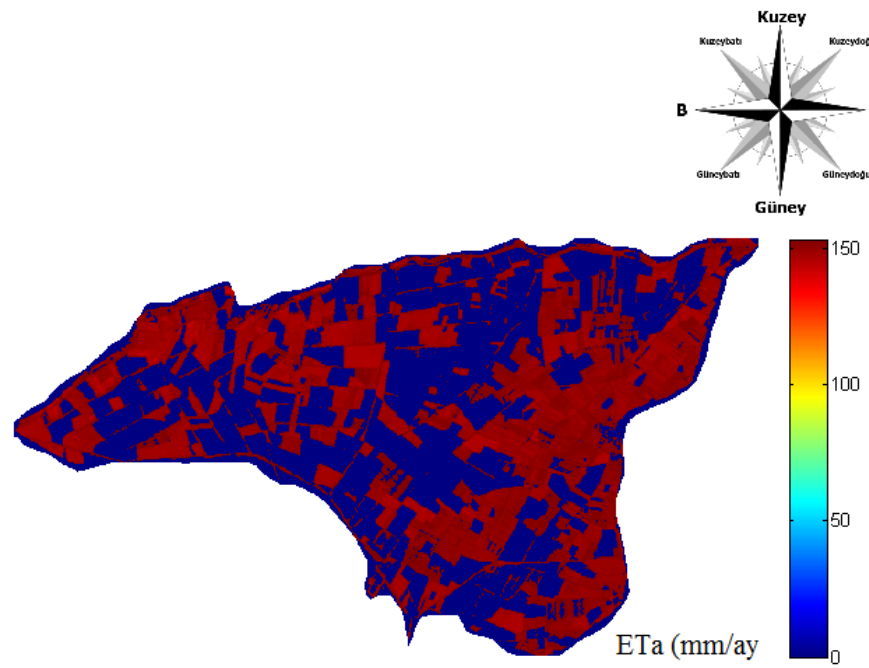
Nisan ayı boyunca yapılan meteorolojik ölçümler sonucu uydu görüntüsünün alındığı tarih olan 28 Nisan 2015 tarihinin referans evapotranspirasyon değeri 3.76 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Aylık referans evapotranspirasyon değeri ise 100.5 mm/ay olarak hesaplanmıştır. Buna göre yığışimli çarpım katsayısı 26.72 olarak bulunur ve aylık gerçek evapotranspirasyon haritası, 28 Nisan 2015 tarihli ET_a haritasının her bir piksel ile bu değer çarpılması ile bulunur. Aylık toplam gerçek evapotranspirasyon haritası Şekil 34'de sunulmuştur.

4.4.3 Temmuz 2015 Ayı İçin Aylık Evapotranspirasyon Haritasının Hesaplanması

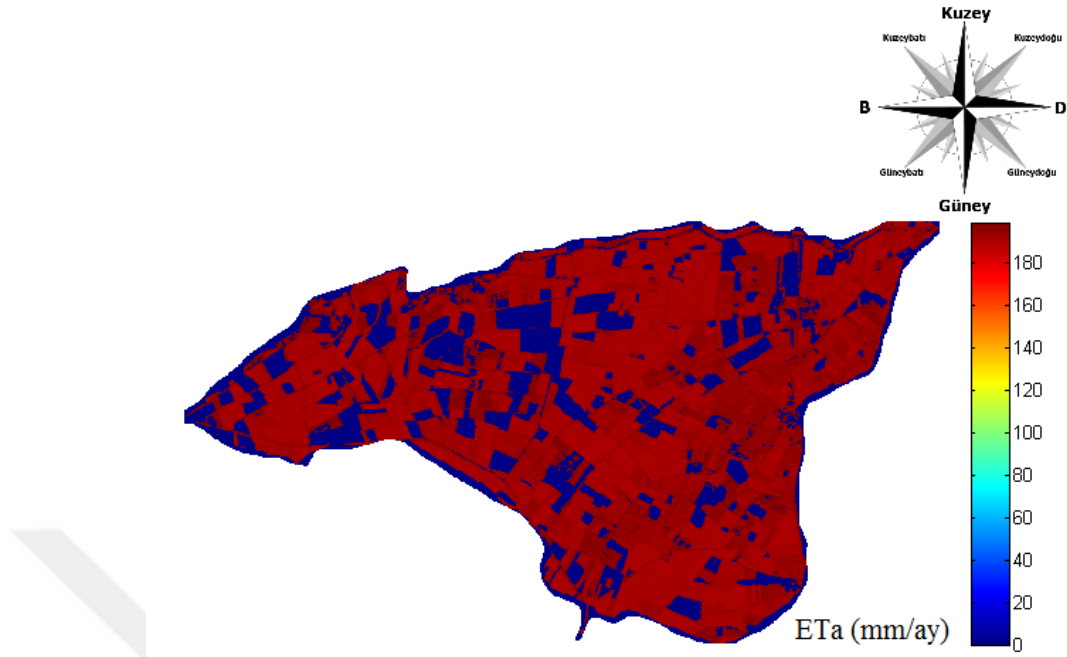
Temmuz ayı süresince derlenen meteorolojik veriler sonucu uydu görüntüsünün alındığı tarih olan 01 Temmuz 2015 tarihinin referans evapotranspirasyon değeri 5.38 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Aylık referans evapotranspirasyon değeri ise 174.22 mm/ay olarak hesaplanmıştır. Buna göre yığışimli çarpım katsayısı 32.38 olarak bulunur ve aylık gerçek evapotranspirasyon haritası, 28 Nisan tarihli ET_a haritasının her bir piksel ile bu değerin çarpılması ile bulunur. Aylık toplam gerçek evapotranspirasyon haritası Şekil 35'de sunulmuştur.



