T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİ İLE DİCLE HAVZASI ÖLÇEĞİNDE EVAPOTRANSPİRASYONUN BELİRLENMESİ

Abdullah KARATOPRAK

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
1.1. Amaç 6
1.2. Çalışma Alanı 7
1.3. Meteoroloji Verileri 8
1.4. Uydu Verileri 9
1.4.1. Uydu verilerinin sağlanması 9
1.4.2. Landsat 8 özellikleri 10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 12
2.1. Evapotranspirasyon Ölçü Yöntemleri 13
2.2. Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemleri 16
2.1.1. Sıcaklık buharlaşma yöntemleri 16
2.1.2. Neme dayalı buharlaşma yöntemleri 17
2.1.3. Birleştirilmiş penman monteith yöntemi 19
2.1.4. Buharlaşma yöntemleri 20
2.2. Evapotranspirasyonun Uzaktan Algılama ile Belirleme Yöntemleri 21
2.2.1. Deneysel regresyon yöntemi 23
2.2.2. Enerji dengesi eşitliği tek kaynaklı yöntem 23
2.2.3. Enerji dengesi eşitliği çift kaynaklı yöntem 24
3. MATERYAL ve YÖNTEM 25
3.1. Net Radyasyonun Hesaplanması 26
3.1.1. Kısa dalga boylu gelen radyasyon 30
3.1.2. Uzun dalga boylu giden radyasyon 31
3.1.3. Sıcak ve soğuk piksellerin seçimi 34
3.1.4. Uzun dalga boylu gelen radyasyon 36
3.2. Toprak Isı Akısı ile Yapılan Hesaplamalar 37
3.3. Hissedilebilir Isı Akısı 38
3.4. Cropwat Programı Kullanılarak Hesaplanan Evapotranspirasyon 39
3.5. Suet Uygulaması 39
3.6. Sebal Modeli 40
3.7. Sebal Modeli Uygulama Adımları 41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 43
4.1. CropWat Programından Elde Edilen Bulgular 43
4.2. Tagem Suet Bulguları 43
4.3. Sebal Modeli Bulguları 44
4.3.1. 27 ocak 2020 tarihi için et değerleri 46
4.3.2. 27 nisan 2020 tarihi için et değerleri 47
4.3.3. 21 temmuz 2020 tarihi için et değerleri 48
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR 52
EKLER 54
EK1 27 Ocak 2020 NDVI Haritası 55
EK2 27 Ocak 2020 SAVI Haritası 56
EK3 27 Ocak 2020 PHOT Haritası 57

EK4 27 Ocak 2020 PCOLD Haritası 58
EK5 27 Mayıs 2020 NDVI Haritası 59
EK6 27 Mayıs 2020 SAVI Haritası 60
EK7 27 Mayıs 2020 PHOT Haritası 61
EK8 27 Mayıs 2020 PCOLD Haritası 62
EK9 21 Temmuz 2020 NDVI Haritası 63
EK10 21 Temmuz 2020 SAVI Haritası 64
EK11 21 Temmuz 2020 PHOT Haritası 65
EK12 21 Temmuz 2020 PCOLD Haritası 66

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİ İLE DİCLE HAVZASI ÖLÇEĞİNDE EVAPOTRANSPİRASYONUN BELİRLENMESİ

Abdullah KARATOPRAK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nizar POLAT
Yıl: 2022, Sayfa: 67

İnsanlık tarihi itibariyle beslenmede ve sosyal yaşamda tarımın suyla ilişkisi önemli konulardan biridir. Tarımın devamlılığını sağlayabilmesi için geçmişte ve günümüzde suya ihtiyaç duyduğu yadsınamaz bir gerçektir. Tarım yapılacak alanlarda bitkinin suya ihtiyacı miktar, zamanlama ve diğer parametreler ile yakından ilişkilidir. Sulamanın doğru zamanda ve yeterli miktarda olması bu sürecin tespit edilebilir ve bölgenin iklim şartları dolayısıyla öngörülebilir olması önemlidir. Bitkilerin su tüketiminin hesaplanmasında uygun yöntemlerin kullanılması bölgedeki tarım işleyişini kolaylaştırır. İçinde bulunduğumuz yüzyılda küresel ısınma sonucunda gelişen iklim değişikliği sorunları, endüstri alanlarının artması ve hızla artan nüfus yapısı suya duyulan ihtiyacı ve önemini artırmıştır. Bu sebeple gelişen teknolojik enstrümanların hayatın her yönünü etkileyen su tüketimi tasarrufu açısından kullanmayı gerekli kılmıştır. Bu amaçla suyun topraktan buharlaşma ile atmosfere, bitkilerden terleme ile atmosfere taşınması olan Evapotranspirasyon çalışmamızda incelemeye konu olmuştur. Evapotranspirasyonun harita üretimi için literatürde en çok tercih edilen yöntemlerden biri olan SEBAL modeli kullanılmıştır. Bu teknik ile elde edilen modelin çalıştırılması ile Evapotranspirasyon ve onu destekleyecek parametrelerin (bitki katsayısı vb.) üretimine ilişkin verilerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen SEBAL modeli Python kodlamasına dayanmaktadır. Açık kaynak kodlu yazılımların yardımıyla, uydu görüntülerinin meta veride bulunan verilerin kullanılması ve formüllerin Python kodu ile yazılarak SEBAL, NDVI, SAVI gibi modellerinin üretilmesi sağlanmıştır. SEBAL modelinde yapılan hesaplamaların Cropwat ve SUET programının raporlarıyla kıyaslandığında ocak, mayıs ve temmuz ayındaki gün değerleriyle analiz edildiğinde çalışmanın yüksek doğruluklu olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu yöntem ışığında iklim verileri ve hesaplama yöntemlerinden daha hızlı, daha geniş alan kapsayan ve daha ekonomik sonuçlar sağlayan çok bantlı uydu görüntülerinin yakın bir gelecekte daha fazla kullanılacağı öngörülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Uzaktan Algılama, SYM, Sulama, Buharlaşma-Terleme, SEBAL

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION ON DICLE BASIN SCALE WITH REMOTE SENSING METHOD

Abdullah KARATOPRAK

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Map Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nizar POLAT
Year: 2022, Page: 67

As of human history, the relationship of agriculture with water is one of the important issues in nutrition and social life. It is an undeniable fact that agriculture needs water in the past and today to ensure its continuity. In this process, the plant's need for water in the areas where agriculture will be done; It is closely related to quantity, timing and other parameters. It is essential that the irrigation is at the right time and in sufficient quantity, that this process can be determined and that it is predictable due to the climatic circumstances of the area. The application of appropriate methods in calculating the water consumption of plants facilitates the agricultural operation in the region. In the current century, the problems of climate change because of global warming, the spreading in dustrial areas, the rapidly increasing population structure have increased the need and importance of water. Thus, it has become essential requirement to use the developing technological instruments in terms of saving water consumption, which affects all areas of life. For this purpose, Evapotranspiration, which is the transport of water to the atmosphere by evaporation from the soil and to the atmosphere by transpiration from plants, has been the subject of our study. The SEBAL model is the most approved approache in the scientific literature, was used for evapotranspiration mapping. By running the model obtained with this technique, it is aimed to obtain data on the production of evapotranspiration and the parameters that will support it (plant coefficient, etc.). The developed SEBAL model is based on Python coding. With the help of open source software, it is ensured that the data in the metadata of the satellite images are used and the models such as SEBAL, NDVI, SAVI are produced by writing the formulas with pyhton code. When the calculations made in the SEBAL model are compared with the reports of the Cropwat and SUET program, it is revealed that the study is of high accuracy when it is analyzed with the day values in January, May and July. In the light of this method, it is predicted that multi-band satellite images, which provide faster, wider area and more economical results than climate data and calculation methods, will be used more in the near future.

KEY WORDS: Remote sensing, DEM, Irrigation, Evaporation-Sweating, SEBAL

TEŞEKKÜR

Tezin konusunun seçiminde, uygulamasında ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Dr. Nizar POLAT'a ve bu çalışmada kullanılan meteorolojik verilerin temininde yardımcı olan Diyarbakır Meteoroloji 15. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederim. Çalışmalarım süresince beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan anneme, babama, kardeşlerime ve tezimi hazırlarken hep yanımda ve bana ilham olan meslektaşım ve sevgili eşim Özge YILDIRIM KARATOPRAK'a teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Dünyadaki Suyun Kullanım Alanları (Atçı, 2019) 2
Şekil 1.2. Dünyadaki Suyun Dağılımı (Atçı, 2019) 3
Şekil 1.3. Çalışma Alanı 7
Şekil 1.4. Meteorolojik gözlem istasyonları yer gösterimi 10
Şekil 2.1. Lizimetre ile yapılan ölçümler 15
Şekil 3.1. Yüzey Enerji Dengesi (Waters ve ark., 2002) 25
Şekil 3.2. Denklem (3.1.)'in Python koduna entegre edilmesi 25
Şekil 3.3. Denklem (3.2.)'nin Python koduna entegre edilmesi 25
Şekil 3.4. Denklem (3.3.)'ün Python koduna entegre edilmesi 25
Şekil 3.5. Güneş ışınlarının geliş açısı 31
Şekil 3.6. NDVI Denkleminin Python koduna entegre edilmesi 32
Şekil 3.7. SAVI Denkleminin Python koduna entegre edilmesi 32
Şekil 3.8. LAI Denkleminin Python koduna entegre edilmesi 33
Şekil 3.9. Denlem (3.7.)'nin Python koduna entegre edilmesi 34
Şekil 3.10. Python Koduna soğuk piksel seçiminin entegre edilmesi 34
Şekil 3.11. Python Koduna sıcak piksel seçiminin entegre edilmesi 35
Şekil 3.12. Denklem (3.9.)'un Python koduna entegre edilmesi 36
Şekil 3.13. Denklem (3.10.)'un Python koduna entegre edilmesi 37
Şekil 3.14. Denklem (3.11.)'un Python koduna entegre edilmesi 38
Şekil 3.15. CropWat programı Devegeçidi istasyonu Penman-Monteith ETo değerleri 39
Şekil 3.16. Girdilerin Python kodunda yazılması 41
Şekil 4.1. Referans Bitki Su Tüketimi (Eto) Raporu 44
Şekil 4.2. Dicle Havzasının 2020 yılına ait 27 Ocak ET haritası 46
Şekil 4.3. Dicle Havzasının 2020 yılına ait 10 Mayıs ET haritası 47
Şekil 4.4. Dicle Havzasının 2020 yılına ait 27 Temmuz ET haritası 48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Dicle Havzası ve çevresine ait meteorolojik gözlem istasyonlarına ait veriler…….8
Çizelge 1.2. Çalışma alanında kullanılma üzere indirilen uydu görüntülerine ait tarihler……9
Çizelge 1.3. Landsat 8 Özellikleri……11
Çizelge 3.1. Net Yüzey Radyasyonu Hesaplama Akış Şeması……..…. 29
Çizelge 4.1. Devegeçidi meteorolojik gözlem istasyonu ETo değerleri……..43

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

α	Yüzey albedosu
AF	Adveksiyon faktörü
ASTER	Gelişmiş Uzay Kaynaklı Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi
AVHRR	Gelişmiş çok yüksek çözünürlüklü radyometre
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CETr	Yığışımlı referans evapotranspirasyon
CETa	Yığışımlı gerçek evapotranspirasyon
cρ	Sabit basınçtaki havanın özgül ısısı [J kg -1 K -1]
CWSI	Bitki Su Stresi Endeksi
dT	Dikey yakın yüzey sıcaklık farkı [K]
DEM	Dijital Yükseklik Modeli
EFinst	Anlık evaporatif fraksiyonu
ETa	Gerçek bitki su tüketimi (mm)
ETc	Bitki su tüketimi (mm)
ETM	Gelişmiş Tematik Eşleştirici
ETo	Referans bitki su tüketimi (mm)
ETr	Uydu Görüntüsünün alındığı güne ait referans evapotranspirasyon
Etrel	Bağıl bitki su tüketimi
Eact_24	24 saatlik ortalama gerçek buhar basıncıdır [kPa]
ε0	Yüzey salınımı
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda Tarım Örgütü
G	Toprak ısı akısı yoğunluğu [MJ m -2 gün -1]
GMT	Greenwich Orantılı Saat
GPS	Küresel Yer Belirleme Sistemi
H	His sedilir ısı akısı [MJ m -2 gün -1]
Kc	Bitki su tüketimi katsayısı
Km	Yığışımlı çarpım katsayısı
λE	G i z li ısı akısı [MJ m -2 gün -1]
MEVBİS	Meteorolojik Veri Bilgi Satış ve Sunum Sistemi
NDVI	Normalize Edilmiş Bitki Fark Endeksi
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
OLI	Operasyonel Arazi Görüntüleyici
ORT	Ortalama
P	Yıllık gündüz saatlerinin ortalama günlük yüzdesi
Pw	Ağırlık yüzdesi cinsinden toprak nem miktarı (%)
Rn	Net radyasyon [MJ m -2 gün -1]
rah	Isı aktarımına aerodinamik direnç [s m -1]
Rs↓	Gelen kısa dalga radyasyonu [W m -2]
RL↓	Gelen uzun dalga radyasyonu [W m -2]
RL↑	Giden uzun dalga radyasyonu [W m -2]
SEBAL	Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması
T	Ortalama günlük hava sıcaklığı 2 m boy [°C]
TAGEM	Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar genel Müdürlüğü
TIRS	Termal Kızılötesi Sensör
Tmin	En düşük sıcaklık [°C]
Tmax	En yüksek sıcaklık [°C]
Tort	Ortalama sıcaklık [°C]
Ts	Yüzey sıcaklığı [°C]
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

u2	Rüzgar hızı 2 m yükseklikte [m s -1]
UA	Uzaktan Algılama
USGS	Birleşik Devletler Jeoloji Araştırmaları Kurumu
ρ	Hava yoğunluğu [kg m-3]
γ	Psikrometrik sabit [kPa °C -1]
W	Toprak örneğinin toplam ağırlığı (g)
VIIRS	Görünür Kızılötesi Görüntüleme Radyometre Paketi
WWAP	Dünya Su Değerlendirme Programı
Ws	Toprak örneğinin kuru ağırlığı (g)

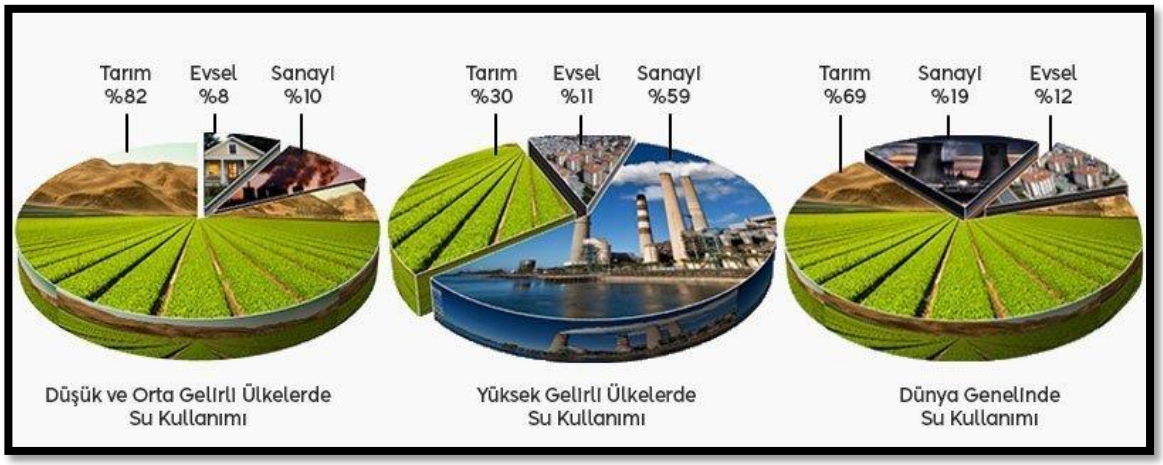
1. GİRİŞ

Tatlı su, dünyadaki canlılar için hayati öneme sahip olan sınırlı ve doğal bir kaynaktır. İnsanlığın varoluşundan bu yana su hep önemli bir kaynak olmuş ve medeniyetlerin büyümesi suyun varoluşu ile sağlanmıştır. Dünyadaki su; hidrolojik döngü içinde kendini yenilemesine rağmen, tükenebilir bir kaynak olmasından dolayı doğru yönetilmesi sağlanmalıdır.

Eşsiz bir habitat sağlayan sulak alanların çok çeşitli hayvan ve bitki türleri barındırması sebebiyle korunması gerekmektedir. Dünyadaki tatlı suların birçoğu, su rejimlerindeki değişiklikleri nedeniyle, ekoloji ve birçok insan için önemli olan ekosistem hizmetlerinin sağlanmasında olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bu, yalnızca sulak alanların bakımı için tahsis edilen su kaynaklarının korunmasını değil, aynı zamanda bu kaynakların maksimum sulak alan canlılığı için yönetilmesini de zorlaştırır.

Son yıllarda, özellikle de küresel ısınma ile beraber su kıtlığının yaşanması suyun verimli kullanılması, tasarrufu ve yönetilmesi için birden fazla araştırma yapılmış suyun daha iyi bir biçimde kullanılması üzerine cevaplar aranmıştır. Bilinçsiz sulamanın önüne geçilmesi yeraltı sularının düzgün kullanılabilmesi vb. yolları araştırılmıştır.

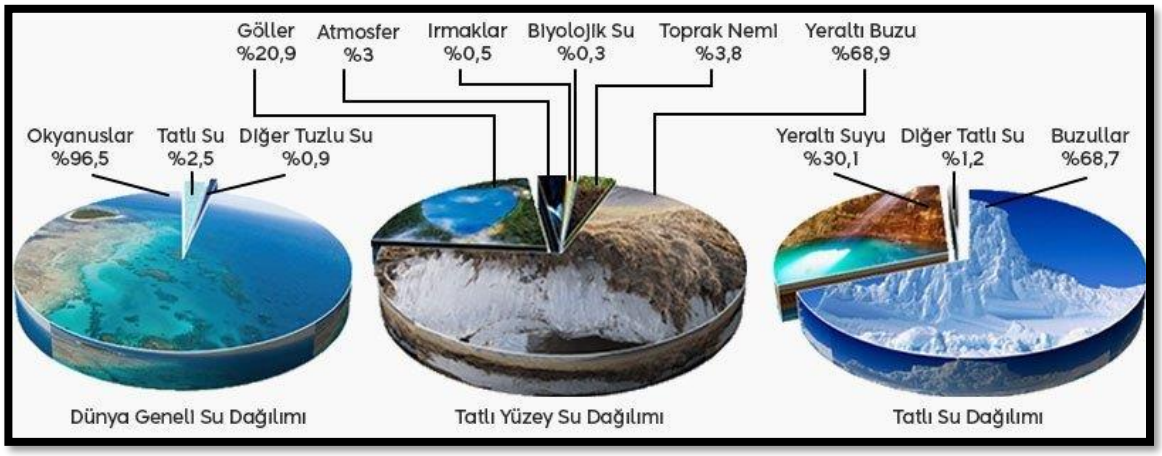
2050'de dünyamızın tahminen 9 ila 10 milyar insana yiyecek sağlaması gerekecektir. Bundan dolayı çok fazla suya ihtiyacımız olacaktır. Su kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde kullanırken gelecekte gıda güvenliğini sağlamak gelecek nesiller için büyük bir zorluktur. Dünyadaki su kaynakları ve kullanım alanları yüzdesel olarak çeşitlenebilmektedir. Dolayısıyla Şekil 1.1’de kullanım suyunun yüzdesel olarak dağılımına baktığımızda %12 evsel, %69 tarıma yönelik ve %19 endüstriyel kullanım oranlarıyla karşılaşılmaktadır (Atçı, 2019).



Şekil 1.1. Dünyadaki Suyun Kullanım Alanları (Atçı, 2019)

Bu oranlar, tarımsal amaçlı olarak kullanılacak bir sulama program yönetiminde; havza bazında veya bölgesel bazda hedeflerinize ulaştığınızda mevcut suyun kullanılmasına yönelik önemli farklılıklar yaratacaktır. Tarımsal amaçlı olarak suyun bu noktadan itibaren kullanımının araştırılması gerekmektedir (Atçı, 2019).

Şekil 1.2.' de görüldüğü gibi yeryüzündeki suyun %97'si tuzlu sudur. Buzdağları ve buzullar, ulaşılması çok zor olan tatlı suyun çoğunu oluşturur. İnsanların kullanma ve içme suyu, yeraltı ve yerüstü sularından temin edilen sulardır ve iklime, nüfusa veya ihtiyaca bağlı olarak yıldan yıla miktarı ve kalitesi değişir. Tatlı su kaynaklarının dünyamızdaki su oranı içinde çok az bir oranda bulunması, su kaynaklarımızın korunmasını, iyileştirilmesi ve geliştirilme gerekliliğini açıkça göstermektedir. İhtiyaç duyduğumuz suyun çoğu göllerden ve nehirlerden gelmektedir. Yer üstünde bulunan göl ve akarsular, mevcut toplam suyun ancak %1'ini oluşturmaktadır.



Şekil 1.2. Dünyadaki Suyun Dağılımı (Atçı, 2019)

Dünyadaki mevcut 1,4 milyar km³ suyun sadece %0,1'i doğrudan kullanımımız içindir. Yeraltında bulunan tüm suların oranı %1'dir. Tatlı su kaynakları dışında kalan diğer sular doğrudan insan kullanımında olmasa bile doğanın kendi hidrolojik döngüsü üzerindeki etkisi bulunmaktadır. Dünyadaki farklı ülkeler kıyaslandığında su kullanımı oranının ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile alakalı olduğu görülmektedir. Suyun tarımsal amaçlı kullanımı %80 az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, %35 ise gelişmiş ülkelerde olduğu görülmektedir (WWAP, 2013).

Ülkemizde 2018 yılı verileri incelendiğinde yıllık kullanılabilir su miktarı kişi başına 1.363 metreküp düşmektedir. Yıllık su miktarına göre kişi başına düşen su oranı ile ülkemiz su kıtlığı eşiğinde olan ülkeler konumundadır. Türkiye İstatistik Kurumu tarafından (TÜİK), 2030 yılında nüfusun 100 milyon olacağını öngörmektedir. Bu kapsamda 2030 yılı için kullanılabilir su miktarı kişi başına yılda 1.120 metreküp değerlerine düşmesi hesaplanmaktadır. Bu durum Türkiye'nin ileri zamanlarda su kıtlığı yaşayan ve su stresi yaşayan bir ülke potansiyelini göstermektedir (Türk Tarım Orman Dergisi, 2019).

Ülkemizde, yılda 54 milyar metreküp yıllık su tüketimi, sulama için 40 milyar metreküp, (%74), içme ve kullanma için 7 milyar metreküp (%13) ve 7 milyar metreküp (%13) endüstriyel su ihtiyacı için kullanılmaktadır.

