



METRIC Modeli ve Google Earth Engine Flux ile Hesaplanan Günlük Bitki Su Tüketimi ve Referans Bitki Su Tüketimi Fraksiyonu Değerlerinin Karşılaştırılması

Comparison of Daily Evapotranspiration and Reference Evapotranspiration Fraction Values Calculated using METRIC Model and Google Earth Engine FLux

Emre Tunca¹ , Eyüp Selim Köksal² , Sakine Çetin Taner³ 

Geliş Tarihi (Received): 23.01.2022

Kabul Tarihi (Accepted): 14.06.2022

Yayın Tarihi (Published): 22.08.2022

Öz: Evapotranspirasyonun (ET) hassas bir biçimde belirlenmesi su kaynakları yönetiminde oldukça önemlidir. Son yıllarda ET'nin uzaktan algılama teknikleri yardımıyla belirlenmesinde çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modeller arasında Evapotranspirasyon Haritalamasında Yüksek Çözünürlük ve İçsel Kalibrasyon Modeli (METRIC) en yaygın kullanılanlardan biridir. METRIC modelinde içsel kalibrasyon amacıyla ET'nin potansiyel seviyede ve ET'nin sıfır olduğu iki ekstrem koşulu temsilen seçimler yapılması gerekmektedir. Bu seçimleri hem uzaktan algılama hem de ET üzerine deneyimli kişilerin yapması gerekmektedir. Ancak bu durum METRIC modelinin kullanımını kısıtlamaktadır. Oluşan bu boşluğun doldurulması için Google Earth Engine platformunda Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux) uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulamayla METRIC modeli otomatik olarak kalibre edilmektedir. Bu çalışmanın amacı elle METRIC modeli ile EEFlux modelinden elde edilen günlük ET (ET_d) ve Referans ET fraksiyonu (ET_rF) değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Çalışma Amasya ili Merzifon ilçesinde yer alan Uzunyazı, Çayırözü ve Yeşilören köylerindeki arpa, ayçiçeği, buğday, mısır, şeker pancarı, patates ve soğan yetiştiriciliği yapılan tarım alanlarında gerçekleştirilmiştir. Araştırmada üç farklı tarihe ait Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre METRIC ve EEFLUX ile hesaplanan ET_d değerleri uyumlu olmasına rağmen (R²=0,87), genel olarak EEFlux-ET_d değerleri METRIC-ET_d değerlerinden daha düşük gerçekleşmiştir (RMSE=2,5 mm gün⁻¹ ve MAE=2,38 mm gün⁻¹). ET_rF değerleri ise ET_d değerlerine benzer uyumlu hesaplanmıştır (R²=0,88, RMSE=0,11 ve MAE=0,09). Buna göre EEFLUX ve METRIC ile hesaplanan ET_d ve ET_rF değerleri arasında belirli farklılıklar olmasına rağmen, EEFLUX ile oldukça hızlı, yerel iklim verileri ve deneyimli bir kullanıcı ihtiyacı olmadan ET_d değerleri belirlenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitki su tüketimi, uzaktan algılama, METRIC, EEFlux, ET_rF.

&

Abstract: Accurate evapotranspiration (ET) calculation is crucial in water resources management. In recent years, various remote sensing techniques based models have been developed to determine ET. Among these models, Mapping EvapoTranspiration at High Resolution with Internalized Calibration (METRIC) is one of the most widely used. In the METRIC model, anchor pixels must be selected to represent extreme conditions where ET is at potential level and ET is zero in the internal calibration process. These choices should be made by experienced users in both remote sensing and ET. However, this limits the use of the METRIC model. In order to fill this gap, the Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux) application was developed in the Google Earth Engine platform. With this application, the METRIC model is calibrated automatically. The aim of this study was to compare the daily ET (ET_d) and Reference ET fraction (ET_rF) values obtained from the METRIC and EEFlux model. The study was carried out in the agricultural fields of barley, sunflower, wheat, corn, sugar beet, potato and onion cultivation in Uzunyazı, Çayırözü and Yeşilören villages in Merzifon district of Amasya province. Landsat 8 satellite images of three different dates were used in this research. According to the results obtained from this study, although the ET_d values calculated with METRIC and EEFlux were compatible (R²=0.87), the EEFlux-ET_d values were generally lower than the METRIC- ET_d values (RMSE=2.5 mm day⁻¹ and MAE=2.38 mm day⁻¹). Calculated ET_rF values were calculated with similar agreement to ET_d values (R²=0.88, RMSE=0.11 and MAE=0.09). Accordingly, although there are certain differences between ET_d and ET_rF values calculated with EEFlux and METRIC, ET_d values can be determined very quickly with EEFlux, without the need for local climate data and an experienced user.