Şekil 34. Çalışma bölgesinin 2015 yılı ocak ayı için hesaplanan aylık ET_a haritası



Şekil 35. Çalışma bölgesinin 2015 yılı nisan ayı için hesaplanan aylık ET_a haritası



Şekil 36. Çalışma bölgesinin 2015 yılı temmuz ayı için hesaplanan aylık ET_a haritası

4.5 Bitki Örtüsü ve Atmosferik Koşulların Değişiminin Model Üzerine Etkileri

Aşağı Seyhan Ovası bitki örtüsünün mevsimsel olarak değişim gösterdiği, farklı endüstriyel bitkilerin yetiştirilebildiği ve anlık iklim değerlerinin bölge boyunca ciddi olarak değişmediği bir yapıya sahiptir. Bu bağlamda aynı zaman dilimi içerisinde farklı bitkilere ait ET_a değerleri gözlemlenmiştir. Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında yapılan uygulamalarda mümkün olduğu kadar farklı bitkilerden ölçümler alınmış ve farklı atmosferik koşullarda uygulamalar yapılmıştır. Bulgular incelendiğinde, geliştirilen yaklaşımın, Akarsu Sulama Birliği bölgesinde farklı mevsim ve bitkilerde dahi oldukça başarılı sonuçlar ürettiği istatistiksel olarak ortaya konmuştur. Böylelikle ET_a haritalarına ihtiyaç duyan tüm kurum veya kuruluşların sunulan yaklaşımları farklı atmosferik koşullarda kullanabilecekleri ortaya konmuştur.

5. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatür incelendiğinde, birçok farklı bölgede etkili bir şekilde kullanılmış olması ve az sayıda kontrol parametresi gerektirmesinden dolayı SEBAL yöntemi gerçek evapotranspirasyon haritalamada en çok tercih edilen tekniklerin başında gelmektedir. Ancak yakın zamana kadar kullanılan uydu sistemlerinin günümüzde arızalı veya kullanım dışı olmaları, geri kalanların ise mekânsal çözünürlüklerinin düşük olması sebebiyle SEBAL tekniğinin yeni uydu sistemlerine adapte edilmesi gerekmektedir. Bu konuda en uygun, SEBAL için gerekli tüm spektral aralıklarda ölçüm yapabilen LANDSAT 8 (LDCM) uydusudur. Bu nedenle tez kapsamında LANDSAT 8 uydu sistemi kullanılarak standart SEBAL yaklaşımına göre daha az uzmanlık bilgisi gerektiren yeni bir SEBAL versiyonu tasarlanmıştır. Sunulan yaklaşım Türkiye'nin en önemli tarım alanlarından bir olan Çukurova'daki Akarsu Sulama Birliği alanında ocak, nisan ve temmuz olmak üzere 3 farklı ayda hem Albedo ölçümü ile hem de bu ölçümler olmadan uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel hipotez testleri kullanılarak test edilmiştir. Bu testlerde aynı yer gerçeği noktaları üzerinden birbiriyle ilişkili olan hedef-hesaplanan gerçek evapotranspirasyon değerleri arasındaki farklar eşlenik nokta çiftleri yaklaşımına göre test edilmiştir. Kullanılan yer yer gerçeği noktalarının sayısına uygun olarak göre eşlenik çift t-testi ve Wilcoxon işaret testi kullanılarak bulguların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı tespit edilmiştir. Tamamlanan tez kapsamında elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Daha önce literatürde gerçek evapotranspirasyon haritalamada kullanılmamış olan Landsat 8 (LDCM) uydusu sunulan yaklaşım ile kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu sayede isteyen kurum veya araştırmacılar Landsat 8 uydu görüntüsünü kullanarak yer gerçeği noktalarını belirlemek koşuluyla istedikleri

bir bölgenin gerçek evapotranspirasyon haritalamasını gerçekleştirebilecek ve su yönetimi sürecinin daha etkin hale getirebileceklerdir.