Su kaynaklarının ülkemizde doğru yönetilmesi ve geliştirilmesi için komisyonlar oluşturulmuş ve kalkınma hedefleri periyodik olarak belirlenmiştir. TAGEM tarafından nadir olan tarımsal ürünler için bitkisel gıda tüketimi kılavuzları hazırlanmıştır. Bu kılavuzlara yönelik gelişim döneminde olan bitkilerin gereksinim duyduğu su miktarları belirlenmiş ve buharlaşma-terleme oranları hesaplanmıştır.

Evapotranspirasyon (ET) özetle; Bitkinin yaprak ve gövde gibi toprak üstü kısımlarından toprak yüzeyinden buharlaşma yoluyla ve terleme ile atmosfere ulaşan toplam su miktarıdır. Bir bölgede bir bitkinin belirli bir dönemde ihtiyaç duyduğu sulama suyu miktarının hesaplanması için öncelikle bitkinin su tüketim (ETc) değerlerinin bilinmesi gerekir. Bitkisel su tüketimi, yağış ve sulama için su ihtiyacı, bunlara göre hesaplanan bilgiler, depolama yapılarının ve su yönlendirmesinin tasarlanması, sulama sistemlerinin tasarlanması ve işletilmesi, su oranları hesaplarının yapılması, havza seviyesinde su bütçesi hesapları, tarımsal kuraklık gibi birçok alanda gerekli bilgilerin değerlendirilmesi için gerekli bir bilgidir.

ETo tahmin etmek için oluşturulmuş ve literatüre dahil edilmiş birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerin ortak yönü, referans bitki ile ilgili olarak çeşitli varsayımlara ve çeşitli meteorolojik parametrelere göre hesaplama imkânı sunmasıdır. En önemli fark, temel bilimsel yöntemler ve dayandıkları meteorolojik parametrelerdir. Bazı yaklaşımlarda meteorolojik parametre sayısı çok fazla iken, bazı yaklaşımlarda daha az parametre kullanılarak ETo hesaplanmaktadır. Mevcut meteorolojik parametrelerin sayısı, kullanıcıların yöntem tercihinde belirleyicidir (TAGEM, 2021).

Bu yöntemlerden başlıcaları Jensen-Haise, Standardize Edilmiş Penman Monteith, Blaney Criddle, Makking, Taylor-Pristley, Turc, Hargreaves yöntemleri olarak sıralanabilir. Bazı yöntemler birden fazla iklim verisinin kullanılmasını gerektirirken, bazı

yöntemler ise daha az iklim parametresinin kullanılmasını gerektirir. Bazı yöntemler verilerin sınırlı veya yetersiz olduğu durumlar için geliştirilmiştir. Kesinlik seviyeleri, modellerde kullanılan veri noktalarının sayısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Doğrudan ölçüm yöntemleri oldukça doğru sonuç verileri sağlamasına rağmen zaman alan ve pahalı işlemlerdir. Bulunduğu bölgede yapılan ölçümler ve iklim verilerinin kullanılması ile geniş alanlar için ET'nin (buharlaşma-terleme) hesaplanması; Yeterli detay, nokta ve sübjektif veri olmaması gibi sebeplerden dolayı birçok uygulama için oldukça zor ve yetersizdir. (Chavez ve ark., 2008).

Günümüzde coğrafi bilgi sistemlerinin ve uzaktan algılama teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte bu veriler zamanında örneklemeye gerek kalmadan daha az enerji ve masrafla elde edilebilmektedir. Kullanım alanı en yaygın olan SEBAL yöntemi ile ET, bitki örtüsü ve biyokütle değerleri hesaplanabilir. Bastianssen ve ark. (1998) yılında önerilen SEBAL yaklaşımı, çok bantlı uydu verilerinden ET'nin hesaplanmasını ve hesaplanan değerlerin tematik harita üretilmesine imkân veren bir işlemdir (Bastiaanssen ve ark., 1998). Bu model, enerji dengesi denkleminin temel parametrelerinin çözümünden ihtiyaç duyulan ET'yi hesaplar. SEBAL modelinin uygulanmasındaki en kolaylaştırıcı avantajın arazi veya toprak kullanımı hakkında çok detaylı bilgiye gereksinim duymamasıdır (Atasever, 2016).

SEBAL modeli olarak 2002 yılında geliştirilen uygulama, yirmi yıldan fazla bir süredir kullanılmaktadır. SEBAL modeli, kendisinden sonra önerilen benzer yaklaşımlara göre doğruluğu kanıtlanmış ve güvenilir sonuçlar sunmaktadır.

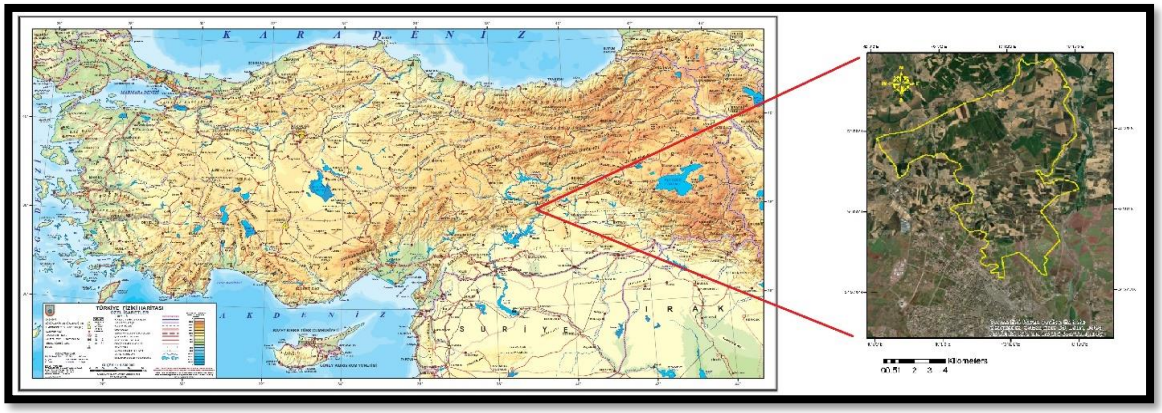
1.1.Amaç

Evapotranspirasyon (ET), hidrolojik döngünün en önemli parametrelerinden biridir. ET, sıcaklık, bakı, toprak nemi, arazi örtüsü, eğim ve rüzgâr, gibi birçok parametreye bağlı olarak yer ve zaman ölçeklerinde değişiklik gösterir. Genel olarak ET tespiti, bitkiler için hazırlanan deneysel yöntemler için oluşturulmuş katsayıların faydası ile hesaplanarak bulunan ET değerinin gerçek olan ET değerine dönüşmesi amaçlı bir yoldur. Günümüzde uzaktan algılama teknolojilerinin gelişmesi sonucu daha az süre ile konum çözünürlüğünde elde edilebilmektedir. Uzaktan algılama yöntemleri ile elden edilen verilerin kullanılıyor olması sebebi ile ET'nin havza kapsamında tam bir dağılımda ve daha yüksek hassasiyetle belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Hidrolojideki en güncel ve en temek sorun hidrolojik döngü elamanlarının tam dağılım ve yüksek ölçekte zamansal dağılım ile belirlenmesidir (Atasever, 2016).

Birçok çalışmanın konusu olan SEBAL uzaktan algılama yöntemlerine ilişkin modelleme ile ET'nin belirlenmesi, bu tezin ana konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışma ile Dicle Havzasında meteorolojik veriler ile uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak elde edilen uydu görüntüleri kullanılmak sureti ile yüzey enerji modeli olan SEBAL Modelinin piksel bazlı buharlaşma-terleme miktarının elde edilmesi amaçlanmıştır. SEBAL, yöntem olarak enerji dengesi esasına dayanmaktadır. Bu prensiple çalışması neticesinde çalışılan havzada izlenen dönemlere bağlı olarak enerjinin yüzey ile atmosfer arasında nasıl bir dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Eto değerlerinin belirlenmesi akabinde meteorolojik gözlemlerinde değerlendirmeye alınması ile yapılan karşılaştırma da üretilen ET haritalarına ait değerlerin geçerli olup olmadıkları yorumlanmıştır. Bu proje kapsamında SEBAL Python modeli uygulaması kullanılmış Dicle havzası için ocak, nisan ve temmuz ayları için ET günlük değerleri hesaplanmıştır.

1.2.Çalışma Alanı

Çalışma alanı Şekil 1.3.' de görüldüğü gibi 38°05'-38°57' kuzey paralelleri ile 40°13'-40°12' doğu meridyenleri arasında yer alır. 1972 yılında sulamaya açılmış ve daha sonra GAP kapsamına alınmıştır. Devegeçidi sulama havzasında 5800 hektarlık alanda sulama sistemi kurulmuştur. Çoğunlukla tropik kökenli olan ve bölgeye Arap yarımadasından giren Diyarbakır havzasında karasal iklim, çöl benzeri hava akımının hâkim olduğu bir bölgedir. Kışlar yağışlı ve soğuk, yazlar ise çok kurak ve sıcak geçer. Ortalama yıllık yağış 473,6 mm, yıllık buharlaşma 1775 mm, yaz aylarındaki buharlaşma miktarı 1036 mm, yıllık ortalama sıcaklık 15,6 °C'dir.



Şekil 1.3. Çalışma Alanı (Harita Genel Müdürlüğü, n.d.)

Çalışma alanımız olan Dicle havzasında genellikle daha az dağlık alanlar görülse de Dicle havzasının kuzeyinde bulunan yüksek dağlar bu bölgenin iklimini etkilemektedir. Bölgede kış aylarında yüksek basınç alanlarının oluştuğu ve yine kış aylarında bu yüksek dağlar sebebiyle iklimin soğuk geçmesine neden olduğu bilinmektedir. Çalışma alanımızın güney kesimlerinde çöl tipi iklim etkisi yaygın olması sebebiyle yaz aylarının yüksek sıcaklıkta geçmektedir. Bu sebeplerle çalışma havzamızda ağırlıklı olarak karasal iklimin görüldüğü söylenebilir. Havzada 26 adet meteorolojik gözlem istasyonu vardır. Ayrıca su toplama havzalarına göre seçtiğimiz istasyonlar havzanın genel olarak iklim koşullarını temsiliyeti en iyi olanlardır. En önemli tarım

ürünleri buğday, arpa, mercimek, tütün ve karpuzdur. Pamuk ve sebze, kısmen Dicle Nehri çevresinde sulu tarım şeklinde üretilmektedir.

1.3.Meteoroloji Verileri

SEBAL metodunun uygulanabilmesi adına çalışma dönemi boyunca bulutsuz günlerde ölçülen saatlik verilerin aralıklarla gözlemlenmesi planlanmıştır. Bütün dönemlerde ölçülen günlük meteorolojik verilen kullanılması gerekmektedir. Çizelge 1.1'de bu çalışma içerisinde kullanılan meteorolojik gözlem istasyonlarının verileri gösterilmektedir. Şekil 1.4.'de çalışma alanında ve çevresindeki meteorolojik gözlem istasyonları sunulmaktadır.

Çizelge 1.1. Dicle Havzası ve çevresine ait meteorolojik gözlem istasyonlarına ait veriler

PARAMETRELER	**Enlem**	**Boylam**	**Toprak sıcaklığı**	**Nispi nem %**	**Rüzgâr hızı**	**Sıcaklık**	**Açık yüzey buharlaşma (mm)**	**Toplam yağış**
Bismil	37° 49' 50.9"	40° 39' 15.8"	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik
Ergani	38° 16' 01.2"	39° 45' 57.6"	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik
Diyarbakır Bölge	37° 54' 33.8"	40° 12' 47.9"	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik
Diyarbakır Havalimanı	37° 53' 50.3"	40° 12' 09.7"	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik
Eşref Bitlis Heliport	37° 55' 28.9"	40° 13' 58.1"	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik
Ünal Erkan Heliport	37° 56' 20.4"	40° 17' 47.8"	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik
Silvan	38° 07' 58.1"	41° 00' 29.2"	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik	24 saatlik

1.4. Uydu Verileri

1.4.1. Uydu verilerinin sağlanması

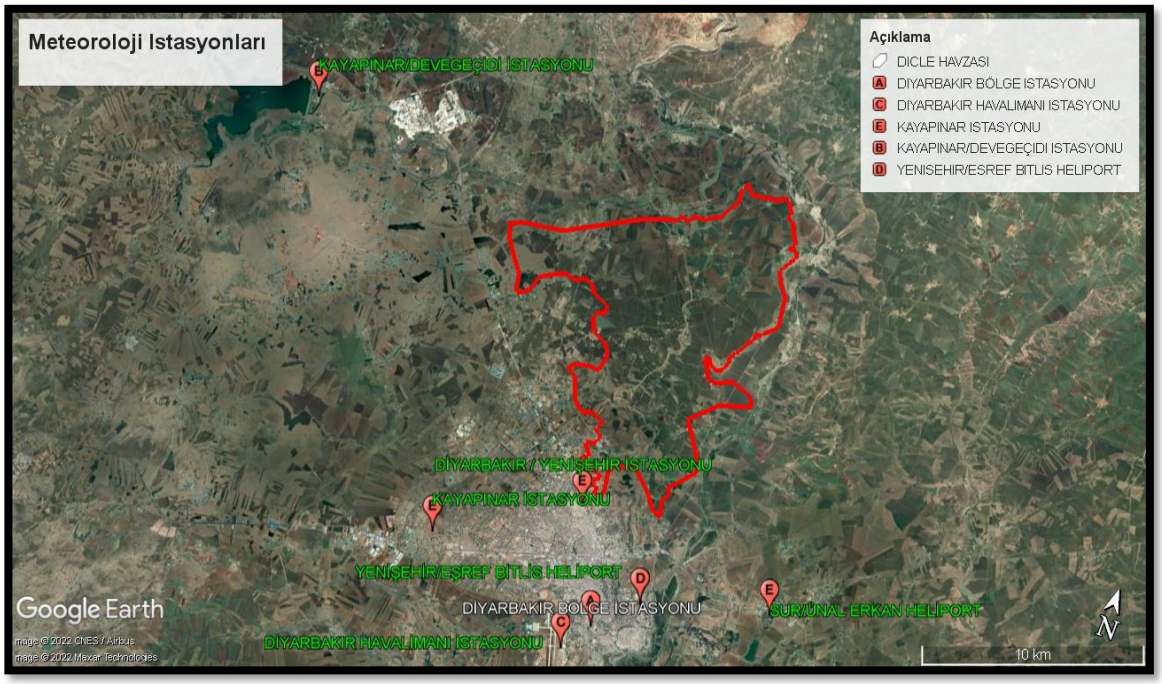
SEBAL modeli oluşturmak için ihtiyaç duyulan uydu görüntüsü verileri Earth Explorer USGS veri portalında (https://earthexplorer.usgs.gov/) bulunmaktadır. Landsat-8 OLI (Operational Terrain Imager) ve TIRS (Thermal Infrared Sensor) 1. level Ürünler, GeoTIFF formatında "Landsat 8 Collection 1 Level_1" veri seti özellikleri bulunan uydu görüntüsü 16 gün arayla çekilmekte olup bu görüntülere erişim ücretsizdir.

Çalışma dahilinde kullanılmak üzere indirilen uydu görüntülerinin konumsal bilgilerin UTM Zone 39, Datum WGS84, WRS Row 032 ve WRS Path 180 yer almaktadır. Çizelge 1.2.'de çalışma alanına ait uydu görüntülerinin bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 1.2. Çalışma alanında kullanılma üzere indirilen uydu görüntülerine ait tarihler

No	**Veri Tarihi**	**Veri Dosya Adı**
1	27.1.2020	LC08_L1TP_172034_20200115_20200127_01_T1
2	10.4.2020	LC08_L1TP_172034_20200404_20200410_01_T1
3	21.7.2020	LC08_L1TP_172034_20200709_20200721_01_T1

Çalışma bölgesine ait sayısal yükseklik modeli olan yani yükseklik verisi elde edeceğimiz kaynağımız https://search.earthdata.nasa.gov/ adresinden ASTGT MAP 07815 FBDF 0750 RT1_dem.tif dosyası şeklinde temin edilmiştir. Aster uydu sisteminde ortalama yükseklik olarak 705 km civarında uydu görüntüleri almaktadır. 16 gün aralıklarla ikinci kez aynı yerden geçmektedir. Uydu görüntülerinin hassasiyeti 15 metre ile 90 metre arasında 14 banttan oluşmaktadır. Görüntüleme alanı ise 60 km x 60 km olmakta görüntü çözünürlüğü 30 metredir.



Şekil 1.4. Meteorolojik gözlem istasyonları yer gösterimi

1.4.2. Landsat 8 özellikleri

Çalışmanın ana veri kaynağını oluşturan uydu görüntüleri LANDSAT 8 OLI-TIRS uydusundan alınan görüntülerden elde edilmiş olup çalışma modelinde kullanılmıştır. LANDSAT 8 OLI-TIRS uydusu 0.43-12.51µm spektral çözünürlüğe, 16 bit radyometrik çözünürlüğe, 16 günlük zamansal çözünürlüğe ve 183x170 km tarama genişliğine sahiptir. LANDSAT 8 uydusunun üzerinde bulunan sensörlerden ikisi termal olmak üzere toplam 11 bant sensörüne sahiptir. Günde 700'e yakın görüntü çekmektedir. Projeksiyonu WGS84 UTM olan uydu görüntüsünde Kübik Konvolüsyonlu yeniden örnekleme metodu kullanılmaktadır. 2022 itibariyle uydu görüntüsü son bulmuştur. OLI ve TIRS ile algılama yapmaktadır. (USGS, 2019).

OLI sensörü, NASA'nın uygulamalı EO-1 uydusundaki Gelişmiş Arazi Görüntüleyici (ALI) sensörünün geliştirilmiş halidir. Önceki Landsat serisinde kullanılan süpürgeden farklı olarak OLI'de süpürge sensörü tercih edilmiştir. Bu sensör için

7.000'den fazla sensör ve her bir spektral bantta daha az hareketli parça bulunmakta ve Dünya hakkında doğruya yakın bilgi sahibi olmaktadır. Ek olarak, kıyı bandı ve cirrus bandı, bilim adamlarının ince bulutları tespit etmesine ve su kalitesini ölçmesine olanak tanır.

Termal Kızılötesi Sensör ET hesaplamaları gibi önemli uygulamaları gerçekleştirmek için GaAs Kuantum Kuyu Kızılötesi fotosensör paketi kullanılarak tasarlanmıştır. Termal Kızılötesi Sensör (TIRS) verileri OLI verilerine kaydedilir ve radyometrik, geometrik ve alan tabanlı düzeltmelerle 12 bit radyometrik çözünürlüklü bir Landsat 8 görüntüsü elde edilir. Uydunun ana özellikleri Çizelge 1.3. 'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Landsat 8 Özellikleri

Sensör	**Spektral Aralık**	**Dalga boyu**	**Çözünürlük**
OLI (Operasyonel Arazi Görüntüleyici)	Bant 1- Kıyı/ Aerosol	0.433- 0.453 µm	30 m
	Bant 2- Mavi	0.450- 0.515 µm	30 m
	Bant 3- Yeşil	0.525- 0.600 µm	30 m
	Bant 4- Kırmızı	0.630- 0.680 µm	30 m
	Bant 5 -Yakın Infrared	0.845- 0.885 µm	30 m
	Bant 6- Kısa Dalga Infrared	1.560- 1.660 µm	30 m
	Bant 7- Kısa Dalga Infrared	2.100- 2.300 µm	30 m
	Bant 8- Pankromatik	0.500- 0.680 µm	15 m
	Bant 9- Sirrus	1.360- 1.390 µm	30 m
TIRS (Termal Kızılötesi Algılayıcı)	Bant 10- Termal Kızılötesi 1	1.060- 1.119 µm	100 m
	Bant 11- Termal Kızılötesi 2	1.150- 1.251 µm	100 m

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Farklı disiplinlerde çalışmaları olan bilim insanları ET yani buharlaşma-terleme üzerine çok sayıda araştırma yapmış ve bunları yayınlamışlardır. Çok geniş bir kapsamı olan buharlaşma-terleme ülkemizde Üniversiteler, Kamu kurumları, Tarımsal Araştırma Enstitüleri tarafından da araştırmalar yürütmekte olup bunlarla ilgili yayınlar yapılmaktadır.

Yağışın tamamına yakın bir kısmı yarı kurak ve kurak bölgelerde bitki su tüketimine kullanılmaktadır. Bitki su tüketimi; ekolojik döngüde havzaların boşaltması ve depolaması arasındaki ölçü olarak tanımlanabilmektedir (Huxman ve ark.,2005).

Su kaynaklarını etkin kullanmamıza yönelik yapılan çalışmaların hepsinde, çalışabilirliği ispatlanmış bitki su tüketimi hesaplamalarına dayanmak zorundadır. Yapılan bu çalışmalar, bitkide gerçekleşen terleme ile toprak ve sularda olan buharlaşmayı içermektedir. İklim şartlarına göre bitki su tüketimi mevsimsel ve bölgesel olarak değişmektedir (Hanson, 1991).

Buharlaşma-Terleme üzerine yapılan yöntem ve model hesaplamalarında, yapılan uygulama ve ellerinde olan verilerin farklılığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Literatürde kullanılan metotlar arasında; uzaktan algılama, doğrudan yapılan ölçümler ve hidrolojik modeller olarak sınıflandırabilmektedir (Gieske, 2011). Doğrudan yapılan ölçümlerin pahalı olması ve donanımlı personellere ihtiyaç duymasından dolayı ve özel ekipmanlara ihtiyaç duydukları için uygulanabilirliği zordur.

Buharlaşma-Terlemenin klasik ölçüm yöntemlerinde buharlaşma haznesi, Bowen enerji oranı, Eddy Kovaryans yöntemi, albedometre ve lizinetrelerdir. Klasik yöntemlerde yapılan ölçümler noktasal olarak hesaplanıp daha sonra bir alana yönelik enterpole edildiğinden dolayı alan bazlı doğru sonuçlar vermemektedir. Buharlaşma-Terleme bitki

örtüsü, iklim, toprak nemi, rüzgâr, güneşten gelen radyasyon ve hava sıcaklıklarına bağlı olarak birçok değişkenden etkilenmektedir. Alan ölçeğinde daha doğru sonuçlara ulaşabilmek adına UA yöntemlerinin kullanılması daha sağlıklıdır (Zhaou-Liang ve ark.,2009). UA yöntemlerinin klasik yöntemlere göre avantajlarından başında geniş alanlar kapsaması piksel bazlı nokta ölçümü yapması, düşük maliyetle daha hızlı ölçüm yapması ve zor alanlarda kullanılabilmesidir.