Keywords: Evapotranspiration, Remote Sensing, METRIC, GEEFLUX, ET_rF.

Atıf/Cite as: Tunca, E., Köksal, E. S., & Taner S. Ç. (2022). METRIC Modeli ve Google Earth Engine Flux ile Hesaplanan Günlük Bitki Su Tüketimi ve Referans Bitki Su Tüketimi Fraksiyonu Değerlerinin Karşılaştırılması. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 8 (2), 256-267. DOI: 10.24180/ijaws.1061823.

İntihal-Plagiarizm/Etik-Ethic: Bu makale, en az iki hakem tarafından incelenmiş ve intihal içermediği, araştırma ve yayın etiğine uyulduğu teyit edilmiştir. / This article has been reviewed by at least two referees and it has been confirmed that it is plagiarism-free and complies with research and publication ethics. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijaws>

Copyright © Published by Bolu Abant İzzet Baysal University, Since 2015 – Bolu

¹ Araş. Gör. Emre Tunca, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, emre.tunca@omu.edu.tr (Sorumlu Yazar / Corresponding author)

² Prof. Dr. Eyüp Selim Köksal, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, eselim@omu.edu.tr

³ Dr. Öğr. Üyesi Sakine Çetin, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, sakine.cetin@omu.edu.tr

GİRİŞ

Evapotranspirasyon (ET) hidrolojik döngünün en önemli bileşenlerinden birisidir. Küresel yağışın $\frac{2}{3}$ 'ü ve kurak/yarı kurak bölgelerde gerçekleşen etkili yağışın ise yaklaşık %90'ı (Li vd., 2021) ET yoluyla atmosfere iletilmektedir. Bu durum, özellikle su eksikliği çekilen bölgelerde, bitkisel üretimi önemli ölçüde kısıtlamaktadır. Söz konusu eksikliğin giderilmesi ise ET'nin bitki gelişme dönemi boyunca hassas bir biçimde izlenmesini gerektirmektedir. ET'nin düzenli olarak izlenmesi, tarımsal üretimin artırılmasının yanı sıra, su kaynaklarının etkin kullanımı, kuraklık izleme ve iklim değişikliği etkilerinin ortaya konulması açısından da oldukça önemlidir (Nassar vd., 2021).