- Çalışma bölgesinde yapılan gerçek albedo ölçümleri ile NFBİ değerleri ilişkilendirilmiş ve bu işlemin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ortaya konmuştur.
- Ayrıca, albedo ölçümleri olmadan da çalışabilir nitelikte yeni bir yaklaşım tasarlanmıştır. Bu yaklaşımla elde edilen sonuçların istatistiksel olarak başarılı olduğu gösterilmiştir. Bu sayede albedo ölçümlerini yapılamadığı durumlarda kullanılabilecek bir çözüm olarak ortaya konmuştur.
- Geliştirilen bilgisayar kodlarıyla özellikle radyans (ışınırılık) ve reflektans (yansıtım) değerlerinin hesaplanması aşamasında gerekli olan parametreler meta veri dosyasından otomatik olarak çekilmiş, oldukça dikkat gerektiren ve uzun süren veri girişi minimuma indirilmiştir. Hazırlanan bilgisayar programı, ET_a hesaplaması yapılacak Landsat 8 görüntüsü, ortalama sıcaklık, rüzgar hızı, yer gerçeği noktalarına ait veri matrisi ve meta veri dosyası olmak üzere sadece 5 girdiye ihtiyaç duymaktadır.
- Çok kanallı görüntüler konusunda uzmanlık gerektiren uç piksel seçme işlemi otomatik hale getirilmiştir. Diferansiyel arama optimizasyon algoritması kullanılarak gerçekleştirilen parametre kestirimi ile yeryüzü sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasındaki farklar otomatik olarak hesaplanmaktadır. Bu amaçla özgün bir maliyet fonksiyonu önerilmiştir.
- Tez süresince hava şartlarının (en önemlisi bulutluluk) uygun olmasına bağlı olarak ocak, nisan ve temmuz olmak üzere 3 farklı mevsimde uygulama yapılmış ve sunulan yaklaşımın uygulama yapılan ayların tamamında oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği istatistiksel olarak gösterilmiştir.
- Klasik FAO Penman-Monteith yöntemi takip edilerek hesaplanan referans ET değerleri K_c kat sayıları ile çarpılarak gerçek ET elde edilmektedir. Geliştirilen bu özgün yöntemde, K_c katsayıları kullanılmadan direk olarak gerçek ET hesabı yapılabilmekte ve alansal olarak haritalanabilmektedir.

Tezden elde edilen bulgular ışığında şu öneriler yapılabilir:

- Sunulan yaklaşım farklı iklimsel yapıya sahip tarım alanlarında da uygulanarak etkinliği incelenebilir ve gerekli değişiklikler yapılabilir.
- Parametre kestiriminde kullanılan Diferansiyel arama optimizasyon algoritması yerine farklı yapay zeka optimizasyon algoritmaları kullanılarak yaklaşımın başarısı incelenebilir.
- Sunulan yaklaşımın Türkiye'ye ait Göktürk-2 vb. gibi uzaktan algılama uydu sistemleriyle olan bireysel veya başka sistemlerle olan hibrid kullanım olanakları araştırılabilir. Böylece zamansal çözünürlüğü oldukça yüksek olan yeni uydu sistemleri ile kullanılabilirliği incelenerek, aylık olarak çok daha sık ET_a haritalarının hesaplanabilirliği ortaya konabilir.
- İzlenen yaklaşım kullanılarak Kc bitki katsayıları alan bazında belirlenebilir. Literatürdeki değerler ile bu Kc değerleri kıyaslanarak yeni fikir ve yorumlar getirilebilir.
- Yöntem kullanılarak elde edilecek aylık ET_a haritaları aritmetik olarak toplanabilir, yıllık ET_a haritası elde edilebilir. Bu harita yardımıyla gerçek ET değerlerinin alansal dağılımı ve değişimi irdelenebilir; yıllık ET_a haritasının ortalaması alınarak üzerinde çalışılan alan için alansal ortalama ET_a değeri belirlenebilir. Bu değerler, sulama projelerinin planlanması ve işletme aşamalarında kullanılabilir; karar vericilerin daha sağlıklı karar vermelerine yardımcı olabilir. Bu haritalar kullanılarak, özellikle sulama şebekeleri işletmeciliğinde su tasarrufu sağlanabilir.
- Referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında meteorolojik veriler gerekli olduğundan, daha fazla sayıda meteoroloji istasyonu kullanılarak ET_a haritaları daha yüksek doğrulukla hesaplanabilir.
- Kamu kurumları tarafından baraj yapılması planlanan bölgeler için aylık ve yıllık ET_a haritalama işlemleri yapılarak en uygun su depolama miktarları belirlenebilir ve baraj bu kriterlere göre inşa edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Thunnissen, H. A. M., Nieuwenhuis, G. J. A., 1989. An application of remote sensing and soil water balance simulation models to determine the effect of groundwater extraction on crop evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, 15 (4): 315-332.
2. Dunkel, Z., Bozó, P., Szabó, T., Vadász, V., 1989. Application of thermal infrared remote sensing to the estimation of regional evapotranspiration. **Advances in Space Research**, 9 (7): 255-258.
3. Sucksdorff, Y., Otle, C., 1990. Application of satellite remote sensing to estimate areal evapotranspiration over a watershed. **Journal of Hydrology**, 121 (1-4): 321-333.
4. Kizer, M. A., Elliott, R. L., 1991. Eddy-Correlation Systems for Measuring Evapotranspiration. **Transactions of the Asae**, 34 (2): 387-392.
5. Zhang, L., Lemeur, R., Goutorbe, J. P., 1995. A one-layer resistance model for estimating regional evapotranspiration using remote sensing data. **Agricultural and Forest Meteorology**, 77 (3-4): 241-261.
6. Medina, J. L., Camacho, E., Reca, J., López, R., Roldán, J., 1998. Determinization and analysis of Regional Evapotranspiration in southern Spain based on remote sensing and GIS. **Physics and Chemistry of The Earth**, 23 (4): 427-432.
7. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO, Rome**, 300: 6541.
8. Farah, H. O., Bastiaanssen, W. G. M., 2001. Impact of spatial variations of land surface parameters on regional evaporation: a case study with remote sensing data. **Hydrological Processes**, 15 (9): 1585-1607.
9. Hafeez, M. M., Chemin, Y., Van De Giesen, N., Bouman, B. A. M., "Estimation of crop water deficit through remote sensing in Central Luzon, Philippines," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS '02. 2002 IEEE International*, 2002, pp. 2778-2780 vol.5.
10. Wu, W., Hall, C. A. S., Scatena, F. N., Quackenbush, L. J., 2006. Spatial modelling of evapotranspiration in the Luquillo experimental forest of Puerto Rico using remotely-sensed data. **Journal of Hydrology**, 328 (3-4): 733-752.