2.1.Evapotranspirasyon Ölçü Yöntemleri

ET'nin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerin başında klasik yöntemler olarak nitelendirdiğimiz; Bowen enerji oranı, Eddy Kovaryans yöntemi, albedometre ve lizinetrelerdir.

a) **Bowen Enerji Oranı:** Hissedilebilir gizli ısı akısı (H) ile yüzeylerde bulunan gizli ısı akısı (LE), ölçme ve hesap kombinasyonlarıyla belirlenen dünyada kabul gören bir yaklaşım olarak kendini ispatlamıştır. (2.1.) eşitliğinde olduğu gibi H ile LE arasında ki ilişki, Bowen enerji oranı (β) olarak adlandırılmaktadır. Özellikle yüzeyin aerodinamik özelliği olan ısı enerjisine ihtiyaç duymayan kullanışlı bir yöntemdir.

$$\beta = H/LE \qquad (2.1.)$$

β: Bowen Enerji Oranı H: Hissedilebilir Isı Akısı
LE: Gizli Isı Akısı

b) **Eddy Kovaryans Yöntemi:** Atmosferik sınır katmanları içindeki dikey türbülanslı akıları hesaplamak ve ölçmek atmosferik ölçüm tekniği yönünden önemli olmaktadır. Metot, çok titreşimli rüzgâr ve skaler atmosferik veri serilerini, gazı, enerjiyi ve momentumu analiz eder ve bu özelliklerin akı değerlerini verir.

Meteoroloji ve diğer uygulamalarda kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Oşinografi, hidroloji, tarım bilimleri, endüstriyel ve düzenleyici uygulamalarda doğal ekosistemler ve tarım alanları üzerindeki değişim oranlarını belirlemek ve diğer kara ve su alanlarından gaz emisyon oranlarını ölçmek. Momentum, ısı, su buharı, karbondioksit ve metan akışlarını tahmin etmek için sıklıkla kullanılır. Bu teknik aynı zamanda küresel iklim modellerinin, orta ölçekli ve hava durumu modellerinin ve ekolojik modellerin uzaktan algılama tahminlerinin doğrulanması ve ayarlanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknik, matematiksel olarak karmaşıktır ve verilerin ayarlanmasında ve işlenmesinde büyük özen gerektirir. Bugüne kadar girdap kovaryansı tekniği için tek tip bir terminoloji veya tek bir metodoloji yoktur.

Su buharının düşey ortalama akısı;

$$E^* = \frac{0.622}{P^* q^* w'^* e} \qquad (2.2.)$$

Yukarıda verilen (2.2.) eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Eşitlikte bulunan P hava basıncı q ise havada bulunan yoğunluğu, w ise belirlenen bir yükseklik üzerinden hesaplanan düşey yönlü ortalama rüzgâr hızından doğan sapmayı ve e ile belirtilende aynı yükseklikte suyun buhar basıncından doğan ortalama değerinden doğan sapmayı ifade eder. Saniyenin onda biri kadar yapılan ölçümlerden gelmektedir.

c) **Lizimetreler:** Toprak içinde bulunan suyun hareketi ile tarla koşullarını temsil etmek için araziye konumlandırılmış, gelişmekte olan bir bitkiden veya sadece topraktan meydana gelen buharlaşma-terlemeyi ölçen büyük tanklardır. Ölçümler yerin yapısına göre değişiklik göstermektedir. Lizimetrelerin tarihi 300 yıl öncelerine dayanmaktadır. Ülkemizde ilk lizimetre Topraksu Enstitüleri tarafından 70 yıl önce kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.1. Lizimetre ile yapılan ölçümler

Genel olarak iki ayrı sınıfa ayrılmaktadır; tartılamayan (taban suyu içermeyen, durağan suya sahip, duran su düzeyli) ve tartılan (mekanik tartım sistemleri, elektronik tartım sistemleri, hidrolik, yüzdürücü) sınıflarıdır bu sınıflara göre toprak tankın içinde bulunan su değişimleri baz alınmaktadır.

d) Albedometre: Albedometreler, küresel ve yansıyan güneş radyasyonunu ve güneş albedosunu ölçen araçlardır. Bir albedometre, termopil sensörlü iki piranometreden oluşur; yukarı bakan küresel güneş radyasyonunu ölçer, aşağı bakan ise yansıyan güneş radyasyonunu ölçer.

Güneş yansıması olarak da adlandırılan albedo, yansıyan ışınımın küresel radyasyona oranı olarak tanımlanır. Yüzey albedosunun hesaplanabilmesi topraktan gelen ısı akısı hesaplanmasında en önemli işlem adımı olarak sayılmaktadır. Albedometrelerden yapılan ölçümler ile normalleştirilmiş bitki katsayıları kullanılarak buharlaşma-terleme ölçümleri yapılabilmektedir.

2.2.Evapotranspirasyon Hesaplama Yöntemleri

Literatür taramasında evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri temel olarak dört ana gruba ayrılmaktadır. Hesaplamalarda potansiyel evapotranspirasyonun birkaç bitki için hesaplanan katsayılardan hesaplanan değerle çarpılması sonucunda gerçek evapotranspirasyon değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda çeşitli ürünler için dönüşüm katsayıları yıllık olarak, mevsimsel veya aylık olarak üretilmektedir. Önemli olan, her meteoroloji istasyonunda ölçülebilen, kolay erişilebilir değişkenler yardımıyla buharlaşma miktarını belirleyen formüller elde etmektir. Bu formüllerin pratikteki en önemli avantajları, özel verilerin ölçülmesini gerektirmemesi, meteoroloji istasyonlarındaki ihtiyacı gidermesi ve geçmiş zaman dilimleri için evapotranspirasyon hesaplamalarına olanak sağlamasıdır.

2.1.1. Sıcaklık buharlaşma yöntemleri

Sıcaklık verileri ile yapılan buharlaşma yöntemlerinde Blaney-Criddle (Metric) ve Thornwaite yöntemleri öne çıkmaktadır.,

Blaney-Criddle yöntemi; Amerika Birleşik Devletleri'nin batısındaki bölgeler için geliştirilmiştir. Blaney-Criddle yöntemi, sıcaklık ve gün uzunluğu ölçümlerini kullanan bir yöntemdir. Bugün bu yöntem tüm dünyada tarımsal amaçlarla kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Başlıca amacı, belirli bir bölgedeki sulama koşullarını düzenlemektir. Dolayısıyla yöntem, bölgede buharlaşma ile kaybedilen suya karşılık gelen miktarı vermek ve böylece bölgede su eksikliğinden dolayı elde edilen verimin düşmesini önlemektir. Ek olarak aylık hesaplanan ET değerini ayın günleri ile çarpmak gerekir. Eşitliğin örnek uygulamalarına baktığımızda Blaney-Criddle yöntemini her bölgenin iklim koşullarına göre düzenlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Thornthwaite yöntemi; Amerika Birleşik Devletleri’nin orta doğusunda bulunan havzalarında su dengesini korumak amaçlı olarak geliştirilmiştir. Potansiyel buharlaşma

miktarı ile sıcaklık değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyan Thornthwaite, potansiyel buharlaşma adetinin sadece sıcaklıkla olmadığını ve bölgenin ikliminin derecelendirmesinde çok önemli bir görev üstlendiğini ortaya koymuştur. Bu sonuca varmasının ana nedeni, potansiyel buharlaşma miktarının, buharlaşmayı yönlendiren kuvvetleri temsil ettiğine inanmasıdır. Bu kuvvet, yağış direnci ne kadar yüksekse o bölgenin ikliminin o kadar kuru, direnç ne kadar düşükse iklimin o kadar nemli olacağını göstermektedir.

1975 yılında Schrödter ve Siegert tarafından yapılan çalışmalar sonucunda; su içeriği, klimatolojik araştırmalar için yaygın olarak kullanılmasına rağmen, bu yöntemin sonuçlarının mükemmel olmadığını anlaşılmıştır. Örneğin; Orta Avrupa bölgesindeki troposferik nem, hava koşulları nedeniyle bahar ayı kış ayına göre daha yüksektir; buda yılın ikinci yarısında aynı sıcaklıkta olmasına rağmen buharlaşma miktarının daha az olduğu anlamına gelir. Ancak sadece sıcaklık ve gün uzunluğu değerlerini kullanan Thornthwaite yöntemi bölgelerin kendine özgü iklim koşullarını dikkate almıyorsa ve yılın ikinci yarısı için buharlaşma miktarını hesaplamak için Thornthwaite yöntemi kullanılıyorsa Orta Avrupa'da seçilen bir bölgede yıl; gerçek değerin bu yöntemle elde edilen veriden daha küçük olması beklenir. Farklı yılların ikinci yarısına Thornthwaite yöntemi uygulandığında elde edilen değerlerin diğer yöntemlere göre kabul edilemeyecek kadar büyük sapmalara sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu method; Özellikle sıcaklık farklarının küçük ama atmosferik nem farklarının yüksek olduğu durumlarda hatalı veya farklı sonuçlar verir. Diğer deneysel denklemlerde olduğu gibi, bu yöntemin geliştirildiği koşullardan farklı koşullar altında kullanılması hatalı sonuçlara yol açmaktadır (Schrödher, 1985).

2.1.2. Neme dayalı buharlaşma yöntemleri

Dalton'un kapalı bir hacim için buharlaşma yasası, nem koşullarına bağlı olarak potansiyel ET’nin tamamını veya bir kısmını hesaplayan denklemlerin temelidir. Nem koşullarının bir fonksiyonu olarak buharlaşmayı hesaplayan denklemler, birçok

meteoroloji istasyonunda ölçülebilen hava doygunluk boşluk değerini kullanır. Bunun amacı; Buharlaşma sürecini etkileyen doğal koşullar dışındaki faktörleri sabitler veya değişkenler olarak tanımlayarak ve bu sabitlerin veya değişkenlerin ortalama durum varsayımlarını kullanarak, buharlaşma sürecini en iyi şekilde temsil etmektir. Genel olarak neme dayalı buharlaşma yöntemi albrecht yöntemi ve haude yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır.

Albrecht Yöntemi; buharlaşma miktarının klimatolojik verilere dayanarak hesaplanması Albrecht'in 1950'de geliştirmiş olduğu yöntem ile rehber görevi görmüştür (Schrödter, 1985). Albrecht'in bu yöntemi günümüzde artık kullanılmasa da tarihsel bir öneme sahiptir. Kullanılan yöntemle potansiyel ET bir yaklaşık buharlaşma değerine eşitlenmektedir.

Haude yöntemi; ilk olarak 1952 yılında Haude tarafından geliştirilen ve daha sonra Haude tarafından modifiye edilen bu yöntem aslında Albrecht yönteminin değiştirilmiş halidir. Bu yöntem, ana parametre olarak hava doygunluk aralığını kullanır. Haude yöntemini Albrecht yönteminden farklı kılan en önemli özellik, sıcaklık ve buhar basıncı değerleri yerine o günün ikinci iklim gözleminden elde edilen değerlerin kullanılmasıdır.

Haude yönteminin pratikte çok yönlü bir kullanımı vardır, bu nedenle yöntem tarımsal sulamanın zamanı ve miktarına karar vermede önemli rol oynar. Yapılan incelemeler sonucunda Haude yönteminin en büyük dezavantajı, denklemin belirli bir zamandaki doygunluk aralığına bağlı olarak buharlaşma miktarını hesaplaması ve o zaman için geçerli olan hava koşullarını tüm günün özellikleri olarak kabul etmesidir. Hesaplanan değerin o gün için gerçek değer olup olmadığı kesin değildir. Ancak, gerçek değer ile geniş zaman aralığında hesaplanan değer arasında bir uyum olduğu söylenebilir. Haude'un yönteminin, çok daha karmaşık bir yapıya sahip olan mekanizmaların sağladığı hesaplamalarda gerçeğe daha yakın olduğu görülmüştür. Bu yöntem sonucunda hesaplanan potansiyel ET değeri, ilgili bölgedeki kültür bitkisinin fenolojik gelişme aşaması dikkat edilmeli ve düzeltilmelidir. Fakat bu, tüm hava durumu tabanlı denklemler

için zorunludur. 1975 yılında Schrödter ve Siegert tarafından yapılan bir çalışmada, Haude yönteminin, yıllık harekette toprak neminin hareketini hesaplamada Thornthwaite yönteminden daha iyi ve güvenilir olduğu gösterilmiştir (Schrödter, 1985).

2.1.3. Birleştirilmiş penman monteith yöntemi

ET'nin hesaplanmasında kullanılan birçok yöntem olmakla birlikte Smith (1996), Ünlükara ve ark. (2010), bitki su tüketimini iklim verilerine dayanarak hesaplamak için en doğru yöntemin Penman Monteith denklemi olduğunu bulmuştur. Penman, 1948'de iklimsel değerlerin (rüzgâr hızı, güneşlenme, nem ve sıcaklık) buharlaşma formülünün su yüzeyinden yaparak geliştirmişlerdir.

Yöntem, 1976'da Monteith ile yüzey direnci ve aerodinamik faktörlerinin eklenmesiyle bitkiler için FAO Penman-Monteith metodunu geliştirmişlerdir. Bu yöntem başka ülkelerde başka isimler almış ve ETr yerine ETo kavramı kullanılarak FAO-56 Penman Monteith adı altında yaygınlaşmıştır.

FAO-56 Penman-Monteith yöntemi; Sulama programında bitkinin büyüme katsayısı (kc) ile belirlenen bitkinin su tüketimi referans değeri ETo çarpılarak bitkinin ET ile elde edilmesine dayanmaktadır. Yukarıda belirtilen iklim parametrelerine göre. Bitkinin büyüme mevsiminde büyüme katsayısı mevsimler boyunca farklı değerler almaktadır. Su tüketimi belirlenecek bitkinin su kaybına ve boyuna karşı toprak-bitki direnci karşılaştırma bitkisinden farklıdır. Bu farklılıkları dikkate alan ve en gerçekçi su tüketimi tahminlerini sağlayan Penman-Monteith denkleminin FAO-56 değişkeni olarak uygulanmaktadır (Çetin ve ark., 2014).

2.1.4. Buharlaşma yöntemleri

Radyasyon verileri ile yapılan yöntemlerde; Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Pruitt, Turc gibi isimlerin arasında Makking, Monteith ve Penman yöntemini geliştiren Doorenbos-Pruitt'in geliştirdiği yöntemler ön plana çıkmaktadır.

Makkink radyasyon yöntemi; Tam deneysel denklemlerden fiziksel tabanlı yarı deneysel denklemlere geçiş olarak değerlendirilebilecek bu denklem, Hollanda'da gerçekleştirilen lizimetre ölçümlerinden elde edilen sonuçlarla geliştirilmiştir. Mackink; bir denge buharlaşma-terleme tanımlamıştır. Bu sadeleştirmeye ek olarak, Makkink güneş radyasyonu dengesinin (Rn) toplam (global) radyasyona eşit olduğunu varsaymıştır. Havalandırmanın bu kabulü ve ihmalinden kaynaklanan hatalar, regresyon ilişkileri ile giderildi. Makkink radyasyon denklemi için örnek çalışmalara bakıldığında; hesaplama ile tahmin yapılan toplam güneş radyasyonu değeri ile ölçülen güneş radyasyonu sayıları arasındaki farkın sonucunda ortaya çıkan potansiyel ET sonuçlarında büyük ve önemli bir hataya sebep olmadığı gözlemlenmiştir.

Penman yöntemi, geliştirildiği iklim koşullarına da dayanmaktadır. Bu durum önemli olarak rüzgâr fonksiyonunun türetilmesinde kısa çim yüzeyi ve yapılan su yüzeyi varsayımlarında meydana çıkmaktadır. Farklı hava koşullarında, rüzgâr fonksiyonu belirli fonksiyonlar ile elde edilmelidir. Ayrıca, yirmi dört saatlik rüzgâr yolunun kullanılması, rüzgâr hızındaki gündüz-gece farkının dikkate alınmadığı anlamına gelmektedir. Meydana gelen sorunları yürürlükten kaldırmak ve Penman denkleminin dünya genelinde kullanımına olanak sağlamak için çalışan Pruitt-Doorenbos ikilisi; Kapsamlı araştırmalarının bir sonucu olarak, Penman denkleminin genelleştirilmesine izin veren bir c düzeltme öğesi buldular. Penman denkleminin değiştirilmiş versiyonu karmaşık görünse de her klima istasyonundan ölçülebilen miktarları içerdiğinden kullanışlıdır (Burman ve Pochop, 1994).

Penman yöntemi, Monteith tarafından daha da geliştirilmiştir (Burman ve Pochop, 1994). Penman-Monteith yöntemi, bitki direncinin ve çoğunlukla aerodinamik sürükleme parametrelerinin kullanımına dayanmaktadır. Bu yöntemle ilgili çalışmalar günümüze kadar devam etmiştir. Son değişikliklerle birlikte, günümüzde ET'nin hesaplanmasında Penman-Monteith yöntemi kullanılmaktadır. Bu denklemin kısmen ıslak yüzey koşullarında kullanılması buharlaşmanın hesaplanmasında hata olmasına sebep olmaktadır. (Shuttleworth, 1976; Lafleur ve Rouse, 1990).

2.2.Evapotranspirasyonun Uzaktan Algılama ile Belirleme Yöntemleri

Kimura tarafından 2007 yılında gerçekleştirilen çalışmada Çinin Loess Platosunda Landsat 5 uydu görüntüsü kullanılarak yirmi dört saatlik ETa değerleri hesaplanmıştır. Bastiaanssen tarafından ise 2000 yılında çalışma bölgesi olarak İzmir İlinin Gediz Havzasında haziran ve ağustos aylarından bir gün seçilerek uydu görüntüleri yardımıyla havza genelinde ET değerleri SEBAL modeline göre hesaplanmıştır. ET hesapları uzaktan algılama yöntemi ile dünyanın birden fazla yerinde kullanılmıştır. Kongo ve arkadaşlarının 2011 yılında Güney Afrika'nın Thukela Havzasında MODİS Uydusu kullanılarak su yüzeyinde bulunan buharlaşma hesaplanmıştır. Çin'de bulunan Nansi Gölünde Sun ve arkadaşlarının 2011 yılında Landsat 7 uydu görüntüleri yardımıyla SEBAL modeli uygulanmış sulak alanlarda ki ET değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada %10 hata değeri ile hesaplama yapılmıştır. Özbekistan'da Chemin tarafından NOAA/AVHRR verileri kullanılarak ET değerleri SEBAL yöntemi kullanılarak hesaplama yapılmış ve doğrudan ölçme yöntemleriyle kıyaslanarak geniş alanlarda kullanımı gösterilmiştir. Mutiga tarafından Kenya'nın Kuzey Havzasında 3 yıl aralıklarla ET değerleri MODİS verileri kullanılarak hesaplanmış ve FOA-56 ile kıyaslanmıştır. Bu çalışma ile SEBAL modelinin büyük alanlarda etkin bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Kore'de ve Japonya'da ET değerleri Jang ve arkadaşları tarafından 2010 yılında MODİS verileri kullanılarak büyük alanlarda çalışabilirliği belirtilmiştir. Teixeira tarafından Brezilya'da Sao Francisco Nehrinde SEBAL modeli uygulanmış ve ET değerleri hesaplanmıştır. SEBAL modeli kalibrasyonu yapılmıştır. İtalya Basilicata Bölgesinde

Sanchez tarafından Landsat 5 ve 7 uydu görüntüleri kullanılarak SEBAL Modeli ile 1000 km2 büyüklüğünde alanda ET değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada ortalama 2 mm/gün hata değeri elde edilmiştir. Singh tarafından 2008 yılında Güney Nebraska bölgesinde gerçek ET haritaları mayıs ayından eylül ayına kadar Landsat 5 ve 7 uydu görüntüleri kullanılarak hesaplama yapılmış ve %5 gibi bir hata değeri görülmüştür. Büyük alanlar için bu hatanın normal olduğu ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin kullanılması gerektiği önerilmiştir. Filipinler'de gerçekleşen bir çalışmada ise pirinç tarlalarının olduğu bölge seçilmiş Landsat 7, ASTER ve MODİS verileri kullanılarak SEBAL modeliyle ET haritası üretilmiş ve doğrudan ölçü yöntemleriyle kıyaslama yapılmıştır. ASTER verisinde %9, Landsat verisinde %3 ve MODİS verisinde ise %13 sapmayla ET değerlerini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda büyük alanlar olmaması koşuluyla Landsat ve ASTER verilerinin daha yüksek sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. Avustralya'nın Murrumbidgee Havzasında SEBAL modeli kullanılmıştır.

Büyük çalışma alanlarında evapotranspirasyon hesabı kolay olmasına rağmen zordur. Bu sebeplerden dolayı etkin bir yöntem seçmek önemlidir. Tibet Platosunda Guo tarafından ET değerleri Landsat 7 Uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanacağını göstermişlerdir. Uzaktan algılama ile ET hesapları büyük alanlarda ki su kaybının hesaplanmasında birçok sempozyumda sunumlar gerçekleştirilmiştir. Çin'in Haihe Havzasında 2006 yılında Jun tarafından SEBAL yöntemi kullanılarak Landsat 5 ve 7 verileri kullanılarak ET değerleri hesaplanmıştır.

Son 15 yıldaki uzaktan algılama tabanlı ET modellerini incelediğimizde, yaygın olarak uygulanan ET modelleri iki türe ayrılmaktadır; yarı deneysel yöntemler ve analitik yöntemler. Yarı deneysel olan yöntemler genellikle deneysel ilişkiler kullanılarak ve temel olarak minimum yer tabanlı ölçümlerle uzaktan algılama gözlemlerinden elde edilen verilerden yararlanılarak, analitik yöntemler ise değişen karmaşıklıktaki ilgi ölçeğinde fiziksel süreçlerin kurulmasını içermektedir.

2.2.1. Deneysel regresyon yöntemi

Basitleştirilmiş regresyon yönteminin; ana teorisini ilk olarak Jackson ve arkadaşları önermiştir (Jackson ve ark., 1985). Phoenix, Arizona'da (ABD) sulu buğday üzerine yaptıkları çalışmada, günlük ET'yi, yerel olarak öğlen vaktinde yarım saat aralıkla ölçülen anlık yüzey sıcaklığı (Ts) ve hava sıcaklığı (Ta) arasındaki farkla doğrudan ilişkilendirmişlerdir.

Farklı atmosferik koşullar ve değişken bitki örtüleri altında günlük ET'yi tahmin etmek için bu yöntem birkaç makale ile test etmiş ve doğrulanmıştır. Bu çalışmaya yapılan tüm katkılar, hesaplanan günlük ET hatasının yaklaşık 1 mm/gün olduğunu göstermiştir ki bu, bölgesel düzeyde su mevcudiyeti hakkında güvenilir bilgi vermek için yeterince küçüktür. Girdiler anlık yüzey sıcaklığı ve hava sıcaklığının tek seferlik ölçümlerini ve günlük net radyasyonu içeren bu yöntemin ana avantajı basit olmasıdır. Bu nedenle, basitleştirilmiş deneysel yönteminin uygulanması, yer tabanlı meteorolojik ölçümler ve bir defalık uzaktan algılanan radyometrik yüzey sıcaklıkları mevcut olduğu sürece çok uygundur. Bununla birlikte, bariz zayıflık, sahaya özel parametreleri belirleme ihtiyacının, değişken yüzey koşullarına sahip bölgesel ölçekler üzerinde basitleştirilmiş denklem yönteminin uygulamalarını aşağı yukarı sınırlandırmasıdır (Seguin ve ark., 1994).