11. Ines, A. V. M., Honda, K., Das Gupta, A., Droogers, P., Clemente, R. S., 2006. Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore water management options in irrigated agriculture. **Agricultural Water Management**, **83** (3): 221-232.
12. Bastiaanssen, W. G. M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J. F., Roerink, G. J., van der Wal, T., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL).: Part 2: Validation. **Journal of Hydrology**, **212-213** (0): 213-229.
13. Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., Holtslag, A. A. M., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, **212-213** (0): 198-212.
14. Allen, R. G., Morse, A., Tasumi, M., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Anderson, H., "Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for water rights management and compliance with multi-state water compacts," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS '01. IEEE 2001 International*, 2001, pp. 830-833 vol.2.
15. Kramber, W. J., Morse, A., Allen, R. G., Tasumi, M., Trezza, R., Wright, J. L., "Developing surrogate pixels for comparing SEBAL ET with lysimeter ET measurements," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS '02. 2002 IEEE International*, 2002, pp. 119-121 vol.1.
16. French, A., Jacob, F., Schmugge, T., Kustas, W., 2002. Comparing surface energy flux models using ASTER imagery over Oklahoma. **Igarss 2002: Ieee International Geoscience and Remote Sensing Symposium and 24th Canadian Symposium on Remote Sensing, Vols I-Vi, Proceedings**: 3261-3263.
17. Trezza, R., 2002. Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control. Utah State University, Ph.D., Ann Arbor.
18. Tasumi, M., 2003. Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. University of Idaho, Ph.D., Ann Arbor.
19. Chemin, Y., Platonov, A., Ul-Hassan, M., Abdullaev, I., 2004. Using remote sensing data for water depletion assessment at administrative and irrigation-system levels: case study of the Ferghana Province of Uzbekistan. **Agricultural Water Management**, **64** (3): 183-196.

20. Melesse, A. M., Nangia, V., 2005. Estimation of spatially distributed surface energy fluxes using remotely-sensed data for agricultural fields. **Hydrological Processes**, **19** (14): 2653-2670.
21. French, A. N., Jacob, F., Anderson, M. C., Kustas, W. P., Timmermans, W., Gieske, A., Su, Z., Su, H., McCabe, M. F., Li, F., Prueger, J., Brunsell, N., 2005. Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). **Remote Sensing of Environment**, **99** (1-2): 55-65.
22. Kongo, V. M., Jewitt, G. P. W., 2006. Preliminary investigation of catchment hydrology in response to agricultural water use innovations: A case study of the Potshini catchment – South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, **31** (15-16): 976-987.
23. Patel, N. R., Rakhesh, D., Mohammed, A. J., 2006. Mapping of regional evapotranspiration in wheat using Terra/MODIS satellite data. **Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques**, **51** (2): 325-335.
24. Chen, T. S., Ohring, G., 1984. On the Relationship between Clear-Sky Planetary and Surface Albedos. **Journal of the Atmospheric Sciences**, **41** (1): 156-158.
25. Liang, S. L., 2001. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, **76** (2): 213-238.
26. Chavez, J. L., Neale, C. M. U., Prueger, J. H., Kustas, W. P., 2008. Daily evapotranspiration estimates from extrapolating instantaneous airborne remote sensing ET values. **Irrigation Science**, **27** (1): 67-81.
27. Allen, R., Irmak, A., Trezza, R., Hendrickx, J. M. H., Bastiaanssen, W., Kjaersgaard, J., 2011. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. **Hydrological Processes**, **25** (26): 4011-4027.
28. Karatas, B. S., Akkuzu, E., Unal, H. B., Asik, S., Avci, M., 2009. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in Water User Associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. **Agricultural Water Management**, **96** (6): 982-990.
29. Li, H., Zheng, L., Lei, Y., Li, C., Liu, Z., Zhang, S., 2008. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in North China Plain using remote sensing technology. **Agricultural Water Management**, **95** (11): 1271-1278.

30. W.G.M, B., 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, **229** (1-2): 87-100.
31. Kimura, R., Bai, L., Fan, J., Takayama, N., Hinokidani, O., 2007. Evapotranspiration estimation over the river basin of the Loess Plateau of China based on remote sensing. **Journal of Arid Environments**, **68** (1): 53-65.
32. Kongo, M. V., Jewitt, G. W. P., Lorentz, S. A., 2011. Evaporative water use of different land uses in the upper-Thukela river basin assessed from satellite imagery. **Agricultural Water Management**, **98** (11): 1727-1739.
33. Sun, Z., Wei, B., Su, W., Shen, W., Wang, C., You, D., Liu, Z., 2011. Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. **Mathematical and Computer Modelling**, **54** (3-4): 1086-1092.
34. Mutiga, J. K., Su, Z., Woldai, T., 2010. Using satellite remote sensing to assess evapotranspiration: Case study of the upper Ewaso Ng'iro North Basin, Kenya. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, **12**, Supplement 1 (0): S100-S108.
35. Teixeira, A. H. d. C., Bastiaanssen, W. G. M., Ahmad, M. D., Bos, M. G., 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil: Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, **149** (3-4): 462-476.
36. Jang, K., Kang, S., Kim, J., Lee, C. B., Kim, T., Kim, J., Hirata, R., Saigusa, N., 2010. Mapping evapotranspiration using MODIS and MM5 Four-Dimensional Data Assimilation. **Remote Sensing of Environment**, **114** (3): 657-673.
37. Batra, N., Islam, S., Venturini, V., Bisht, G., Jiang, L., 2006. Estimation and comparison of evapotranspiration from MODIS and AVHRR sensors for clear sky days over the Southern Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, **103** (1): 1-15.
38. Sánchez, J. M., Scavone, G., Caselles, V., Valor, E., Copertino, V. A., Telesca, V., 2008. Monitoring daily evapotranspiration at a regional scale from Landsat-TM and ETM+ data: Application to the Basilicata region. **Journal of Hydrology**, **351** (1-2): 58-70.

39. Singh, R. K., Irmak, A., Irmak, S., Martin, D. L., 2008. Application of SEBAL Model for Mapping Evapotranspiration and Estimating Surface Energy Fluxes in South-Central Nebraska. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, **134** (3): 273-285.
40. Hafeez, M., Khan, S., 2005. Remote Sensing Application for Estimation of Irrigation Water Consumption in Liuyuankou Irrigation System in China. **Modsim 2005: International Congress on Modelling and Simulation: Advances and Applications for Management and Decision Making**: 1375-1381.
41. Hafeez, M., Khan, S., Song, K. S., Rabbani, U., 2007. Spatial Mapping of Actual Evapotranspiration and Soil Moisture in the Murrumbidgee Catchment: Examples from National Airborne Field Experimentation. **Modsim 2007: International Congress on Modelling and Simulation**: 2611-2617.
42. Guo, J. M., Li, X. J., Zhu, B., 2010. Using remote sensing data to estimate evapotranspiration over the Inhomogeneous Landscape. **Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability Vii**, 7809
43. Jun, X., Bingfang, W., Yuemin, Z., Jing, L., "Estimating Evapotranspiration using Remote Sensing in the Haihe Basin," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on*, 2006, pp. 1044-1047.
44. Morse, A., Kramber, W. J., Wilkins, M., Allen, R. G., Tasumi, M., "Preliminary computation of evapotranspiration by land cover type using Landsat TM data and SEBAL," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*, 2003, pp. 2956-2958 vol.4.
45. Chuansheng, L., Wanchang, Z., Dengzhong, Z., Yongnian, G., "Remotely-sensed evapotranspiration of typical oasis in the southern edge of tarim basin and its relationship to land cover changes," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International*, 2007, pp. 3237-3240.
46. Mingming, Z., Xiyong, H., Xiao, L., Mingjie, L., "Spatial-temporal characters of evapotranspiration in the Yellow River Delta," *Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services (ICSDM), 2011 IEEE International Conference on*, 2011, pp. 409-412.
47. Lihong, Z., Kaishan, S., Bai, Z., Zongming, W., "Spatial mapping of actual evapotranspiration and water deficit with MODIS products in the Songnen Plain,