2.2.2. Enerji dengesi eşitliği tek kaynaklı yöntem

SEBAL, bitki örtüsü, toprak ve atmosfer sürekliliğinde su değişimini ve yüzey türbülanslı akışlarının duyulur ve gizli ısıya bölünmesini yönetir. Yüzey enerji dengesinin artakalanı yöntemi, ET'yi farklı zamansal ve uzamsal ölçeklerde haritalamak için en yaygın uygulanan yaklaşımlardan biridir.

Görünür yakın kızılötesi ve termal kızılötesi bantlardan yüzey radyometrik sıcaklığı ve kısa dalga albedo'nun uzaktan algılamaya dayalı parametrelerini bir dizi yer

tabanlı meteorolojik değişkenle birleştirerek tahmin edilebilir. Tek kaynaklı ve çift kaynaklı enerji dengesi modellere dayalı hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve nem ve diğer yardımcı yüzey ölçümleri dayanmaktadır.

Son yıllarda uzaktan algılama kullanılarak çok sayıda model geliştirilmiştir. Bunlardan Menenti ve Choudhury tarafından geliştirilen SEBI, Bastiaansen ve arkadaşları tarafından geliştirilen SEBAL, Roerink ve arkadaşlarının geliştirdiği S-SEBI ve Allen ve arkadaşlarının önerdiği metric yöntemidir. Kısaca; sıcak ve soğuk pikseller arasındaki sıcaklık farkına dayanmaktadır. Sıcak pikseller genellikle ET'e sıfır kabul edilmektedir. Soğuk pikseller etrafında ısı alarak buharlaşmanın meydana geldiği, sıcak pikseller ise buharlaşmanın meydana gelmediği alanlardır. Bunlardan yüzey enerji dengesi olan SEBAL 30'dan fazla ülkede denenmiştir. Genel olarak %90 doğruluk vermiştir.

2.2.3. Enerji dengesi eşitliği çift kaynaklı yöntem

Tek kaynaklı yöntemlerde; yerin yüzeyi düzenli ve tek olarak değerlendirilirken çift kaynaklı yöntemlerde ise; yüzey, bitki yüzeyi ve yeryüzü olarak değerlendirilmektedir. Anderson ve arkadaşları çift kaynaklı modellerin daha başarılı olduklarını belirtmişlerdir. Norman tarafından geliştirilen Çift kaynaklı model (TSM), Anderson ve arkadaşlarının geliştirdiği Atmosferin enerji takası (ALEXI) modelleri çift kaynaklı yöntemler arasında yer almaktadır. Farklı uzaktan algılama modelleriyle kıyasladığımız zaman değişik arazi koşulları ve meteorolojik koşullarda uygun bulunduğu saptanmıştır (Kustas, 1999).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

SEBAL modelinde ET, eşitlik (3.1.)'de gösterildiği gibi yüzey enerji dengesi kullanılarak uydu görüntülerinden ve meteorolojik verilerden hesaplanır. Uydu görüntüsü yalnızca geçiş süresi için bilgi sağladığından, SEBAL görüntünün süresi için anlık bir ET akısı hesaplar. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi ET akısı, her görüntü pikseli için yüzey enerji dengesi denkleminin bir "artakalanı" olarak hesaplanır. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.2.'de gösterilmektedir.

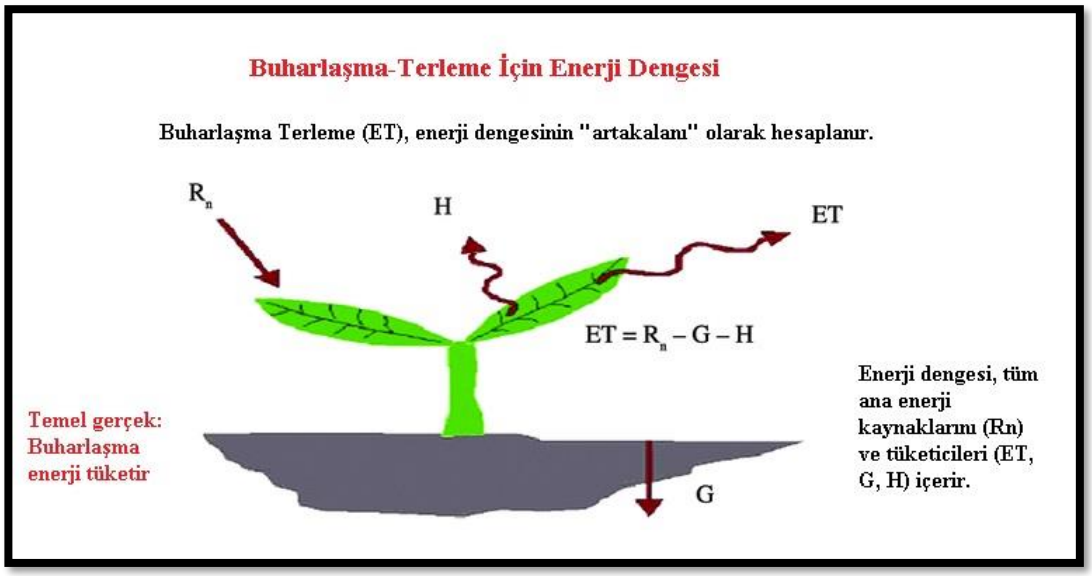
$$\lambda ET = Rn - G - H \qquad (3.1.)$$

λET : Gizli Isı Akısı

Rn : Yüzeydeki Net Radyasyon Akısı

G : Toprak Isı Akısı

H : Havada Hissedilebilir Isı Akısı



Şekil 3.1. Yüzey Enerji Dengesi (Waters ve ark., 2002)

```
print 'Anlık evapotranspirasyonun hesaplanması (ETi) - mm/h...' grass.mapcalc
('ETi=if (3600*(LET/ (2.45*10^6)) <0,0,3600*(LET/ (2.45*10^6)))',
                LET='LET',
                overwrite='true',
                quiet='true')
print 'Tamamlandı!'
print 'Referans evapotranspirasyon fraksiyonunun hesaplanması (ETof)...'
grass.mapcalc('ETof=$ETi/$ETo',
                ETi='ETi',
                ETo=ETo,
                overwrite='true',
                quiet='true')
print 'Tamamlandı!'
print 'Günlük evapotranspirasyonun hesaplanması (ETday) - mm/dia...'
grass.mapcalc('ETday=$ETof*$ETo',
                ETof='ETof',
                ETo=ETo,
                overwrite='true',
                quiet='true')
print 'Tamamlandı!'
```

Şekil 3.2. Denklem (3.1.)'in Python koduna entegre edilmesi

3.1.Net Radyasyonun Hesaplanması

Yüzeyde bulunan gerçek ışıma enerjisi Rn ile sembolize edilen yine yüzeyde bulunan radyasyon akısı ile temsiliyet göstermektedir. Gelen tüm radyan akılardan giden tüm radyan akıların çıkarılmasıyla hesaplanır (3.2.). Bu, yüzey radyasyon dengesi denkleminde verilir. Atmosfer ile yüzey ısısı arasında hatırı sayılır bir öneme sahip olan

net radyasyon, aslında yüzeyden ayrılan ve yüzeye gelen uzun ve kısa dalga boylu radyasyonların toplanmasıyla bulunur.

$$Rn = RS\downarrow - \alpha\, RS\downarrow + RL\downarrow - RL\uparrow - (1-\varepsilon o)\, RL\downarrow \quad (3.2.)$$

RS↓ : Kısa dalga boylu gelen radyasyon (W/m2)

α : Albedo (boyutsuz)

RL↓ : Uzun dalga boylu gelen radyasyon (W/m2)

RL↑ : Uzun dalga boylu giden uzun radyasyon (W/m2)

εo : Yüzeyin yayma gücü, yüzey tarafından yayılan radyasyon ile aynı sıcaklıkta (boyutsuz) başka bir siyah cisim tarafından yayılan radyasyon arasındaki orandır. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.3.'de gösterilmektedir.

Yüzeyde kalan kısa dalga radyasyon miktarı (RS↓), yüzey albedosunun (α) bir fonksiyonudur. Yüzey albedo, güneş spektrumunda yansıyan ışıma akısının gelen ışıma akısına oranı olarak tanımlanan bir yansıma katsayısıdır. Her bir uydu bandı için spektral parlaklık hakkında uydu görüntülerinden elde edilen bilgiler kullanılarak hesaplanır. Alınan kısa dalga radyasyonu (RS↓), güneş sabiti, güneş geliş açısı, Dünya ile Güneş arasındaki bağıl mesafe ve hesaplanan atmosferik geçirgenlik kullanılarak hesaplanır. Uzun dalga radyasyon girişi (RL↓), atmosferik geçirgenlik ve seçilmiş bir referans yüzey sıcaklığı ile değiştirilmiş bir Stefan-Boltzmann denklemi kullanılarak hesaplanır. Giden uzun dalga radyasyonu (RL↑), hesaplanmış bir yüzey emisyonu ve yüzey sıcaklığı ile Stefan-Boltzmann denklemi kullanılarak hesaplanır. Yüzey sıcaklıkları, termal radyasyon hakkındaki uydu görüntü bilgilerinden hesaplanır.

Yüzey emisyonu, bir yüzey tarafından yayılan gerçek radyasyonun aynı yüzey sıcaklığında bir kara cisim tarafından yayılana oranıdır. SEBAL'de emisyon, bir bitki indeksine dayalı olarak hesaplanır. Denklem (3.2.)'deki son terim, (1-εo) RL↓, alınan uzun dalga radyasyonun yansıma nedeniyle yüzeyden kaybolan kısmını temsil eder.

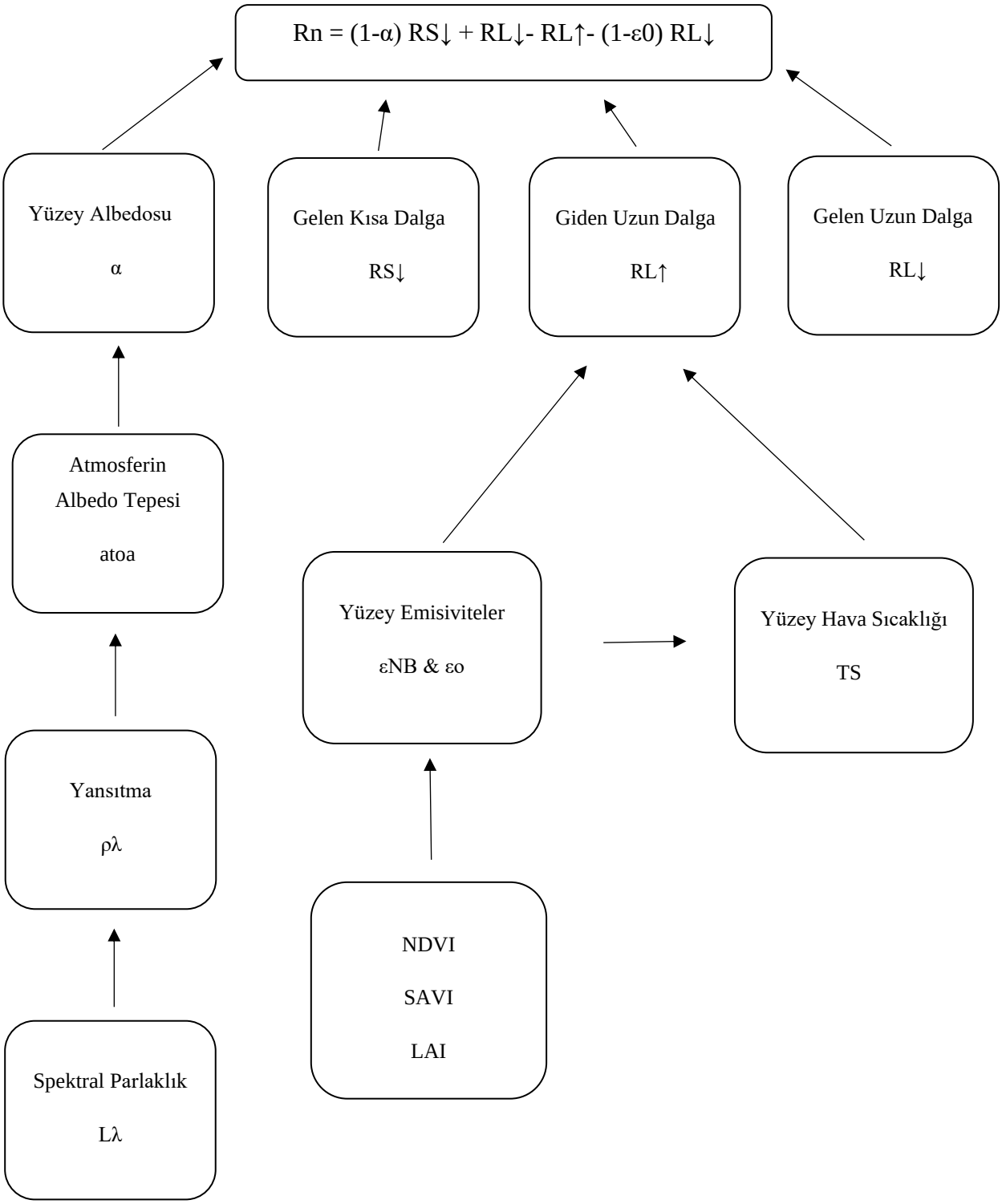
Denklem (3.1.)'de, et için mevcut "artakalan" enerjiyi (λET) hesaplamak için yer ısısı akısı (G) ve hissedilir ısı akısı (H), net yüzey radyasyon akısından (Rn) çıkarılır. Toprak ısı akısı, bitki indeksleri, yüzey sıcaklığı ve yüzey albedo kullanılarak ampirik olarak hesaplanır. Duyulur ısı akısı, rüzgâr hızı gözlemleri, tahmini yüzey pürüzlülüğü ve yüzey ile hava arasındaki sıcaklık farkları kullanılarak hesaplanır. SEBAL, yüzey ısıtmanın kaldırma kuvveti etkilerinden kaynaklanan atmosferik dengesizliği düzeltmek için yinelemeli bir süreç kullanır.

Gizli ısı akısı (λET) her piksel için hesaplandığından, eşdeğer miktarda anlık ET (mm/sa), gizli buharlaşma ısısına (λ) bölünerek kolayca hesaplanır. Bu değerler daha sonra günlük veya mevsimsel ET seviyeleri elde etmek için ET'nin ET referans kültürüne oranı kullanılarak tahmin edilir. ETr olarak adlandırılan referans ürün ET, iyi tanımlanmış bir yonca veya biçilmiş çim yüzeyinden beklenen ET oranıdır ve toprak meteorolojik verileri kullanılarak SEBAL işleminde hesaplanır. SEBAL, düz ve tarımsal alanlar için ET'yi en yüksek doğruluk ve güvenle hesaplayabilir.

```
print 'Net radyasyon akısının hesaplanması(Rn) - W/m2...'
grass.mapcalc('Rn=(1-$aS)*$Rsi+$RLi-$RLo-(1-$e0f)*$RLi',
              aS='aS',          RLi='RLi',
              RLo='RLo',              Rsi='Rsi',
              e0f='e0f',
              overwrite='true',   quiet='true')
print 'Tamamlandı!'
```

Şekil 3.3. Denklem (3.2.)'nin Python koduna entegre edilmesi

Çizelge 3.1. Net Yüzey Radyasyonu Hesaplama Akış Şeması



3.1.1. Kısa dalga boylu gelen radyasyon

Alınan kısa dalga radyasyonu, fiilen Dünya yüzeyine ulaşan (W/m2) güneş radyasyonunun doğrudan ve dağınık akışıdır. Açık hava koşulları varsayılarak, aşağıdakiler kullanılarak görüntü süresi için bir sabit olarak hesaplanır.

$$Rs\downarrow = Gsc \times \cos\theta \times dr \times \tau sw \quad (3.3.)$$

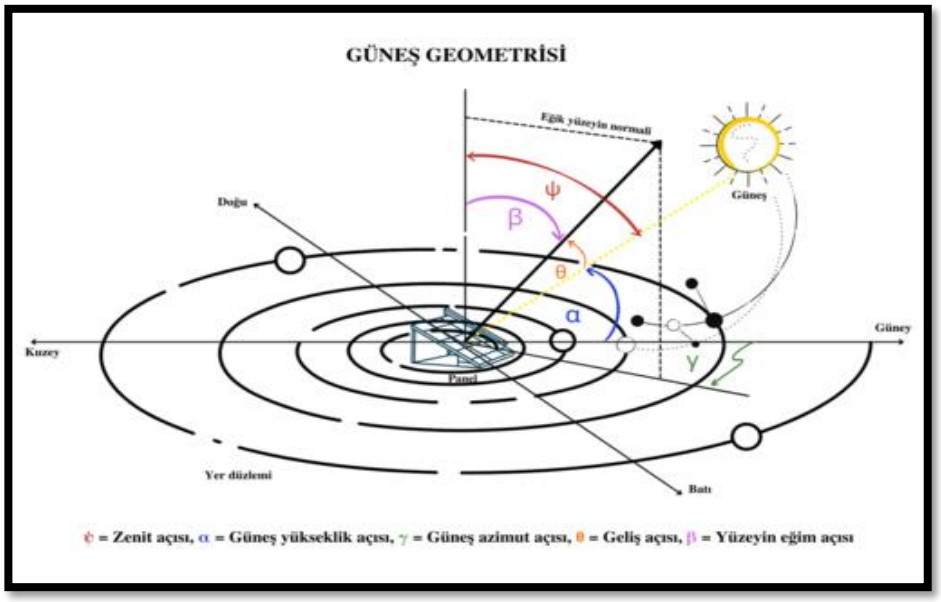
Gsc : Güneş sabitidir (1367 W/m2)
Cos θ : Yukarıdaki 2. adımda olduğu gibi güneş geliş açısının kosinüsüdür
dr : ters kare bağıl dünya-güneş mesafesidir.
Tsw : atmosferik geçirgenliktir.

Bu (3.3.) eşitliğinde hesaplamalar matematiksel programlar veya hesap makinesi ile yapılır. Rs↓ değerleri, görüntünün zamanına ve konumuna bağlı olarak 200 – 1000 W/m2 arasında değişebilir. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.4.'de gösterilmektedir.

Şekil 3.5.' de sunulan θ ile sembolize edilen Güneşin zenit açısının bir fonksiyonu atmosferde toplanan enerjinin belirli bir zaman, enlem ve güneş ile dünya arası uzaklık güneşin geliş açısına bağlıdır.

```
print 'Gelen kısa dalga radyasyonunun (Rsi) hesaplanması - W/m2...'
        grass.mapcalc('Rsi=1367*cos(90-$SUN_ELEVATION)*(1/($d^2))*$Tsw',
                      SUN_ELEVATION=SUN_ELEVATION,
                      Tsw='Tsw', d=d, overwrite='true', quiet='true')
        print 'Done!'
```

Şekil 3.4. Denklem (3.3.)'ün Python koduna entegre edilmesi



Şekil 3.5. Güneş ışınlarının geliş açısı

3.1.2. Uzun dalga boylu giden radyasyon

Uzun dalga giden radyasyonu, Dünya yüzeyinden atmosfere yayılan termal radyasyonun akışıdır (W/m2). SEBAL'da aşağıdaki adımlarla hesaplanır.

Yaygın olarak kullanılan üç bitki örtüsü indeksi hesaplanır. Bulunan yansıtma değerleri kullanılarak NDVI (Bitki örtüsü indeksi ile hesaplanan uydu görüntüleri), SAVI (Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi) hesaplanır. Bu endekslerden herhangi biri, kullanıcı tercihlerine göre çeşitli bitki örtüsü özelliklerini tahmin etmek için kullanılabilir.

NDVI, yakın kızılötesi bant (ρ4) ve kırmızı bant (ρ3) için yansıma farklılıklarının bunların toplamına oranıdır.

$$NDVI = \frac{p_4 - p_3}{p_4 + p_3} \qquad (3.4.)$$

(3.4.) eşitliğinde ρ4 ve ρ3, bant 4 ve 3 için yansımalardır. NDVI, yeşil bitki örtüsünün miktarı ve durumunun hassas bir göstergesidir. NDVI için değerler -1 ile +1 arasındadır. Yeşil yüzeylerin NDVI değeri 0 ile 1 arasındadır ve su ve bulut için genellikle sıfırdan küçüktür. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.6.'da gösterilmektedir.

```
print 'Calculating NDVI...'
        grass.mapcalc('NDVI=($LS8_corre5-$LS8_corre4)/($LS8_corre5+$LS8_corre4)',
                LS8_corre5='LS8_corre5',
                LS8_corre4='LS8_corre4',
                overwrite='true',
                quiet='true')
        print 'Tamamlandı!'
```

Şekil 3.6. NDVI denkleminin Python Koduna entegre edilmesi

SAVI, NDVI'dan arka plan toprak etkilerini "çıkarmaya" çalışan bir endekstir, böylece endekste toprak nemi etkileri azaltılır. Eşitlik (3.5.) şekilde hesaplanır. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.7.'de gösterilmektedir.

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_4 - \rho_3)}{(L + \rho_4 + \rho_3)} \qquad (3.5.)$$

```
print 'Calculating SAVI with L equal to 0.5...'
        Lsavi = 0.5 #float(input('Entre com o valor de L: '))
grass.mapcalc('SAVI=(($LS8_corre5$LS8_corre4)/($LS8_corre5+$LS8_corre4+$Lsavi))*(1+$Lsavi)',
                LS8_corre4='LS8_corre4',
                LS8_corre5='LS8_corre5',
                Lsavi=Lsavi,
                overwrite='true',
                quiet='true')
        print 'Done!'
```

Şekil 3.7. SAVI denkleminin Python Koduna entegre edilmesi

L : SAVI için bir sabittir. L sıfırsa, SAVI, NDVI'ya eşit olur. L için literatürde sıklıkla 0,5 değeri görülür. L değeri, bitki örtüsünün değişmediği ancak toprak yüzey neminin değiştiği çoklu görüntülerin analizinden elde edilebilir.

LAI, bir bitki üzerindeki tüm yaprakların toplam alanının, bitki tarafından temsil edilen toprak alanına oranıdır. Biyokütle ve kanopi direncinin bir göstergesidir. Eşitlik (3.6.) ile gösterilmektedir. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.8.'de gösterilmektedir.

$$LAI = -\frac{\ln\left(\frac{0.69-SAVI_{ID}}{0.59}\right)}{0.91} \quad (3.6.)$$

```
print 'Yaprak alanı indeksi (LAI) hesaplanıyor...'
        grass.mapcalc('LAI=if(SAVI < 0.1, 0.00001,(if(0.1 < SAVI && SAVI <
0.687,-log((0.69-SAVI)/0.59)/0.91,if(SAVI > 0.687,6,0))))',
                      overwrite='true',
                      quiet='true')
        print 'Done!'
```

Şekil 3.8. LAI denkleminin Python Koduna entegre edilmesi

Giden uzun dalga radyasyonu (RL↑) Stefan-Boltzmann denklemi (3.7.) kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.9.'da gösterilmektedir.

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

εo : Yüzey yayma gücüdür.