- northeast China," *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International*, 2010, pp. 879-882.
48. Cao, X., Bao, A., Li, L., "A Study of Retrieval Land Surface Temperature and Evapotranspiration in Response to LUCC Based on Remote Sensing Data in Sanggong River," *Environmental Science and Information Application Technology, 2009. ESIAT 2009. International Conference on*, 2009, pp. 325-329.
 49. Lin, W., Han-qiu, X., "Study on the information extraction of Evapo-transpiration and its relation with the urban heat island and urban expansion in Fuzhou City with its surrounding areas of SE China," *Earth Observation and Remote Sensing Applications, 2008. EORSA 2008. International Workshop on*, 2008, pp. 1-6.
 50. Chatterjee, S., 2010. Estimating evapotranspiration using remote sensing: A hybrid approach between MODIS derived enhanced vegetation index, Bowen ratio system, and ground based micro-meteorological data. Wright State University, Ph.D., Ann Arbor.
 51. Su, H., 2008. An evaluation of retrieving terrestrial evapotranspiration from remotely sensed data. Princeton University, Ph.D., Ann Arbor.
 52. Swanson, S. A., 2008. Determining the feasibility of using remote sensing to estimate irrigation water use in South Dakota at the field scale. South Dakota State University, M.S., Ann Arbor.
 53. Çetin, M., İbrikçi, H., Berberoğlu, S., Gültekin, U., Karnez, E., Selek, B., 2012. Yarı Kurak İklimli Akdeniz Bölgesi Tarım Alanlarında Tuzluluk Etkisini Azaltmak İçin Sulama Randımanlarının Analiz ve Optimizasyonu (Medsalin). **TÜBİTAK-BMBF Destekli Proje Sonuç Raporu**, (Proje No: TUBITAK 108O582): 182.
 54. Şatır, O., 2013. Aşağı Seyhan Ovası'nda Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Tarımsal Alan Kullanım Uygunluğunun Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.
 55. USGS, 2015. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. United States Geological Survey, USA.
 56. USGS. (2015, 03.02.2015). *Using the USGS Landsat 8 Product*. Available: http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php

57. Vandegriend, A. A., Owe, M., 1993. On the Relationship between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, **14** (6): 1119-1131.
58. Iqbal , M., 1983. An Introduction to Solar Radiation. Academic Press, Toronto, Canada.
59. Tasumi, M., 2003. Progression in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. University of Idaho, PhD, Idaho, USA.
60. Khalaf, A. J., 2010. Spatial and Temporal Distribution of Groundwater Recharge in the West Bank Using Remote Sensing and GIS Techniques. Durham University, Department of Geography, United Kingdom.
61. Bastiaanssen, W. G. M., 1995. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. Wageningen University, Netherlands.
62. G., P., "AHVRR Hydrological Analysis System: Algorithm and Theory," in *AHVRR Hydrological Analysis System: Algorithm and Theory* vol. Water Resources Department,, ed: WRES ITC, 2002, p. 35.
63. Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J. L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., Robison, C. W., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce**, **133** (4): 395-406.
64. Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B. P., Allen, R. G., 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce**, **131** (1): 85-93.
65. Bastiaanssen, W. G. M., Molden, D. J., Makin, I. W., 2000. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. **Agricultural Water Management**, **46** (2): 137-155.
66. Maidment, D. R., 1992. Handbook of hydrology. McGraw-Hill Inc., New York.
67. Allen, R. G., Tasumi, M., Trezza, R., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce**, **133** (4): 380-394.

68. Yang, M. D., 2007. A genetic algorithm (GA) based automated classifier for remote sensing imagery. **Canadian Journal of Remote Sensing**, **33** (3): 203-213.
69. Kamble, B., Irmak, A., "Assimilating Remote Sensing-Based ET into SWAP Model for Improved Estimation of Hydrological Predictions," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. IEEE International*, 2008, pp. III - 1036-III - 1039.
70. Kurban, T., Civicioglu, P., Kurban, R., Besdok, E., 2014. Comparison of evolutionary and swarm based computational techniques for multilevel color image thresholding. **Applied Soft Computing**, **23**: 128-143.
71. Zhang, X., Wen, S., Lan, G., 2012. Comparison Four Different Probability Sampling Methods based on Differential Evolution Algorithm. **Journal of Advances in Information Technology**, **3** (4): 206-213.
72. Hai-xiang, G., Ke-jun, Z., De-yun, W., Jing-lu, H., 2013. Differential Evolution for Rule Extraction and Its application in Recognizing Oil Reservoir. **Journal of Digital Information Management**, **11** (6): 435-440.
73. Yiqiao, C., Yonghong, C., Tian, W., Hui, T., 2015. Differential Evolution Enhanced with Composite Population Information Based Mutation Operators. **Journal of Digital Information Management**, **13** (4): 210-223.
74. Davim, J. P., 2010. Artificial Intelligence in manufacturing research. Nova Science Pub Inc., Portugal.
75. Duan, H. B., Xu, C. F., Xing, Z. H., 2010. A hybrid artificial bee colony optimization and quantum evolutionary algorithm for continuous optimization problems. **Int J Neural Syst**, **20** (1): 39-50.
76. Ozturk, C., Karaboga, D., Gorkemli, B., 2011. Probabilistic dynamic deployment of wireless sensor networks by artificial bee colony algorithm. **Sensors (Basel)**, **11** (6): 6056-65.
77. Parmaksizoglu, S., Alci, M., 2011. A novel cloning template designing method by using an artificial bee colony algorithm for edge detection of CNN based imaging sensors. **Sensors (Basel)**, **11** (5): 5337-59.
78. Schiffmann, C., Sebastiani, D., 2011. Artificial Bee Colony Optimization of Capping Potentials for Hybrid Quantum Mechanical/Molecular Mechanical Calculations. **J Chem Theory Comput**, **7** (5): 1307-15.