σ : Stefan-Boltzmann sabitidir. (5,67 × 10-8 W/m2/K4)

Ts : Yüzey sıcaklığıdır.

```
print 'Giden uzun dalga radyasyonu (RLo) hesaplanıyor - W/m2...'
        grass.mapcalc('RLo=$e0f*5.67e-8*$Ts^4',
                      Ts='Ts',          e0f='e0f',
                      overwrite='true',
                      quiet='true')
        print 'Done!'
```

Şekil 3.9. Denklem (3.7.)'nin Python Koduna entegre edilmesi

3.1.3. Sıcak ve soğuk piksellerin seçimi

SEBAL işlemi, enerji dengesi için sınır koşullarını sabitlemek üzere iki "dayanak noktası" pikseli kullanmaktadır. Bunlar sıcak ve soğuk piksellerdir ve ilgi alanında bulunurlar. "Soğuk" piksel, bitki örtüsüyle dolu, ıslak, iyi sulanan bir ekin alanı olarak seçilir. Bu pikselde yüzey sıcaklığı ile yüzeye yakın hava sıcaklığının benzer olduğu varsayılır. "Sıcak" piksel, ET'nin sıfır olduğu kabul edilen kuru, çıplak bir tarım alanı olarak seçilir. Her iki " dayanak noktası " pikseli de birden fazla 6 piksel bandı içeren geniş homojen alanlara yerleştirilmelidir.

```
print 'Soğuk piksel maskesini yapmak...'
Ts_median=g.parse_command('r.univar', flags='ge', map='Ts', quiet = True)['median']
grass.mapcalc('Pcold=if($NDVI>0.4 && $Ts<$Ts_median,$Ts,null())',
              NDVI='NDVI',
              aS='aS',   Ts='Ts',
              Ts_median=Ts_median,
              overwrite='true',    quiet='true')
print 'Sulama alanlarındaki soğuk piksel koordinatlarını seçin. Yardım için raster Pcold ve CC_432'yi
kullanın...'
xy_Pcold = str (input ('Koordinatları yerleştirin(east,north): ')).strip('()')
print xy_Pcold
TsPcold_z=g.parse_command('r.what', map='Ts', coordinates=xy_Pcold)
z_TsPcold=float(dict.keys(TsPcold_z)[0].split('|')[3])
print 'Soğuk piksel sıcaklığı:', z_TsPcold,'K'
grass.write_command('v.in.ascii', input='-', output='Pcold', sep=',', stdin=xy_Pcold, overwrite='true',
quiet='true')
print 'Tamamlandı!'
```

Şekil 3.10. Python Koduna soğuk piksel seçiminin entegre edilmesi

Bu dayanak noktaları pikselleri seçmek beceri ve pratik gerektirir. SEBAL'deki ET hesaplamalarının kalitesi, bu iki pikselin dikkatli bir şekilde seçilmesine bağlıdır. Seçildikten sonra, bu iki piksel için yüzey sıcaklığı ve x ve y koordinatları gelecekteki hesaplamalar için kaydedilmektedir. Soğuk piksel seçiminin kodlamada gösterimi Şekil 3.10.'da gösterilmektedir. Sıcak piksel seçiminin kodlamada gösterimi ise Şekil 3.11.'de gösterilmektedir.

```
print 'Sıcak piksel maskesini yapma...'
grass.mapcalc('Phot=if($SAVI>0.18 && $SAVI<0.3, $Ts,null())',
                SAVI='SAVI',
                aS='aS',   Ts='Ts',
                Ts_median=Ts_median,
                #Ts_max=Ts_max,
          overwrite='true',          quiet='true'
print 'Çıplak toprak alanlarında sıcak piksel koordinatlarını seçin. Yardım için raster Fotoğraf ve CC_432'yi
kullanın...'
xy_Phot = str (input ('Koordinatları yerleştirin(east,north): ')).strip('()')
print xy_Phot
print 'Tamamlandı!'
TsPhot_z=g.parse_command('r.what', map='Ts', coordinates=xy_Phot)
z_TsPhot=float(dict.keys(TsPhot_z)[0].split('|')[3])
print 'Sıcak piksel sıcaklığı:', z_TsPhot,'K'
grass.write_command('v.in.ascii', input='-', output='Phot', sep=',', stdin=xy_Phot, overwrite='true',
quiet='true')
print 'Sürtünme hızının hesaplanması(u*) meteoroloji istasyonu için- m/s...'
h=0.15
Zom=0.123*h
u_ast=0.41*u_2m/(math.log(2/Zom))
u_200m=u_ast*(math.log(200/Zom))/0.41
print 'Tamamlandı!'
print 'sürtünme hızı', u_ast, 'm/s'
print 'Momentum pürüzlülük uzunluğu haritasının hesaplanması (Z0map) - m...'
grass.mapcalc('Z0map=exp(-5.809+5.62*$SAVI)',
                SAVI='SAVI',
                overwrite='true',
                quiet='true')
```

Şekil 3.11. Python Koduna sıcak piksel seçiminin entegre edilmesi

3.1.4. Uzun dalga boylu gelen radyasyon

Uzun dalga gelen radyasyonu, atmosferden gelen termal radyasyonun aşağı doğru akışıdır (W/m2). Stefan-Boltzmann denklemi (3.8.) kullanılarak hesaplanır.

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a \qquad (3.8.)$$

ε_a : Atmosferik emisyondur. (Boyutsuz)

σ : Stefan-Boltzmann sabitidir. (5,67 × 10-8 W/m2/K4)

Ta : Yüzeye yakın hava sıcaklığıdır.

Denklem (3.7.) ve Denklem (3.8.) ile değiştirmek ve Ta için "soğuk" pikselimizden Tcold kullanmak için aşağıdaki denklem (3.9.) kullanılır.

$$R_{L\downarrow} = 0.85 \times (-\ln \tau_{sw}) \times \sigma \times T_{cold}^{4} \qquad (3.9.)$$

RL↓ değerleri, görüntünün konumuna ve zamanına bağlı olarak 200 – 500 W/m2 arasında değişebilir. Bazı otomatik meteoroloji istasyonları, gelen ve giden tüm kısa ve uzun dalga radyasyonunu ölçen bir net radyometre içerir. Ölçülen RL↓ verileri, hesaplanan değerleri kontrol etmek için kullanılabilir. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.12.'de gösterilmektedir.

```
print 'Gelen uzun dalga radyasyonunun (RLi) hesaplanması - W/m2...'
grass. mapcalc('RLi=0.85*((-log($Tsw)) ^0.09) *5.67e-8*$z_TsPcold^4',
                z_TsPcold=z_TsPcold,
                Tsw='Tsw',          overwrite='true',
                quiet='true')
print 'Tamamlandı!'
```

Şekil 3.12. Denklem (3.9.)'un Python Koduna entegre edilmesi

3.2.Toprak Isı Akısı ile Yapılan Hesaplamalar

Toprağın ısı akısı, iletim nedeniyle toprakta ve bitki örtüsünde ısı depolama oranıdır. SEBAL önce Bastiaanssen (2000) tarafından aşağıdaki ampirik denklemi (3.10.) kullanarak G/Rn oranını hesaplar. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.13.'de gösterilmektedir.

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha}(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2).(1 - .98NDVI^4) \qquad (3.10.)$$

Ts : yüzey sıcaklığıdır

α : yüzey albedosu

NDVI : Bitki örtüsü indeksi ile hesaplanan uydu görüntüleri.

```
print 'Toprak ısı akısının hesaplanması(G) - W/m2...'
grass.mapcalc('G_Rn=if(NDVI<0,0.5,(($Ts-273.15)/$aS)*(0.0038*$aS+0.0074*$aS^2)*(1-0.98*$NDVI^4))',
                    aS='aS',
                    Ts='Ts',
                    #Rn='Rn',
                    NDVI='NDVI',
                    overwrite='true',
                    quiet='true')
grass.mapcalc('G=$G_Rn*$Rn',
                    G_Rn='G_Rn',
                    Rn='Rn',
                    overwrite='true',
                    quiet='true')
print 'Tamamlandı!'
```

Şekil 3.12. Denklem (3.10.)'un Python Koduna entegre edilmesi

3.3.Hissedilebilir Isı Akısı

Hissedilebilir ısı akısı, sıcaklık farkından dolayı konveksiyon ve iletim yoluyla havaya ısı kaybı oranıdır. Isı taşınması için aşağıdaki denklem (3.11.) kullanılarak hesaplanır. Denklemin Python koduna entegresi Şekil 3.14.'de gösterilmektedir.

$$H = (\rho \times c_p \times dT) / r_{ah} \qquad (3.11.)$$

p : hava yoğunluğu (kg/m^3)

c_p : havanın özgül ısısı (1004 J/kg/K)

dT : iki yükseklik arasındaki sıcaklık farkı

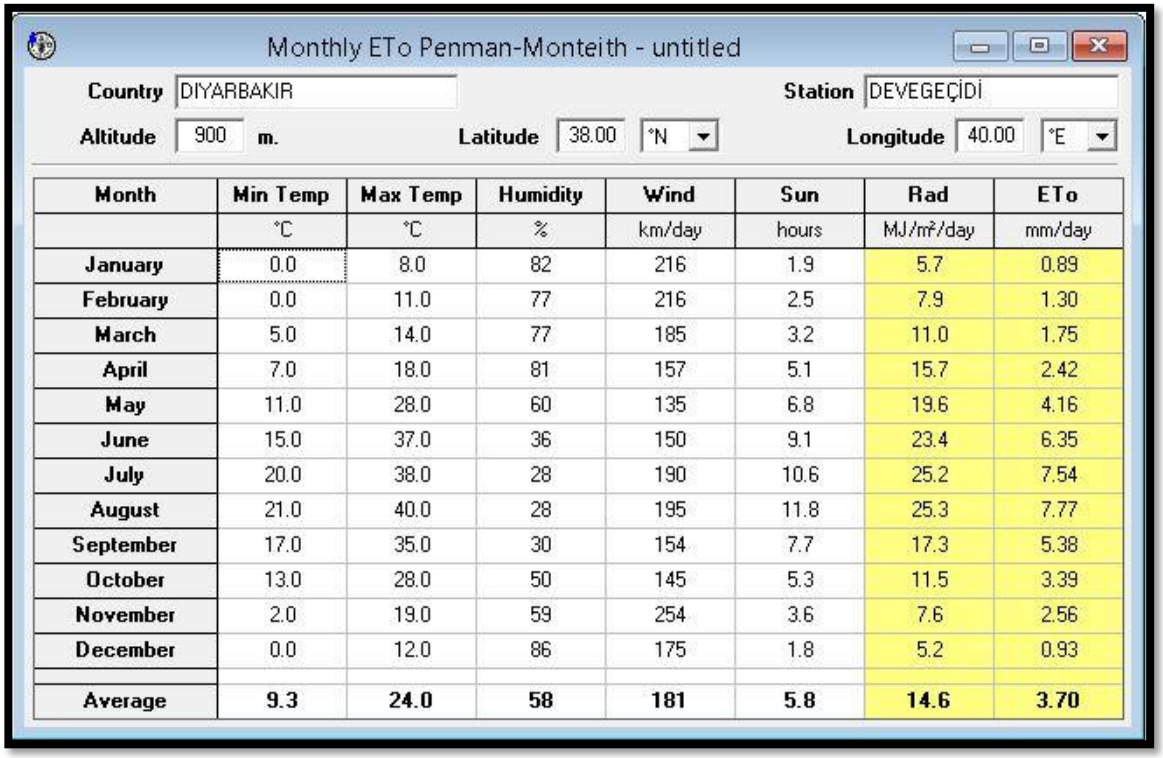
r_{ah} : ısı taşınmasına karşı aerodinamik direnç

```
print 'Nötr kararlılık açısından ısı taşıma haritasına aerodinamik direncin hesaplanması(rah) - s/m...'
grass.mapcalc('rah=log(2/0.1)/($u_astmap*0.41)',
                u_astmap='u_astmap',
                overwrite='true',
                quiet='true')
print 'Tamamlandı!'
GPhot_z=g.parse_command('r.what', map='G', coordinates=xy_Phot)
z_GPhot=float(dict.keys(GPhot_z)[0].split('|')[3])
rahPhot_z=g.parse_command('r.what', map='rah', coordinates=xy_Phot)
z_rahPhot=float(dict.keys(rahPhot_z)[0].split('|')[3])
RnPhot_z=g.parse_command('r.what', map='Rn', coordinates=xy_Phot)
z_RnPhot=float(dict.keys(RnPhot_z)[0].split('|')[3])
print 'Aerodinamik direnç düzeltmesi, sabırlı olun...'
z_rahPhot_i=0
i=1
while (abs(z_rahPhot_i - z_rahPhot) > 0.00001):
        print 'Iteration number:',i
        i = i+1
        z_rahPhot_i=z_rahPhot
        print 'Denklem katsayıları tahmini>> dT = a.Ts + b'
        a=(z_RnPhot-z_GPhot)* z_rahPhot_i/((z_TsPhot-z_TsPcold)*1.25*1004)
        b=-a*z_TsPcold print 'a:',a, 'b:', b
        print 'dT haritasının hesaplanması- K...'
        grass.mapcalc('dT=$a*$Ts+$b',
                        Ts='Ts',
                        a=a, b=b,
                        overwrite='true',
                        quiet='true')
        print 'Tamamlandı!'
```

Şekil 3.14. Denklem (3.11.)'in Python Koduna entegre edilmesi

3.4.Cropwat Programı Kullanılarak Hesaplanan Evapotranspirasyon

CROPWAT 8.0 yazılımı FAO Su Kaynakları Geliştirme ve Yönetim Hizmeti tarafından geliştirilmiş olup bu çalışmada kullanılmıştır. CROPWAT 8.0 Yazılımının eklentisi olan Climwat ile iklim verileri uzun dönemli olarak elde dilerek Cropwat ET Cropwat ekranına iklim verileri girilerek ve ETo değerleri Penman-Monteith yöntemine göre hesaplanmıştır.



Monthly ETo Penman-Monteith - untitled

Country DIYARBAKIR Station DEVEGEÇİDİ

Altitude 900 m. Latitude 38.00 °N Longitude 40.00 °E

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m²/day	mm/day
January	0.0	8.0	82	216	1.9	5.7	0.89
February	0.0	11.0	77	216	2.5	7.9	1.30
March	5.0	14.0	77	185	3.2	11.0	1.75
April	7.0	18.0	81	157	5.1	15.7	2.42
May	11.0	28.0	60	135	6.8	19.6	4.16
June	15.0	37.0	36	150	9.1	23.4	6.35
July	20.0	38.0	28	190	10.6	25.2	7.54
August	21.0	40.0	28	195	11.8	25.3	7.77
September	17.0	35.0	30	154	7.7	17.3	5.38
October	13.0	28.0	50	145	5.3	11.5	3.39
November	2.0	19.0	59	254	3.6	7.6	2.56
December	0.0	12.0	86	175	1.8	5.2	0.93
Average	9.3	24.0	58	181	5.8	14.6	3.70

Şekil 3.15. CropWat programı Devegeçidi istasyonu Penman-Monteith ETo değerleri

3.5.Suet Uygulaması

Eto değerleri, TAGEM tarafından yayınlanmış olan 2017 yılına ait Bitki Su Tüketimi Rehberinden çalışma alanı için hizmete sunulan SUET Uygulaması versiyon 1'in beta versiyonundan alınmıştır. Mayıs 2021'de test edilmiştir.

3.6.Sebal Modeli

SEBAL yani Arazi İçin Yüzey Enerji Dengesi Algoritması tekniğinde 11 bantlı Landsat-8 uydusundan (OLI/TIRS) alınan veriler kullanılmıştır. Bu model kurgulanırken çalışma alanımızda faaliyet gösteren Devegeçidi istasyonundan elde edilen Meteorolojik gözlem istasyonu verileri kullanılmıştır. Radyasyon dataları dışında kalan tüm veriler Devegeçidinde bulunan gözlem istasyonundan alınmıştır. Ancak radyasyon datalarında günlük ve saatlik ortalamalar Diyarbakır merkez gözlem istasyonundan alınan veriler ile desteklenmiştir.

SEBAL tekniği; uzaktan algılama yöntemi ile elde edilen uydu görüntüleri, SYM, toprağın neme bağlı özellikleri, yirmi dört saatin ortalama hava sıcaklığı, güneşten gelen radyasyon, rüzgâr hızı, bağıl nem ve iklime bağlı datalar kullanılarak yüzeyin enerji dengesinden terleme parametreleri ve buharlaşma tahminleri yapılabilmektedir. Bu yöntem birden fazla görüntü ile çalışabilme özelliğine sahiptir. Landsat, Medium Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) ve PROBA-Vegetation and Visible Infrared Imaging Radiometer Package (VIIRS) uydularından alınan veriler, SEBAL modeli ile görüntü işlemede kullanılabilir. Yer seviyesinde ET'nin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi için yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri gereklidir (Sawadago, 2021).

Model ile enerji durumu, radyasyon, toprak nemi, ET, biyokütle ve bitki örtüsü ile ilgili verilerine ulaşılmaktadır. Çalışma içerisinde Python ile SEBAL modeli yirmi dört saatlik SAVI, NDVI, Sıcak ve soğuk pikseller elde edilmiştir.

Ayrıca SEBAL modeli kullanılarak elde edilen yirmi dört saatlik veriler, yeterli sayıda uydu görüntüsü kullanılarak gerçek mevsimsel ve aylık ET tahmin etmek için kullanılabilmektedir.

Birbirini takip eden uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen kc değerleri arasında lineer enterpolasyon yapılır. Mevsimsel ETA değerlerini elde etmek için enterpolasyonla kc değerleri, aşağıdaki formüle göre her gün için ETo değeri ile çarpılır.

$$ET_a(\text{mevsim}) = \sum_{i=m}^{n} [(k_{ci})(ET_{024i})] \quad (3.12.)$$

Denklem (3.12.)'de ETa (mevsim), milimetre cinsinden m değerinden n değerine kadar olan süre boyunca ETa'nın toplamıdır. 24 saat üzerinden milimetre cinsinden referans ET değeri ve kci, kc'nin i gün cinsinden değeridir.

3.7.Sebal Modeli Uygulama Adımları

Bu çalışma içerisinde SEBAL için Sao Paulo Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü tarafından geliştirilen ve SEBAL_GRASS adresinden ücretsiz olarak indirilebilen Python modülü kullanıldı (Wolff, 2019).

Bitki su tüketimini belirlemek için kullanılan SEBAL modeli, açık kaynak kodlu QGIS yazılımının bir eklentisi olan GrassGIS eklentisi kullanılmıştır. Modeli çalıştırmak için Python programlama dili kullanılmıştır.

Python SEBAL modelinin üç ana girdi grubu mevcuttur. Bu gruplar;

1. Genel Giriş Sayfası: Sistemde mevcutta bulunan uydu verilerine ait dosya yolları ile işlendiği sayfa ve çıktı alanlarının gösterildiği sayfadır.

2. Çalışma bölgesine ait Sıcaklık, rüzgâr, nem, radyasyon değerlerinin girişinin yapıldığı sayfadır.

3. Çalışma bölgesine ait kullanılan bantların sisteme girildiği sayfadır.

Bu sistemde, kullanıcıların detaylı arama yapılabilmesi adına kullanıcı ayarlarının yer aldığı manuel olarak ekleme yapılabilen ek bir giriş sayfasına sahiptir.

```
u_2m = float(input(' Meteoroloji istasyonunda ölçülen 2 m'lik yükseklik için rüzgar hızı değerini girin - (m/s):
'))
EToi = float(input(' Uydu üst geçidinin süresi için meteoroloji istasyonundan anlık referans
evapotranspirasyon (EToi) değerini yerleştirin - (mm): '))
ETo = float(input(' Meteoroloji istasyonundan günlük referans evapotranspirasyon (ETo) değerini girin -
(mm): '))
```

Şekil 3.16. Girdilerin Python kodunda yazılması

Geliştirilen Python modülüne yönelik veri setleri Landsat-8 C1-L1 uydusuna aittir. Ayrıca sayısal yükseklik modeli verileri proje dosyasında konumlandırılmıştır. İklim verileri için meteoroloji istasyonundan alınan değerler geliştirilen python modülüne eklenmiştir.

Dicle havzasında yaptığımız çalışmaya ait veri setleri modele uygun hale getirildikten sonra GrassGIS uygulaması üzerinden işleme tabi tutulmuştur. İki farklı yazılım arasında uyum gözetilmiştir. Veri setine ait konum ve projeksiyon bilgileri QGIS uygulamasında yapılmış daha sonra işlemler GrassGIS'te gerçekleştirilmiştir. Python SEBAL modeli ile elde edilen ETo haritaları için histogram grafikleri incelenmiş, piksel tabanlı sorgular kullanılarak doğruluğu incelenmiş ve Cropwat programı ve TAGEM SUET ile karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma boyunca QGIS yazılımı kullanılarak haritalama işlemleri ve değer okumaları yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1.CropWat Programından Elde Edilen Bulgular

CropWat programı kendi içerisinde Penman-Monteith yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem doğrultusunda Devegeçidin'de bulunan meteorolojik gözlem istasyonunda 38 ° kuzey enlemi ve 40° doğu boylamı değerinde aylık ETo hesaplanmıştır. (Çizelge 4.1.).