79. Yin, Z., Liu, X., Wu, Z., 2013. A multiuser detector based on artificial bee colony algorithm for DS-UWB systems. **ScientificWorldJournal**, 2013: 547656.
80. Mohamed, A. F., Elarini, M. M., Othman, A. M., 2014. A new technique based on Artificial Bee Colony Algorithm for optimal sizing of stand-alone photovoltaic system. **J Adv Res**, 5 (3): 397-408.
81. Civicioglu, P., 2012. Transforming geocentric cartesian coordinates to geodetic coordinates by using differential search algorithm. **Computers & Geosciences**, 46: 229-247.
82. Trianni, V., Tuci, E., Passino, K. M., Marshall, J. A. R., 2011. Swarm Cognition: an interdisciplinary approach to the study of self-organising biological collectives. **Swarm Intelligence**, 5 (1): 3-18.
83. Kondoh, A., Higuchi, A., 2001. Relationship between satellite-derived spectral brightness and evapotranspiration from a grassland. **Hydrological Processes**, 15 (10): 1761-1770.
84. Lilliefors, H. W., 1967. On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. **Journal of the American Statistical Association**, 62 (318): 399-402.
85. Conover, W. J., 1999. Practical Nonparametric Statistics. John Wiley & Sons Ltd., New York.
86. Nornadiah Razali, Y. B. W., 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, 2(1)
87. Kartal, M., 2006. Bilimsel Araştırmalarda Hipotez Testleri Parametrik ve Nonparametrik Teknikler Nobel Yayın Dağıtım, Türkiye.
88. Goyal M. R., H. E. W., 2014. Evapotranspiration: Principles and Applications for Water Management Apple Academic Press, Canada.
89. Wilcoxon, F., 1945. Individual Comparisons by Ranking Methods. **Biometrics Bulletin**, 1 (6): 80-83.
90. Preuss, H. J., Geleyn, J. F., 1980. Surface Albedos Derived from Satellite Data and Their Impact on Forecast Models. **Archiv Fur Meteorologie Geophysik Und Bioklimatologie Serie a-Meteorologie Und Geophysik**, 29 (4): 345-356.
91. Wang, J., Baisheng, Y., Yuhuan, C., Xizhang, W., Chun, Q., "Study on the spatial variation of albedo at Urumqi river basin of China, using remote sensing,"

Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference on, 2011, pp. 1060-1063.

92. Ma, M., Veroustraete, F., 2006. Reconstructing pathfinder AVHRR land NDVI time-series data for the Northwest of China. **Advances in Space Research**, **37** (4): 835-840.
93. Seiler, R. A., Kogan, F., Wei, G., Vinocur, M., 2007. Seasonal and interannual responses of the vegetation and production of crops in Cordoba – Argentina assessed by AVHRR derived vegetation indices. **Advances in Space Research**, **39** (1): 88-94.
94. Soudani, K., le Maire, G., Dufrêne, E., François, C., Delpierre, N., Ulrich, E., Cecchini, S., 2008. Evaluation of the onset of green-up in temperate deciduous broadleaf forests derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. **Remote Sensing of Environment**, **112** (5): 2643-2655.
95. Ibrikci, H., Cetin, M., Karnez, E., Flügel, W. A., Tilkici, B., Bulbul, Y., Ryan, J., 2015. Irrigation-induced nitrate losses assessed in a Mediterranean irrigation district. **Agricultural Water Management**, **148**: 223-231.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Ümit Haluk ATASEVER

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 25 Mart 1985, Adana

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 3522076666/32678

Fax: +90 3524375784

E-posta: uhatasever@erciyes.edu.tr

Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği
Bölümü 38039 Talas/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Doktora	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2016
Yüksek Lisans	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2011
Lisans	ERÜ Müh. Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü	2008
Lise	Danışment Gazi Anadolu Lisesi	2003

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2012- Halen	ERÜ Müh. Fak. Harita Müh. Bölümü	Öğr. Gör.
2009–2012	ERÜ Müh. Fak. Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü	Arş. Gör.