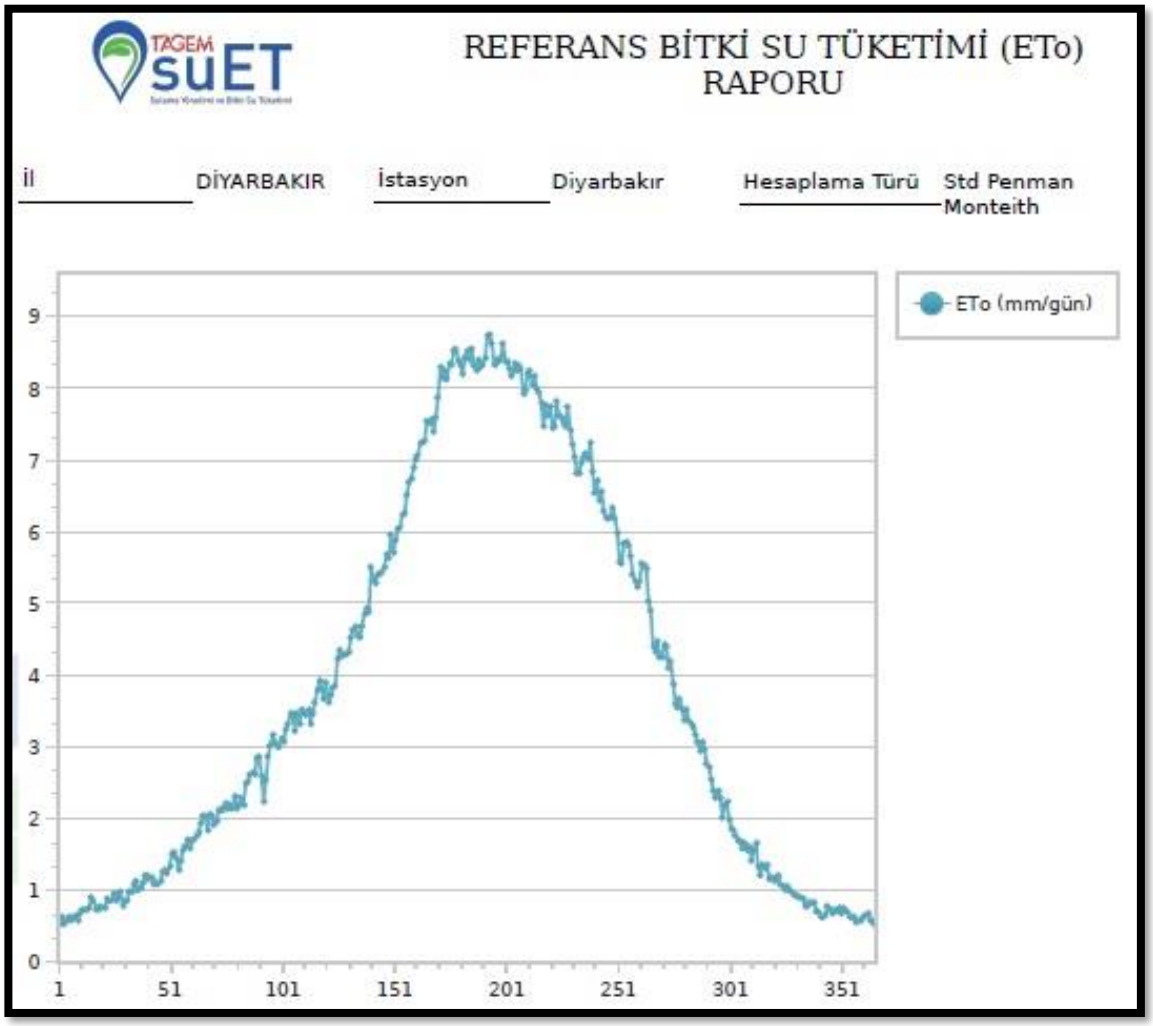
Çizelge 4.1. Devegeçidi meteorolojik gözlem istasyonu ETo değerleri

Ay-Parametre	Min. Sıcaklık °C	Max. Sıcaklık °C	Nem Oranı (%)	Rüzgâr Hızı km/gün	Güneş Saatleri	Radyasyon Değerleri MJ/m²/gün	Eto mm/gün
Ocak	0	8	82	216	1.9	5.7	0.89
Mart	5	14	77	185	3.2	11	1.75
Mayıs	11	28	60	135	6.8	19.6	4.16
Temmuz	20	38	28	190	10.6	25.2	7.54
Eylül	17	35	30	154	7.7	17.3	5.38
Kasım	2	19	59	254	3.6	7.6	2.56

4.2.Tagem Suet Bulguları

TAGEM, DSİ, MGM, Ankara Üniversitesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Dicle Üniversitesi ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi'nin katkılarıyla 3 yıl süren yoğun çalışmaların ardından "Türkiye'de Sulanan Tesisler İçin Su Tüketim Rehberi" tamamlanmış ve 2017 yılında TAGEM tarafından yayınlanmıştır. Bahsi geçen kılavuz, Ülkemiz genelinde kurulu ve MGM'ye ait 259 meteoroloji istasyonundan alınan 30

günlük meteorolojik verilere dayanan ETo, ETc ve bitki katsayısı (Kc) ile ilgili değerleri kapsamaktadır.



Şekil 4.1. Referans Bitki Su Tüketimi (Eto) Raporu

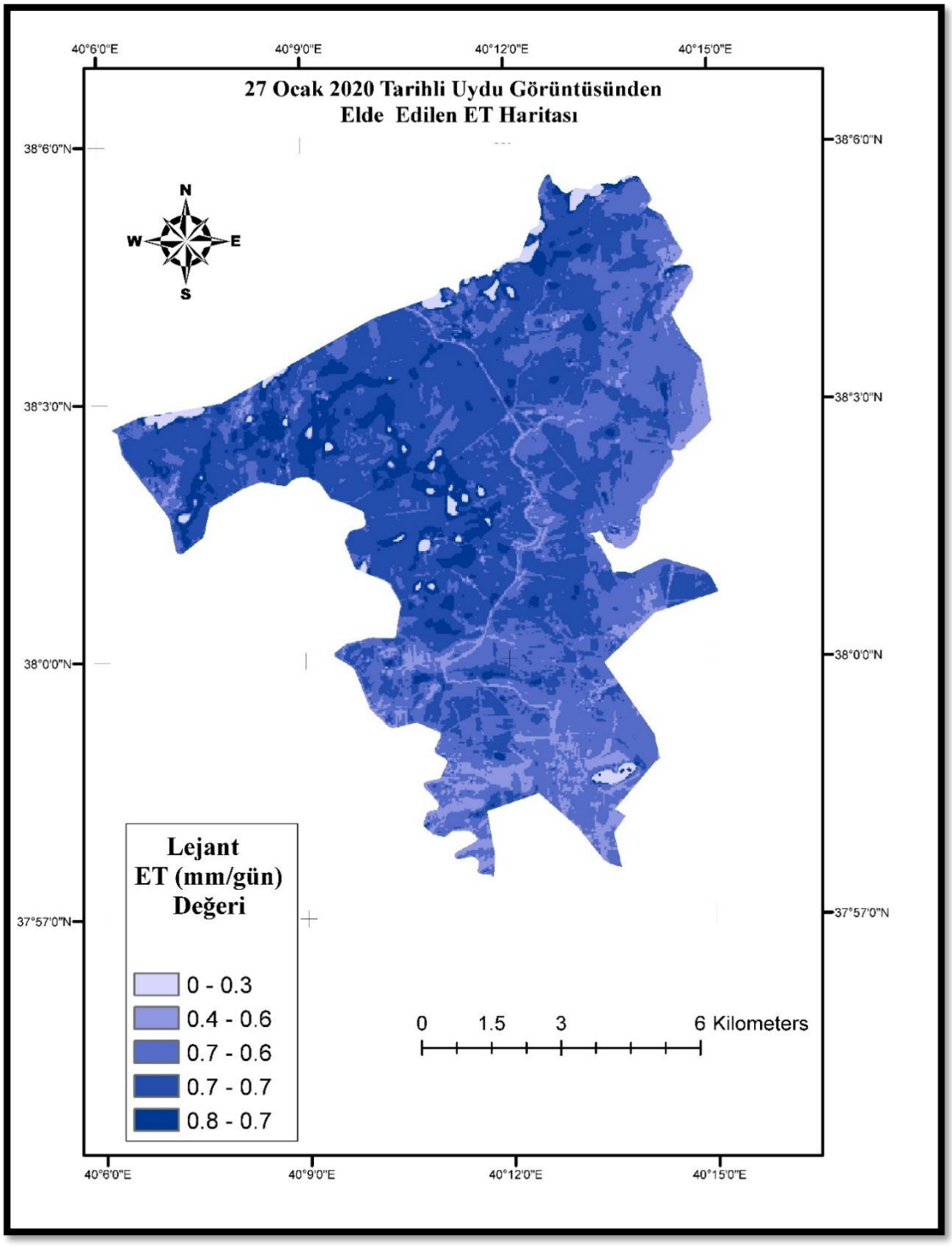
4.3.Sebal Modeli Bulguları

SEBAL modelinin çalışması için ihtiyaç olan meteorolojik veriler, faaliyet gösteren Kayapınar/Devegeçidi istasyonundan elde edilmiştir.

İklim verilerinden elde edilecek ETo değerleri Cropwat yazılımı (FAO Penman Technique) marifetiyle yapılmıştır. Model, buharlaşma etkisinin gözlemlenmesi ve öngörülebilmesi için ilgili parametreleri tahmin etmektedir.

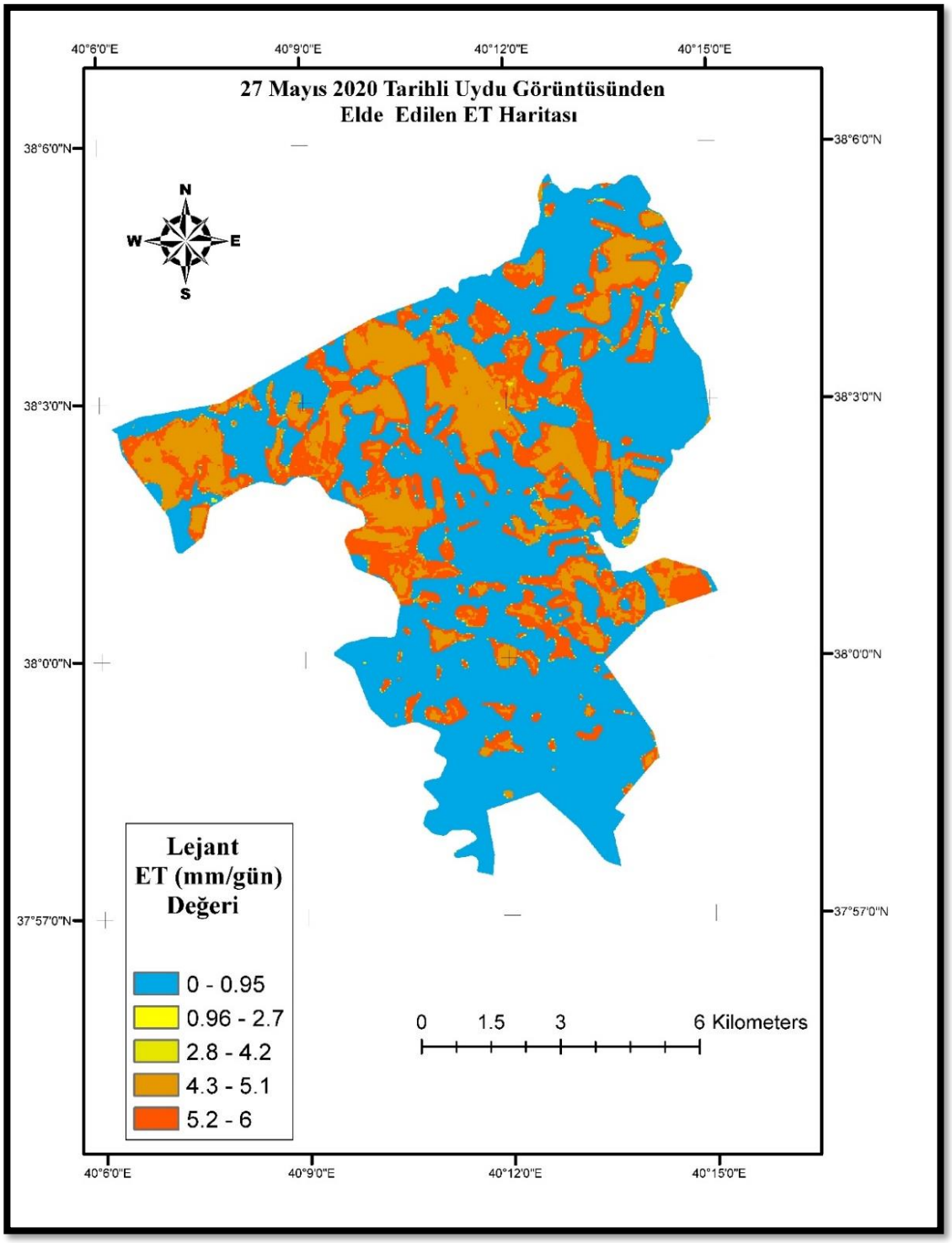
SEBAL Modeli Bulgularında birden fazla tür ve sayıda veri setini aynı anda işleyebilir. Çıktılar .ovr uzantılı olup GrassGIS programında istenilen formatta alınabilir. Çıkış verisi olarak ETo, NVDI (Normalized Different Vegetation Index), SAVI (Ground Adjusted Vegetation Index), RGB, PHOT, PCOLD olarak piksel bazlı seçim yapılabilir ve değerler raporlanır. 21 Temmuz 2020 tarihinde uydu görüntüsünün çekildiği günde ki hesaplamada CropWat programı temmuz ayı için ETo 7.54 mm/gün olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1.). SEBAL modeli ile elde edilen değerler ortalama alındığı zaman 8.25 mm/gün arasındadır. (Şekil 9)

4.3.1. 27 ocak 2020 tarihi için et değerleri



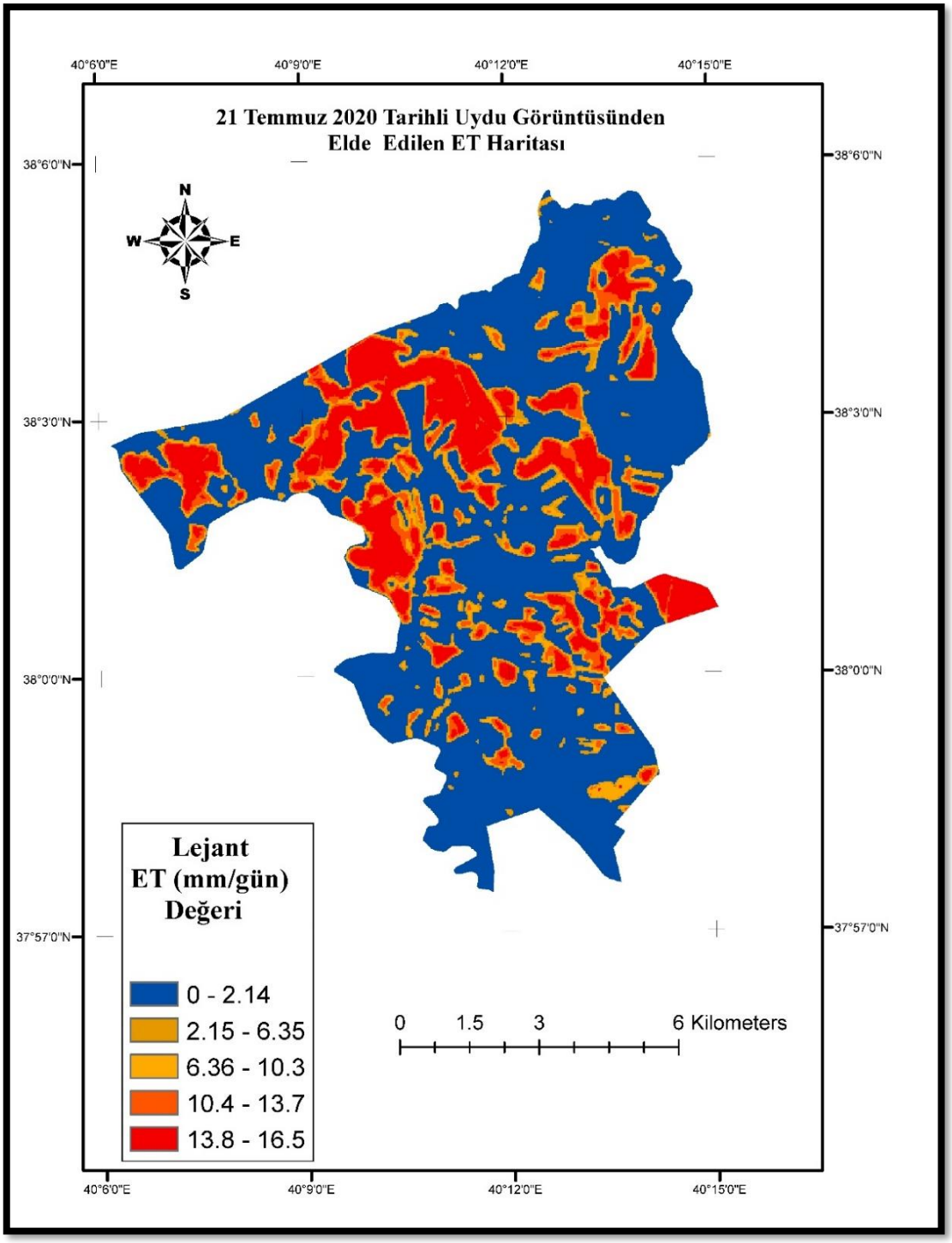
Şekil 4.2. Dicle Havzasının 2020 yılına ait 27 Ocak ET haritası

4.3.2. 27 nisan 2020 tarihi için et değerleri



Şekil 4.3. Dicle Havzasının 2020 yılına ait 10 Mayıs ET haritası

4.3.3. 21 temmuz 2020 tarihi için et değerleri



Şekil 4.4. Dicle Havzasının 2020 yılına ait 27 Temmuz ET haritası

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ülkemizde tarıma dayalı üretimde buharlaşma-terleme hatıra sahip bir öneme sahiptir. Arazinin ne zaman ve ne miktarda sulanacağı üretimde sulama zamanı planlamasında en ayırt edici girdi olarak kabul edilir. İklime dayalı veri kümeleri kullanılarak hesaplama yapmak net sonuçlarla karşılaştırıldığında bazı varsayımlar içerir ve mekânsal farklılıklar göz ardı edilir. Öte yandan, arazide numune alınarak yapılan ET hesaplamaları, zaman ve masraf gerektirmesine rağmen numune miktarı belli bir limit içinde kaldığı için bazı varsayımlar içermektedir. Ancak bu çalışmada yapılanların bir örneği olan SEBAL yöntemleri ile maliyetsiz bir hesaplamanın yanında daha hassas ve doğru bir hesaplama birkaç operasyonel süreçle kısa sürede gerçekleştirilmiştir. Uzaktan algılamanın tarımsal faaliyetlerde öngörülebilir çalışmalar ortaya koyabilmesi önemsenmelidir.

Tarımsal üretim ve su politikalarının sürdürebilmesi, tarım yapılacak alanlarda yetiştirilen ürünlerin yaşam faaliyetlerini sağlayabilmeleri ve gelişimleri doğal yağışlarla karşılanamamaktadır. Karşılanamayan su ihtiyacı kısıtlı bulunan su kaynaklarımızın sulama da daha verimli bir şekilde kullanmaya yöneltmektedir. Sulu/Susuz tarım yapılan bölgelerin belirlenmesi, yetiştirilen ürünlerin suya gereksinimleri, vahşi sulamanın önüne geçilebilmesi adına uzaktan algılama ve görüntü işleme tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Hassaslığı ve doğruluğu belirlenmiş model yapıları tercih edilmelidir. SEBAL modeli birçok çalışmada yüksek hassasiyetle sonuçlar sağlamıştır.

Uydu sistemlerinin sürekli geliştirilmesi ve uzaktan algılama disiplinin kullanım alanının artması sayesinde kısa zamanda daha hassas sonuçlar vermesini kolaylaştırmaktadır.

Geliştirilen SEBAL modeli Python kodlamasına dayanmaktadır. Kodlamanın mantığı Landsat 8 uydu görüntüsü meta verisine göre yazılmıştır. Meta veride bulunan

verilerin kullanılması ve formüller yardımıyla SEBAL, NDVI, SAVI gibi modellerinin üretilmesi sağlanmıştır. Ancak bu kodlama sadece uydu görüntüsünün meta verisine göre yazıldığından dolayı her meta verinin de farklılıkları olmasından kaynaklı geliştirilen Python kodunun farklı uydu görüntülerine göre değişimi gerektirmektedir.

Meteorolojik istasyonlarının konumları incelediğinde çalışma alanı olan Dicle havzasına en yakın olan istasyon sekiz kilometre uzaklığında olduğu görülmüştür. Çalışma doğruluğu olarak havza yanında bulunan dicle nehrinin buharlaşma-terleme oranlarının daha yüksek olduğu ve sulu tarla olarak tapu kadastroda geçen tarlaların buharlaşma-terleme miktarlarının daha yüksek geldiği görülmüştür buda çalışmanın doğruluğunu artırmaktadır.

SEBAL modelinde yapılan hesaplamalarda 21 Temmuz 2020 değerine bakıldığında en düşük ve en yüksek değerlerinin ortalaması alındığında ETo değeri 8.3 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Meteoroloji istasyonlarından alınan verilerde buharlaşma-terleme miktarları verilmemiş bundan dolayı Cropwat programına bu değerler girilerek hesaplama yapılmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda temmuz ayı ortalama 7.54 mm/gün olarak hesaplamıştır. SUET programının raporunda ise ayların gün gün buharlaşma-terleme değerlerine yer verilmiş ve 21 Temmuz'da olan ETo değeri 8.27 mm/day olarak verilmiştir. Ocak ve mayıs ayında ki değerler ile incelediğinde çalışmanın %95 doğruluklarda olduğu anlaşılmıştır.

İçinde bulunduğumuz yüzyılda suyu yönetmek kullanım alanlarını daha tasarruflu hale getirebilecek uygulamalara yönelmek için önemsenmesi gereken tarımsal faaliyetler açısından öncelikli değerlerler arasında evapotranspirasyon bulunmaktadır. Bugüne kadar ülkemiz ve dünyada araştırılan projelerde tek noktayı kapsayan veri olarak ölçülen bu değerler uzaktan algılama yöntemleri aracılığıyla tamamen mekânsal tematik harita olarak hesaplanabilir. SEBAL, gerçek evapotranspirasyonu hesaplamak için kullanılması uygun görülen metotlardan biridir. Bu çalışmada Diyarbakır'ın önemli tarım alanında SEBAL tekniği kullanılarak gerçek evapotranspirasyon haritalaması yapılmıştır. Böylelikle bahsi

geçen yöntemin Landsat 8 uydusu ile Diyarbakır sınırları içerisinde uygulanabilirliği incelenmiş ve ortaya konmuştur. Elde edilen ETo alan haritası, havza bazında su yönetimi çalışmalarında kullanılabilir. Bu haritalar haftalık, iki haftalık, aylık veya üçer aylık olarak hazırlanıp karar vericilere sunulabilir.

KAYNAKLAR

ALLEN, R.G., SMİTH, M., PERKİER, A. ve PEREİRA L. S., 1994. An Update forthe Definition Of Reference Evapotranspiration. ICID Bull, 43 (2): 1-40.

ANDERSON, M.C., NORMAN, J.M., DİAK, G.R., KUSTAS, W.P. ve MECİKALSKİ, J.R., 1997. Two-source time integrated model for estimating surface fluxes using thermal infrared remote sensing. Remote Sens. Environ, 60: 195-216.

ASCE-EWRI., 2004. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee report to the Environmental and Water Resources Institute, 40: 2-55.

ATASEVER, Ü.H., 2016. Uzaktan Algılama Teknolojileri Kullanarak Evapotranspirasyonun Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, s.25-68.

ATÇI, E.B., 2019. Dünya Genelinde Su Kaynaklarının Durumu. Artemis Arıtım Blog Sayfası, s.1-3.

BASTİAANSSEN, W.G.M., MENENTİ, M., FEDDES, R.A. ve HOLTSLAG, A.A.M., 1998. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). Journal of Hydrology, 15: 212-213.

BURMAN, R. ve L.O. POCHOP., 1994. Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data. Elsevier Science, 22: 250-260.

CHAVEZ, J. L., NEALE, C. M. U., PRUEGER, J. H., ve KUSTAS, W. P., 2008. Daily evapotranspiration estimates from extrapolating instantaneous airborne remote sensing ET values. Irrigation Science, 27 (1): 67-81.

COURAULT, D., SEGUİN, B., ve OLİOSO., 2003. Review to estimate evapotranspiration from remote sensing data: some examples from the simplified relationship to the use of mesoscale atmospheric models. In ICID workshop on remote sensing of ET for large regions, Montpellier, France, Sept.

ÇETİN, Ö., KÖKSAL, E.S., YILDIRIM, Y.E. ve ÖZAYDIN, K.A., 2014. Türkiye'de Su Tüketim Rehberi Çalışmaları Kapsamında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Katsayılarının Elde Edilmesi. 12. Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2014, Tekirdağ.

FOOD AND AGRİCULTURE ORGANİZATİON OF THE UNİTED NATİONS (n.d.). *Land & water*. United Nations. Retrieved November 05, 2022 from https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/

GİESKE, A., 2001. Short energy balance algorithm – NOAA AVHRR. Version of December 2001, 15: 53-79.

HANSON, R.L., 1991. Evapotranspiration and droughts. Chase EB, 89: 248-425.

HARİTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ (n.d.). *Türkiye fiziki haritası*. Milli Savunma Bakanlığı. Retrieved November 05, 2022 from https://www.harita.gov.tr/urunler/indirilebilir-urunler/14

HUXMAN, T., WİLCOX, B., BRESHEARS, D., SCOTT, R., SNYDER, K., SMALL, E., HULTİNE, K., POCKMAN, W. ve JACKSON, R., 2005. Ecohydrological implications of woody plant encroachment. Ecology, s.1-12.

İLHAN, A.İ. ve UTKU, M., 1998. GAP Sulama Alanında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Su Gereksinimi, Tarım Orman Meteorolojisi Sempozyumu (1998). İTÜ, İstanbul.

JACKSON, R.D., REGİNATO, R.J., ve IDSO, S.B., 1977. Wheat canopy temperature. A practical tool for evaluating water requirements, 13: 651-656.

KOÇ, T. ve GÜNER, Ü., 2005. Mevcut Sulama Projelerinin Fao Kriterleriyle Yeniden Değerlendirilmesi: Tavas Ovasi Örneği, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 9, s. 93-106 Kütahya.

KUSTAS, W.P. ve NORMAN, J.M., 1999. Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for a partial canopy cover. Agric. For. Meteorol., 94: 13-29.

ROBERTS, R. S. ve MOODY, D.W., 1989. Compilers, National Water Summary hydrologic events and floods and droughts. U.S. Geological Survey Water-Supply, 89: 155-365.

SAWADOGO, A., 2021. Sulama Yönetimini Geliştirmek İçin Uzaktan Algılama Yöntemiyle Sulama Projelerinin Performansının Değerlendirilmesi, Kou Vadisi Örneği. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Bursa, s.2-50.

SCHRÖDTER, H., 1985. Verdunstung, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

SEGUİN, B., ve COURAULT, D., 1994. Application of local scale methods to regional scales using satellite data. Remote Sensing of Environment, 49: 287-295.

SHUTTLEWORTH W.J., 1976. Experimental evidence for the failure of the Penman Monteith equation in partially wet conditions. Boundry-Layer Meteorol, 10: 91-94.

TAGEM., 2021. Sulama Yönetimi ve Bitki Su Tüketimi Hesaplama Sistemi (SUET) Üye Kullanıcı Kılavuzu.

TÜRK TARIM ORMAN DERGİSİ., 2019. Tarım ve Orman Bakanlığı Türk Tarım Orman Dergisi. Kaynaktan Kullanıcıya, 2019, Haber Bülteni, Sayı: 223.

USGS., 2019. LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0

WOLF, W. (2019, 05, 22). *Sebal_grass.* Github. https://github.com/wwolff7/SEBAL_GRASS

WWAP., 2013. The United Nations World Water Development Report 2013. United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

ZHAO-LİANG, L., RONGLİN, T., ZHENGMİNG, W., YUYUN, B., CHENGHU, Z., BOHUİ, T., GUANGJİAN, Y. ve XİAOYU Z., 2009. A Review of Current Methodologies for Regional Evapotranspiration Estimation from Remotely Sensed Data, Sensors.