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Atasever Ü.H., Çobaner M., Çobaner M. , Özkan C. , İnan H., "Sebal Tekniği Ve Landsat 8 Uydu Görüntüsü Kullanılarak Gerçek Evapotranspirasyon Haritalama: Kayseri Örneği", *VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi*, Şanlıurfa, Türkiye, 8-10 Ekim 2015, Ss.0-0
2. Karkinli A.E., Kesikoğlu A., Kesikoğlu M.H., Atasever Ü.H., Özkan C., Beşdok E., "İnsansız Hava Araçları Ile Sayısal Arazi Modeli Üretimi ", *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VIII. Sempozyumu*, Konya, Türkiye, 21-23 Mayıs 2015, Ss.0-0
3. Kesikoğlu M.H., Atasever Ü.H., Kesikoğlu A., Karkinli A.E., Özkan C., Beşdok E., "Sultan Sazlığı Milli Parkı Ramsar Bölgesi Arazi Örtüsünün Belirlenmesi:Boosting Sınıflandırma Yaklaşımı ", *Türkiye Ulusal Fotogrametri Ve Uzaktan Algılama Birliği VIII.Sempozyumu*, Konya, Türkiye, 21-23 Mayıs 2015, Ss.0-0
4. Çivicioğlu Beşdok P., Karkinli A.E., Kesikoğlu A., Atasever Ü.H., Kurban T., Beşdok E., Özkan C., "Nokta Bulutlarının Filtrelenmesinde Koloni-Arama Algoritmasının Kullanımı", *V. Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 14-17 Ekim 2014, Ss.0-0
5. Atasever Ü. H., Çivicioğlu Beşdok P., Beşdok E., Özkan C. , "A New Unsupervised Change Detection Approach Based On Dwt Image Fusion And Backtracking Search Optimization Algorithm For Optical Remote Sensing Data", *Mid-Term Symposium Of Isprs Technical Commission VII “Thematic Processing, Modeling And Analysis Of Remotely Sensed Data”.*, İstanbul, Türkiye, 29 Eylül - 2 Ekim 2014, Pp.15-18
6. Atasever Ü.H., Çivicioğlu Beşdok P., Beşdok E., Özkan C. , "Optik Görüntüler İçin Geri-İzleme Arama Algoritması (Bsa) Ve Fark Görüntüsü Kombinasyonu Tabanlı Yeni Bir Değişim Saptama Yaklaşımı", *V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 14-17 Ekim 2014, Ss.0-0
7. Çivicioğlu Beşdok P., Atasever Ü.H., Özkan C., Beşdok E., Karkinli A.E., Kesikoğlu A., "Performance Comparison Of Evolutionary Algorithms For Image

- Clustering", *Mid-Term Symposium Of Isprs Technical Commission VII* "Thematic Processing, Modeling And Analysis Of Remotely Sensed Data", İstanbul, Türkiye, 29 Eylül - 2 Ekim 2014, Pp.71-74
8. Kesikoğlu M.H., Atasever Ü.H., Özkan C. , "Unsupervised Change Detection In Satellite Images Using Fuzzy C-Means Clustering And Principal Component Analysis", *Isprs Conference On "Serving Society With Geoinformatics"*, Antalya, Turkey, Antalya, Türkiye, 1-4 Aralık 2013, Pp.129-132
 9. Kesikoğlu M.H. , Atasever Ü.H., Özkan C. , "Uzaktan Algılamada Kontrolsüz Değişim Belirleme", *14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 14-17 Nisan2013, Ss.0-0
 10. Atasever Ü.H., Kesikoğlu M.H., Özkan C., "Evamapper: A Novel Matlab Toolbox For Evapotranspiration Mapping", *Isprs Conference On "Serving Society With Geoinformatics"*, Antalya, Türkiye, 1-4 Aralık 2013, Pp.23-26
 11. Atasever Ü.H., Özkan C. , Sunar F., "Yağ Tabakalarının Belirlenmesinde Destek Vektör Makineleri Ve Rastgele Orman Yöntemi Kullanımı", *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu* 2012, Zonguldak, Türkiye, 16-19 Ekim 2012
 12. Atasever Ü.H., Özkan C., "Arazi Örtüsünün Belirlenmesinde Torbalama-Karar Ağaçları Yönteminin Kullanımı", *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu* 2012, Zonguldak, Türkiye, 16-19 Ekim 2012
 13. Atasever Ü.H., Özkan C. , Sunar F., "The Use Of Artificial Intelligence Optimization Algorithms In Unsupervised Classification", *31th Earsel Symposium*, Çekirge, 30 Mayıs-2 Haziran 2011, Pp.0-0
 14. Atasever Ü.H., Özkan C., Sunar F., "Kontrolsüz Sınıflandırmada Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Kullanımı", *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu* 2010, Kocaeli, Türkiye, 11-13 Ekim 2010, Ss.182-189
 15. Atasever Ü.H., "Erciyes Üniversitesi Kampüs Bilgi Sistemi", *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu* 2008, Kayseri, Türkiye, 13-15 Ekim 2008, Ss.718-723