EKLER

EK1 27 Ocak 2020 NDVI Haritası

EK2 27 Ocak 2020 SAVI Haritası

EK3 27 Ocak 2020 PHOT Haritası

EK4 27 Ocak 2020 PCOLD Haritası

EK5 27 Mayıs 2020 NDVI Haritası

EK6 27 Mayıs 2020 SAVI Haritası

EK7 27 Mayıs 2020 PHOT Haritası

EK8 27 Mayıs 2020 PCOLD Haritası

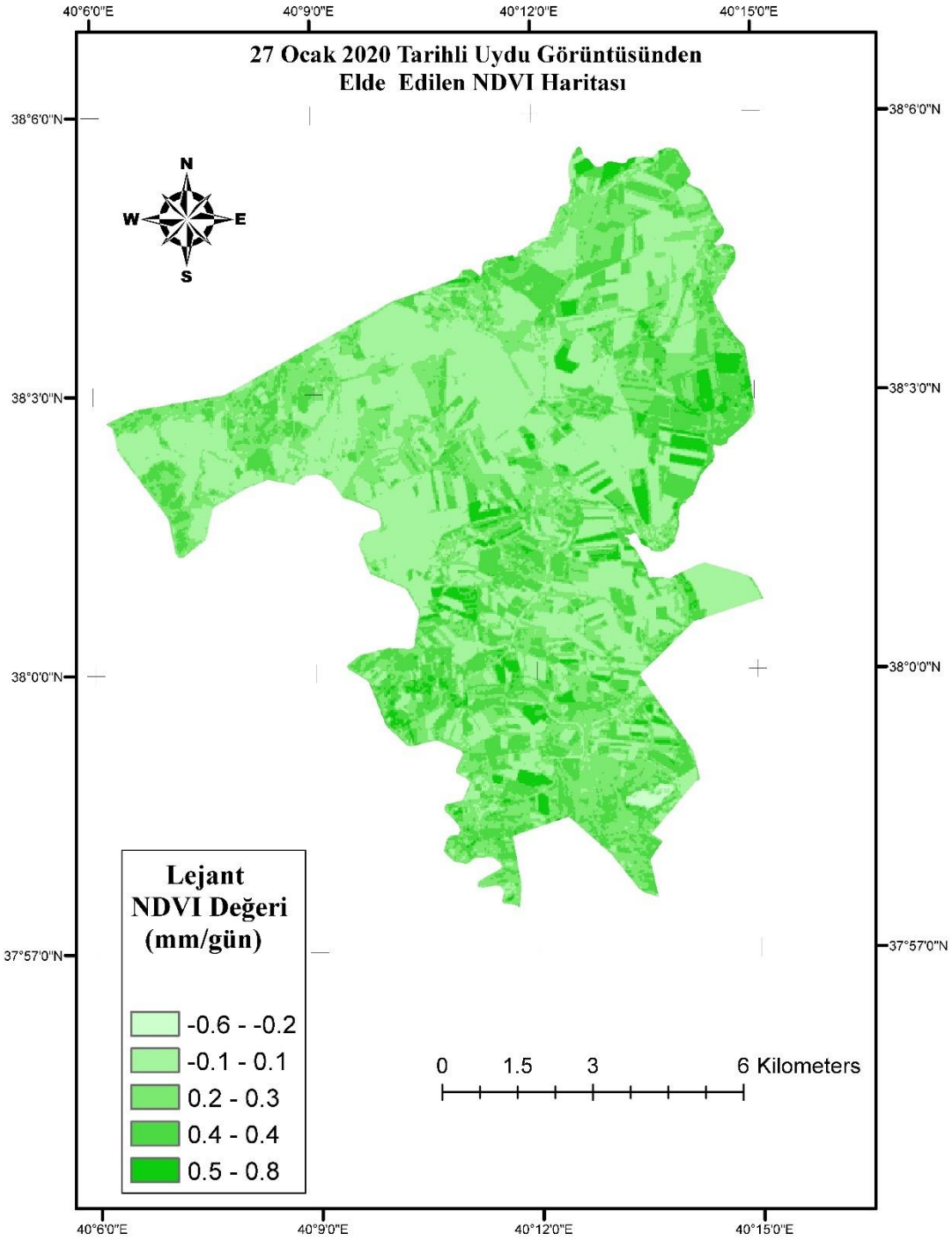
EK9 21 Temmuz 2020 NDVI Haritası

EK10 21 Temmuz 2020 SAVI Haritası

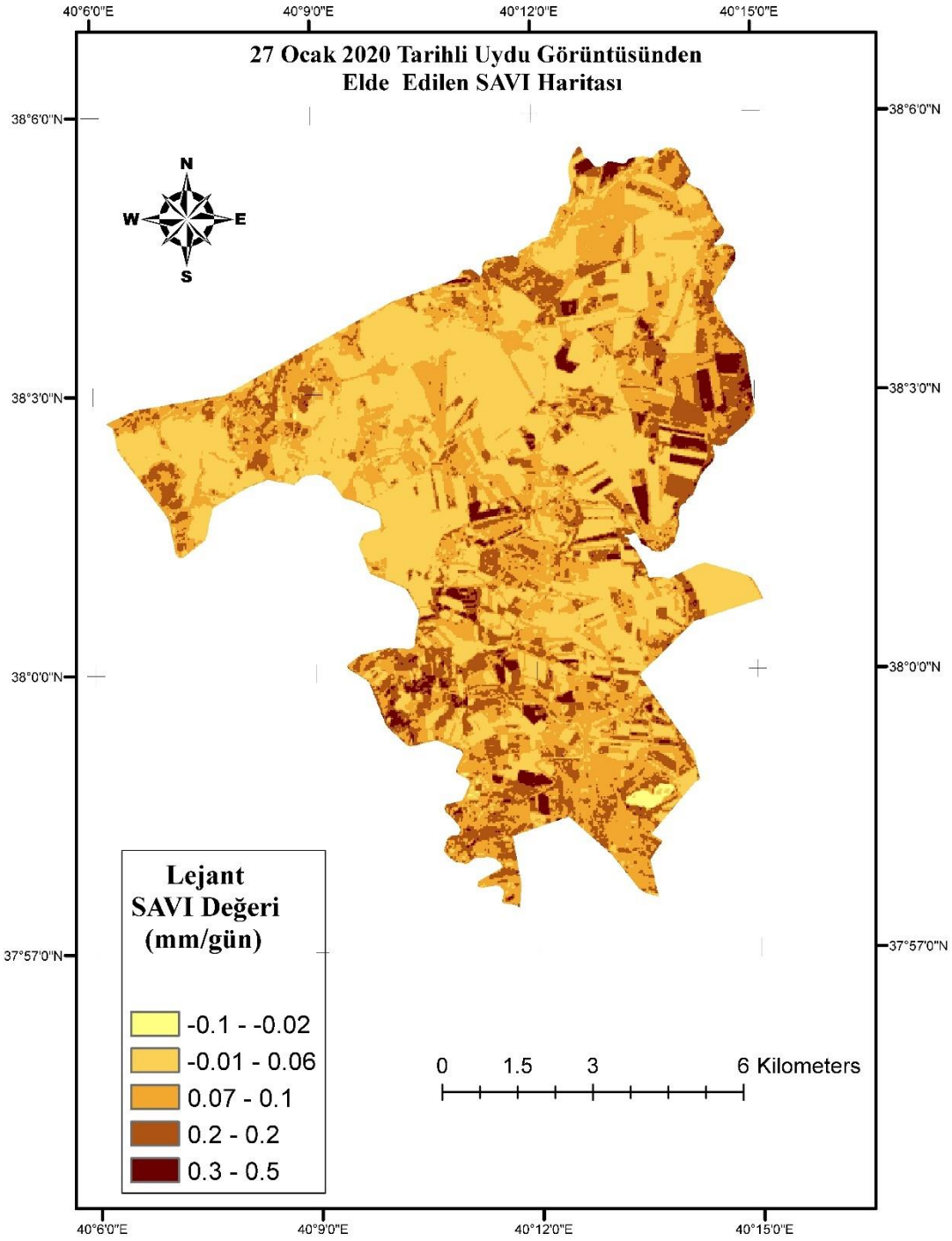
EK11 21 Temmuz 2020 PHOT Haritası

EK12 21 Temmuz 2020 PCOLD Haritası

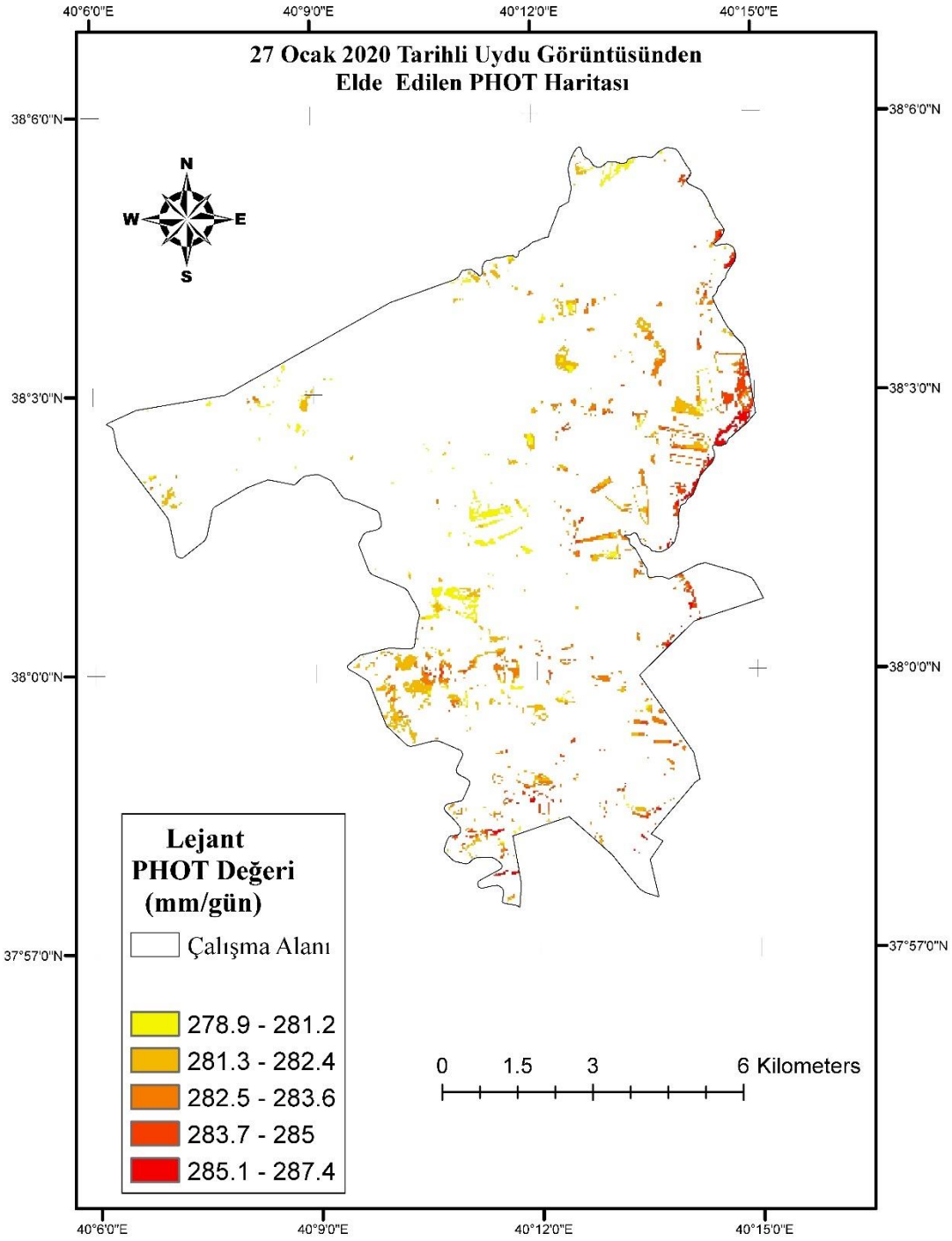
EK1 27 Ocak 2020 NDVI Haritası



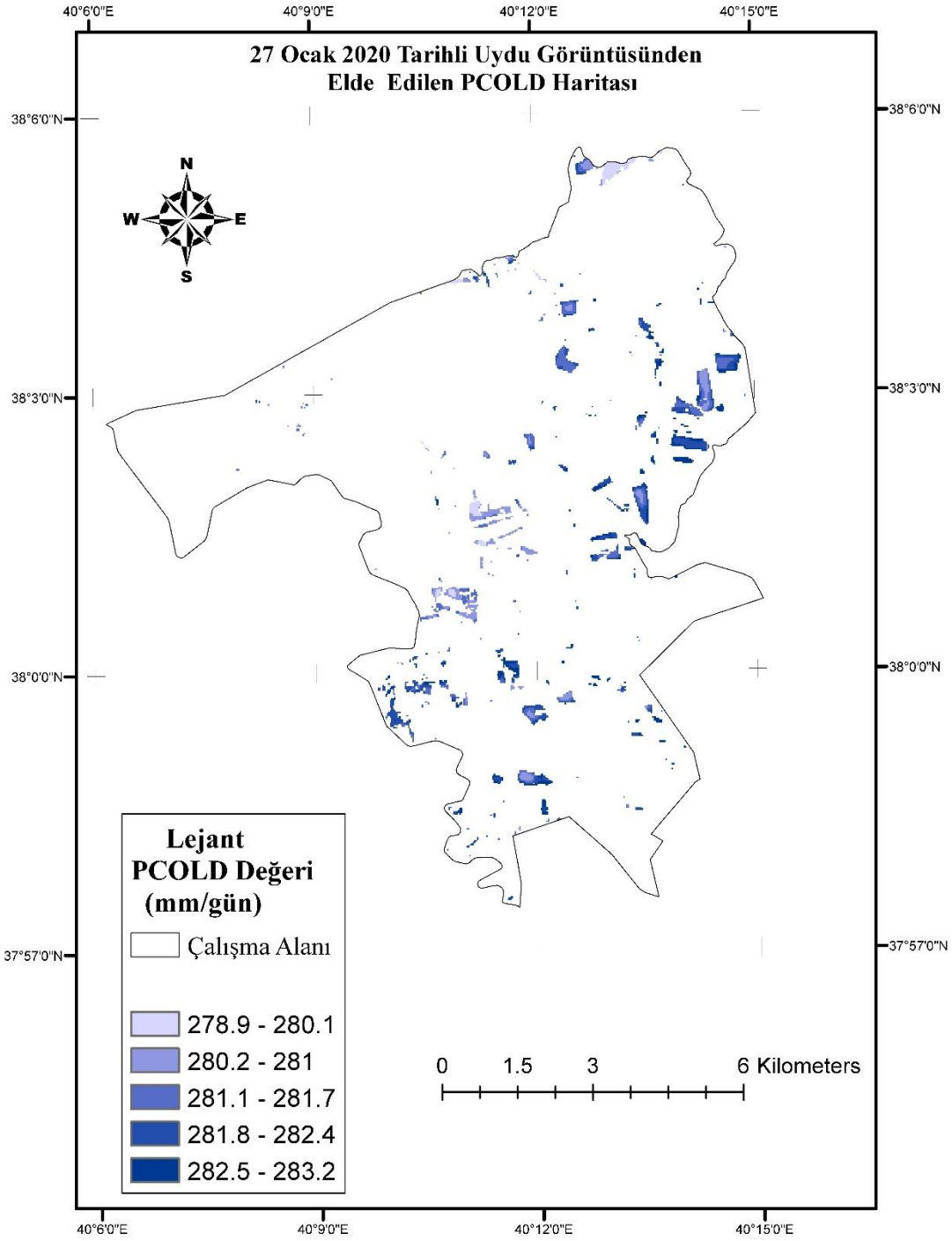
EK2 27 Ocak 2020 SAVI Haritası



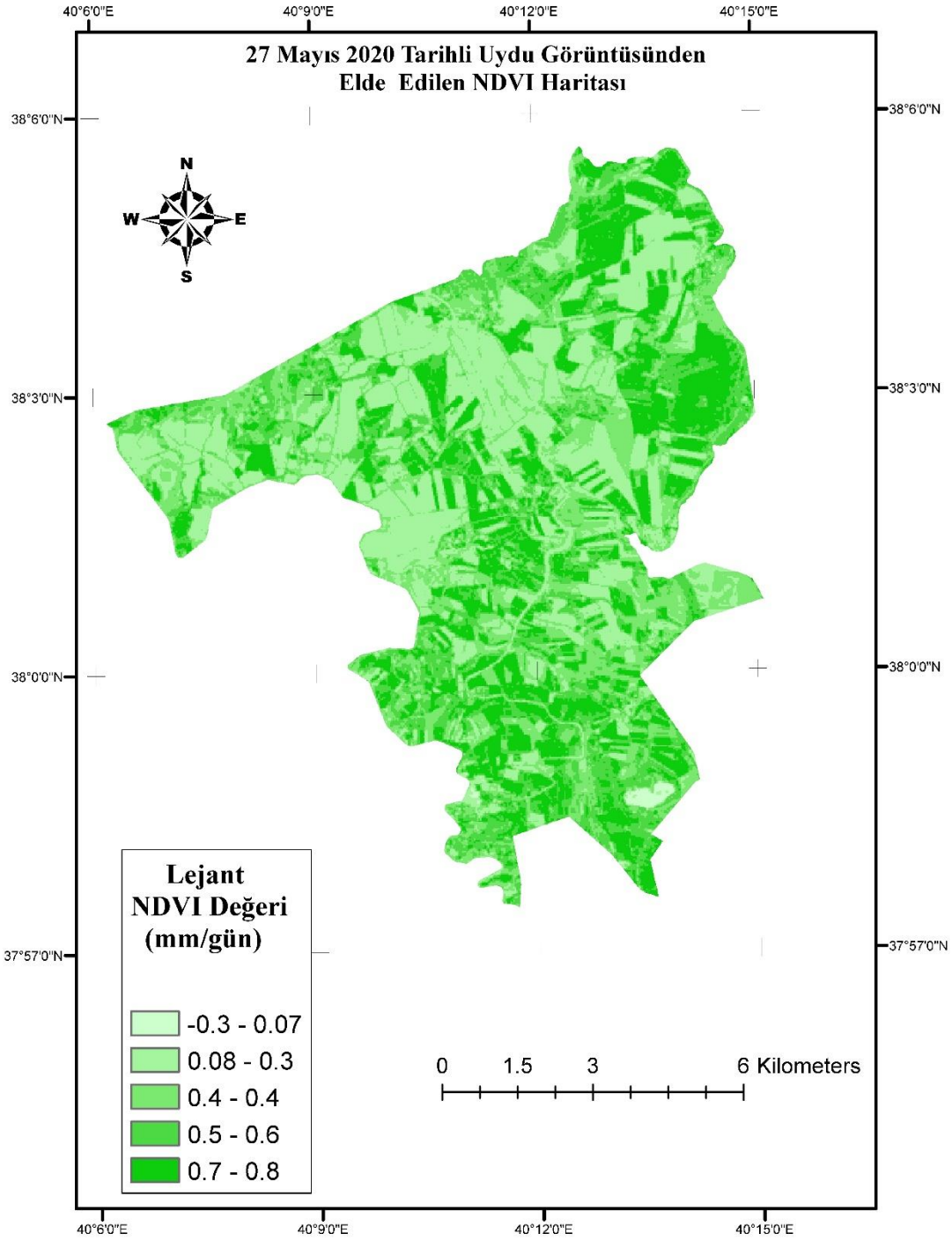
EK3 27 Ocak 2020 PHOT Haritası



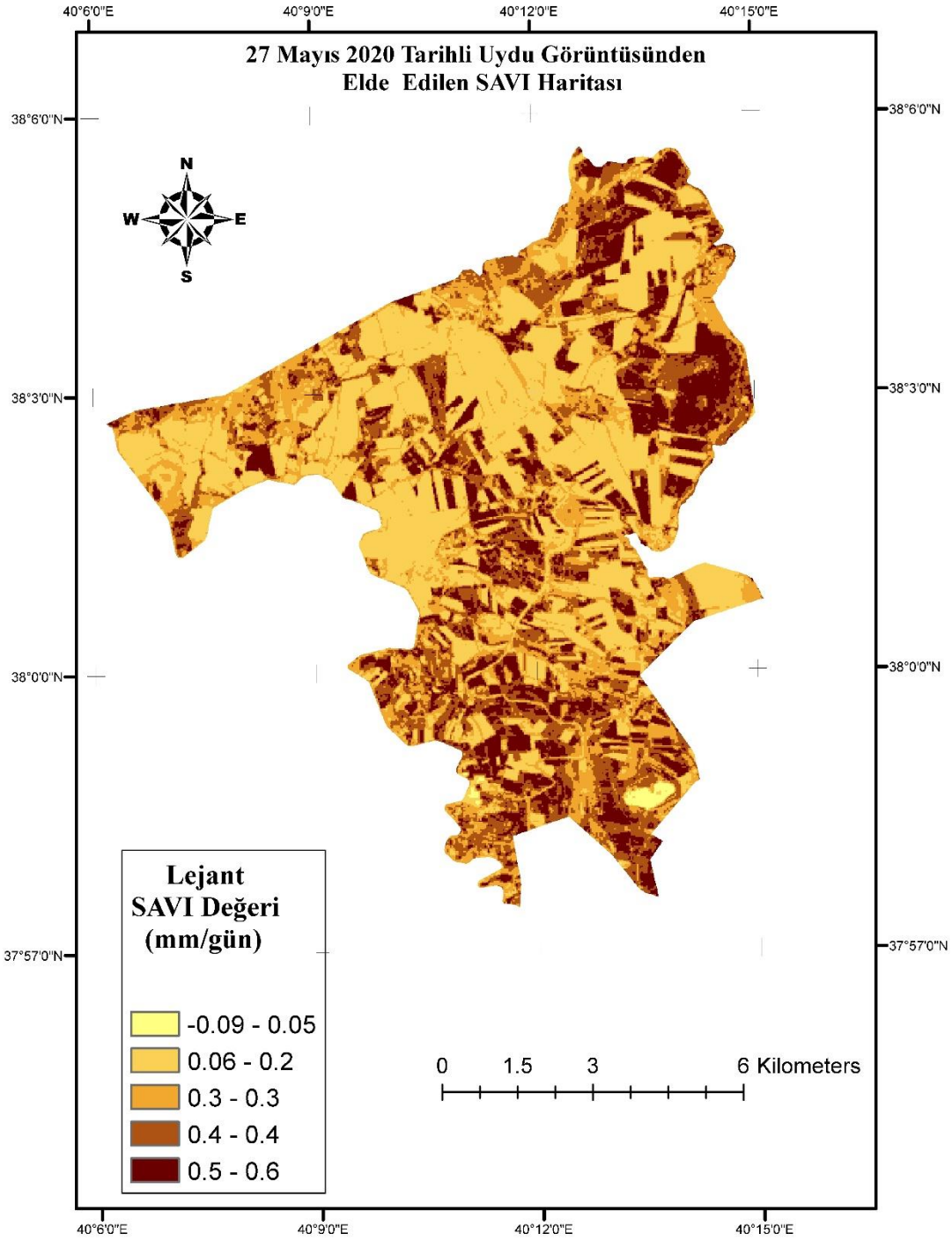
EK4 27 Ocak 2020 PCOLD Haritası



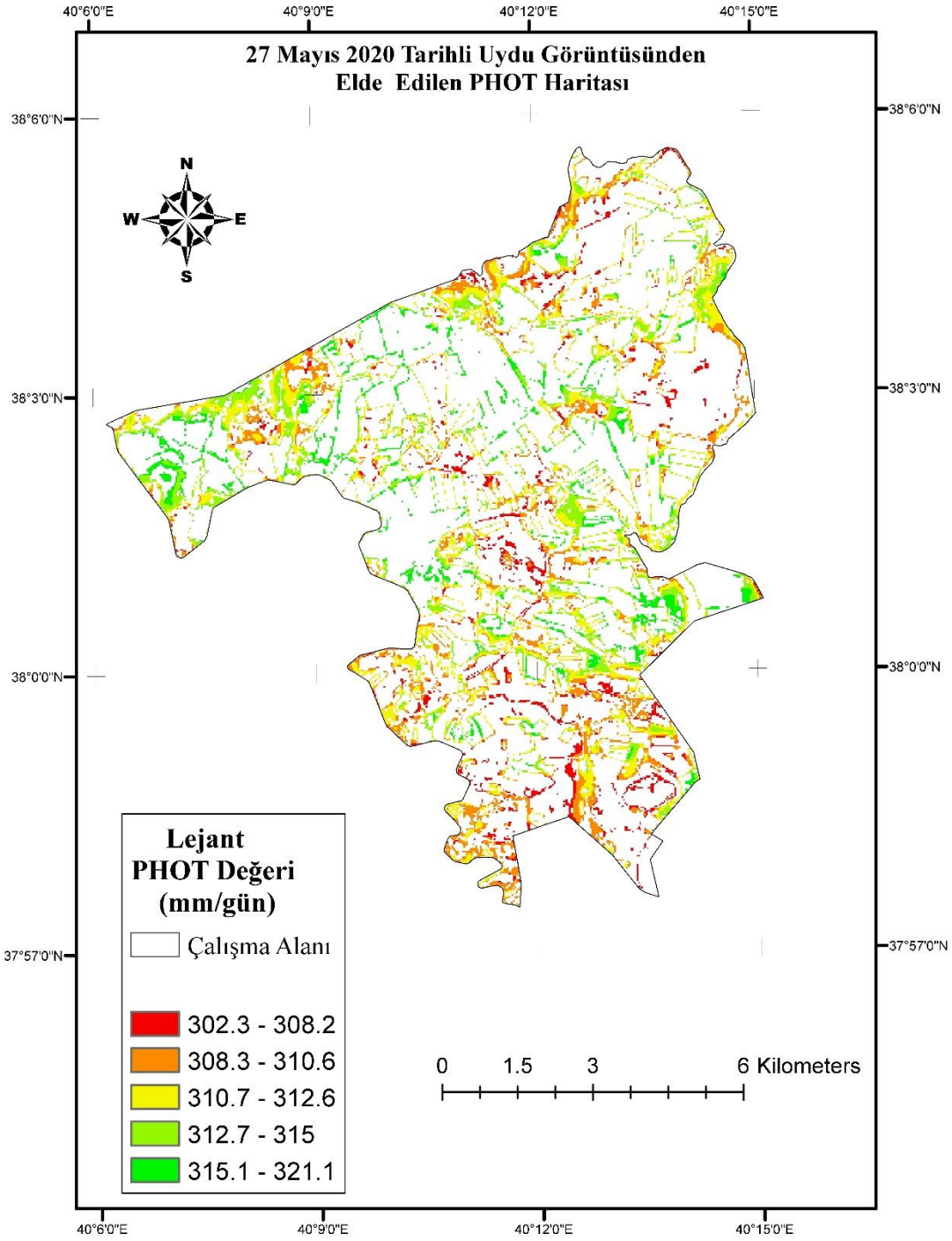
EK5 27 Mayıs 2020 NDVI Haritası



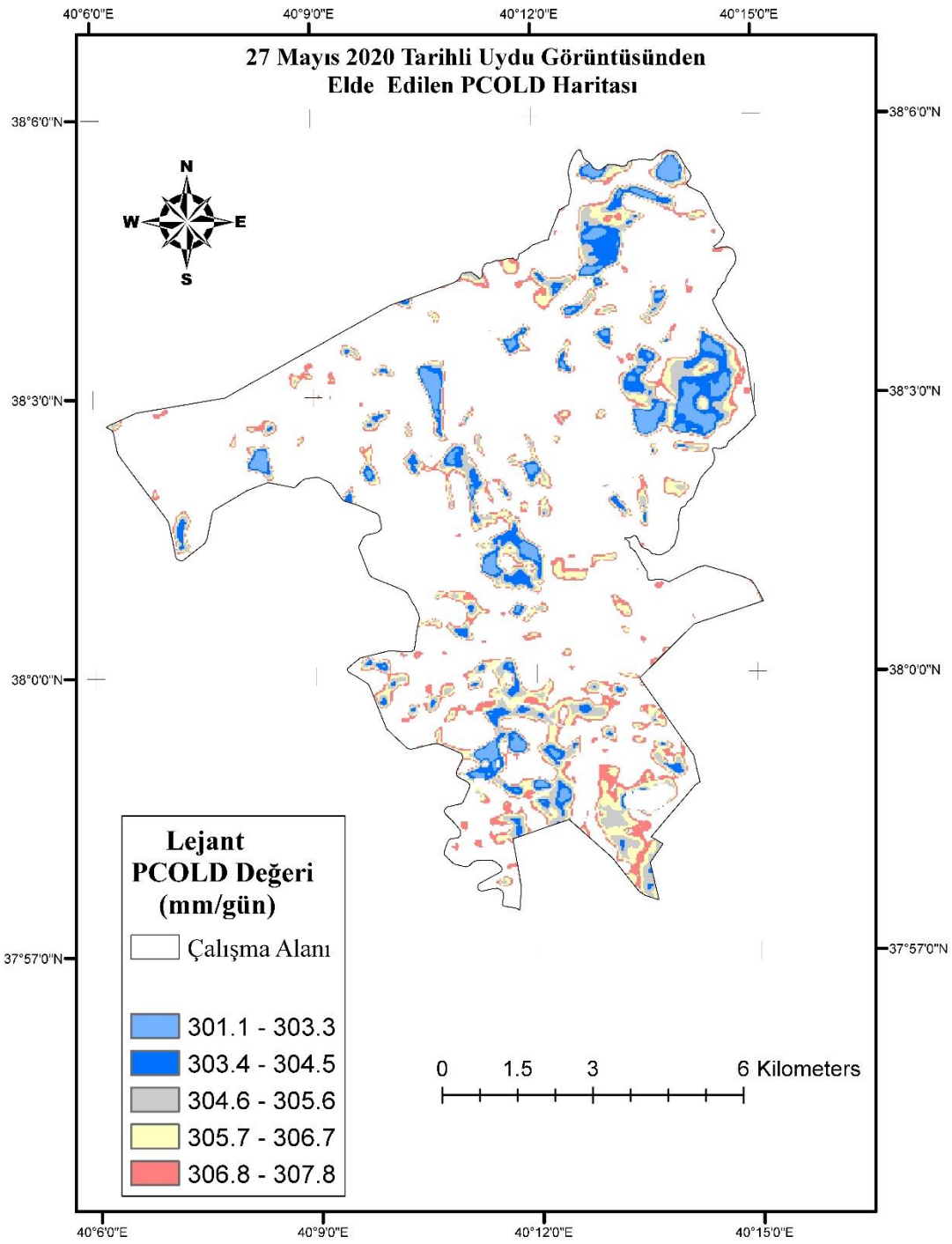
EK6 27 Mayıs 2020 SAVI Haritası



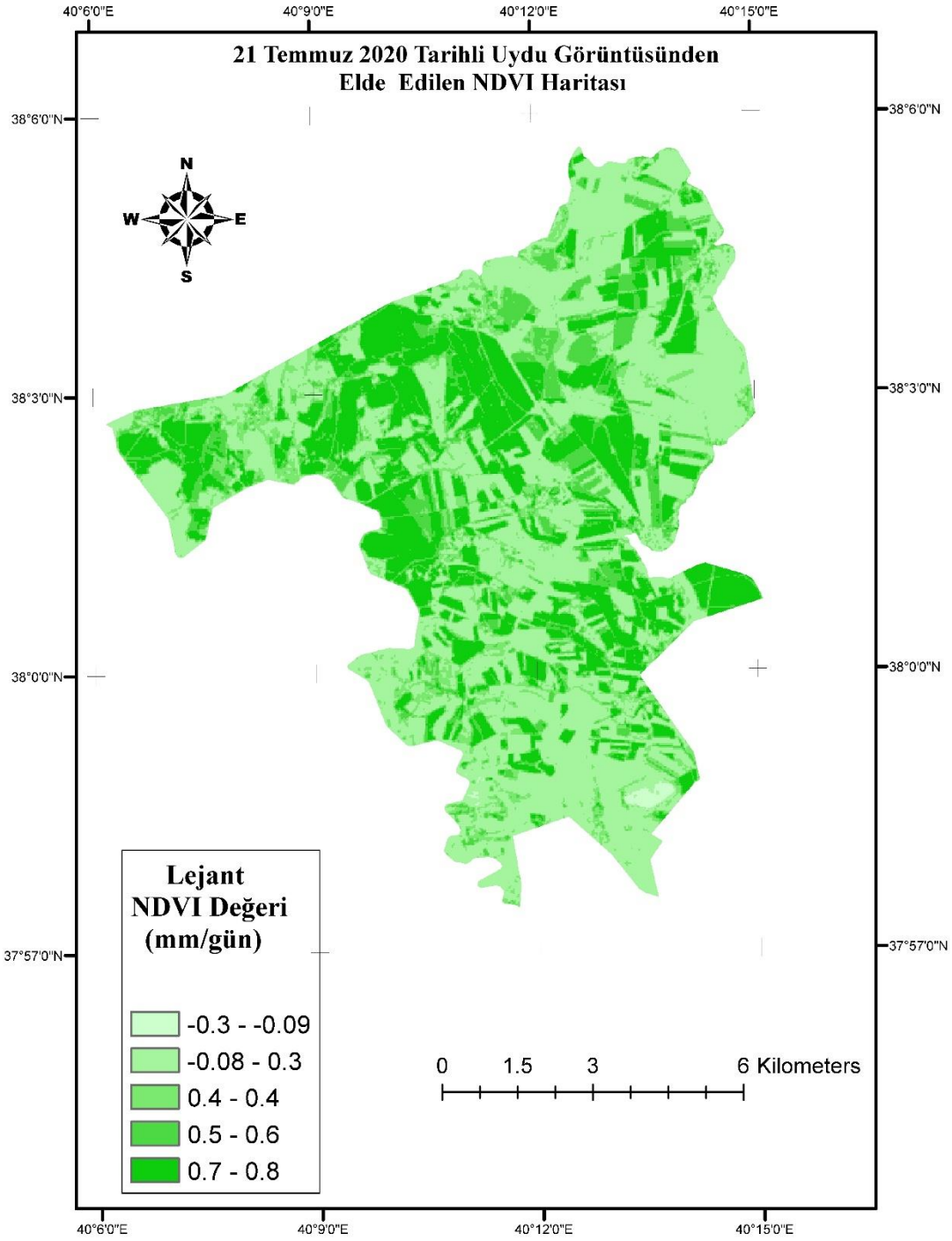
EK7 27 Mayıs 2020 PHOT Haritası



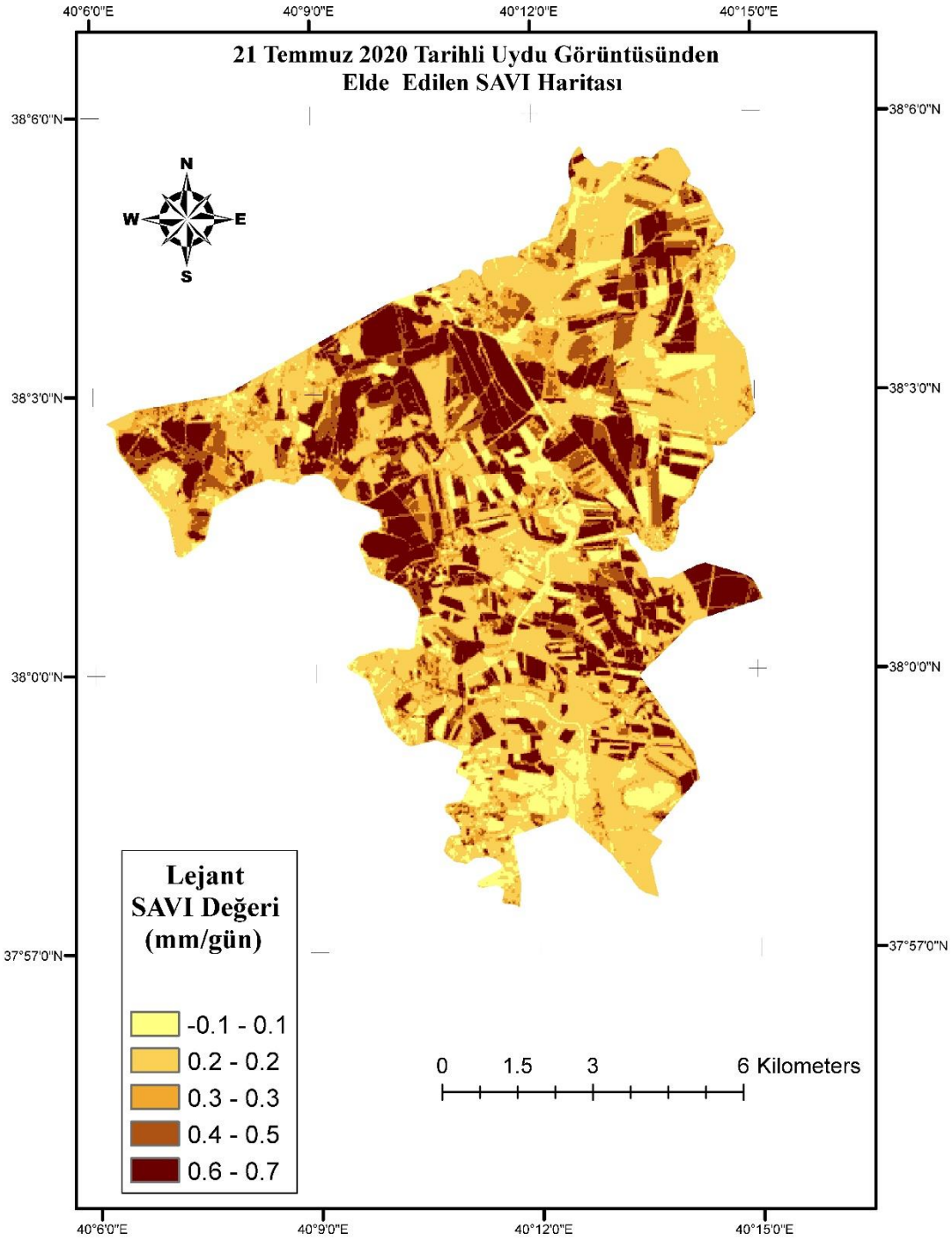
EK8 27 Mayıs 2020 PCOLD Haritası



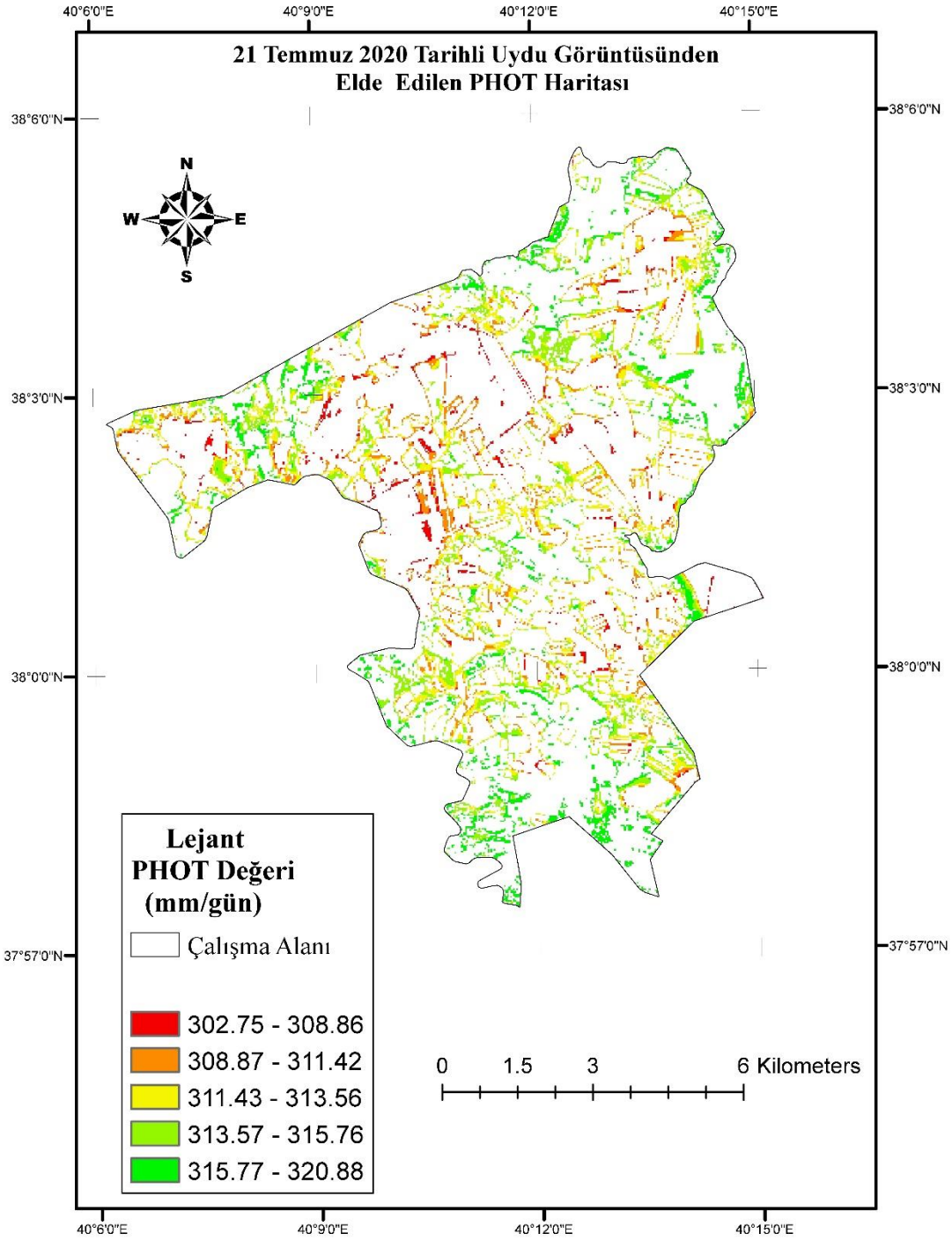
EK9 21 Temmuz 2020 NDVI Haritası



EK10 21 Temmuz 2020 SAVI Haritası



EK11 21 Temmuz 2020 PHOT Haritası



EK12 21 Temmuz 2020 PCOLD Haritası