Toprak su bütçesi, yüzey enerji dengesi ve iklim verilerine dayalı yaklaşımlarla konuma özel ET değerleri hesaplanabilmektedir (Park vd., 2021). Fakat noktasal olan bu ET değerlerinin elde edilmesi yoğun işçilik ve zaman gerektirmektedir. Ayrıca vejetasyon ve toprak özelliklerinin homojen dağılım göstermediği bitkisel üretim alanlarında, noktasal olarak belirlenen bu ET değerlerinin geniş alanları temsil etme kabiliyeti oldukça düşüktür (Khan vd., 2021). Bu nedenle hem su kaynaklarının etkin kullanımı hem de tarımsal üretimi artırmak için ET'nin konumsal ve zamansal değişiminin hassas bir biçimde ortaya konulması gerekmektedir. Uzaktan algılama (UA) teknikleri hem vejetasyon düzeyinin hem de ET'nin konumsal ve zamansal değişiminin ortaya konulmasında en güvenilir yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Park vd., 2021). UA ile ET tahmini genel olarak dört ana kategoriden oluşmaktadır (Courault vd., 2005; Nouri vd., 2015): (1) UA verileri ile ET değerleri arasında ampirik eşitliklerin oluşturulması; (2) yüzey enerji dengesi modelleri; (3) UA verilerinden hesaplanan vejetasyon indeksi değerleri ile bitki katsayılarının tahmin edilmesi; (4) toprak-bitki atmosfer taşınımına (SVAT) dayalı deterministik yöntemler. Belirtilen bu yaklaşımlardan yüzey enerji dengesi modelleri UA'ya dayalı ET tahmininde en yaygın kullanılan yöntemdir (Burchard-Levine vd., 2021). Bu yaklaşımda ET, yüzey enerji dengesi bileşenlerinin artışı olarak hesaplanmaktadır. Yüzey enerji dengesi bileşenleri (Net Radyasyon (R_n), Hissedilebilir Isı Akısı (H) ve Toprak Isı Akısı (G)) ise UA görüntülerinden çeşitli fiziksel ve ampirik eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır (Kalma vd., 2008). Yüzey enerji dengesi ile ET tahmininde en sık kullanılan modellerin başında Evapotranspirasyon Haritalamasında Yüksek Çözünürlük ve İçsel Kalibrasyon Modeli (METRIC)

(Allen vd., 2007b) ve Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (SEBAL) (Bastiaanssen vd., 1998) gelmektedir. METRIC, SEBAL modelinin temelleri üzerine geliştirilmiş ve uygulamada en sık tercih edilen ET tahmin modelidir (de Oliveira Costa vd., 2020). Literatürde METRIC, lizimetre (Tasumi vd., 2005; Allen vd., 2007a), scintillometre (Al-Gaadi vd., 2016) ve eddy kovaryans kulesi (Ortega-Salazar vd., 2021) ölçümleri karşılaştırılmış ve METRIC modelinin yüksek seviyede başarılı olduğu değerlendirilmiştir.

METRIC modeli sahip olduğu içsel kalibrasyon mekanizması ile atmosferik etkiler, yüzey sıcaklığı, G ve H kaynaklı hataları elimine edebilmektedir (Allen vd., 2007a). Bu yaklaşımda görüntü hücreleri arasından iki uç nokta (sıcak ve soğuk hücre) seçilerek H kalibre edilmektedir (Ortega-Salazar vd., 2021). Söz konusu görüntü hücrelerinin seçimi subjektif ve oldukça zaman alıcıdır (Çetin ve ark., 2017). Bu nedenle METRIC modelinin uzman bir kullanıcı tarafından kalibre edilmesi ET tahminlerindeki başarı için oldukça önemlidir (Morton vd., 2013). Bu durum genellikle METRIC modelinin akademik çalışmalar ile kısıtlı olmasına sebep olmuştur (Carrasco-Benavides vd., 2021). Oluşan bu boşluğun doldurulması için Google, Nebraska Üniversitesi (ABD), Çöl Araştırma Enstitüsü (ABD) ve Idaho Üniversitesi (ABD) iş birliği ile geliştirilen ve kullanıcı dostu arayüzü ile METRIC-Google Earth Engine ET Akısı (EEFlux) platformu geliştirilmiştir. Bu sistemde Landsat görüntüleri METRIC modeli kullanılarak otomatik olarak işlenmekte ve modelin çıktıları tüm kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır (Nisa vd., 2021). EEFlux ile yer verisi (meteorolojik veriler, yükseklik haritaları, bitki türü sınıflandırma haritaları vs.) ve kalibrasyon işlemine ihtiyaç duymadan tüm dünyaya ait ET haritalarına ulaşılabilmektedir. Bu kapsamda EEFlux ile tahmin edilen ET değerleri mısır (Filgueiras vd., 2019) ve soya fasulyesinde (Venancio vd., 2020) başarılı bir biçimde değerlendirilmiştir.

EEFlux ile ET tahmini üzerine belirli sayıda çalışmalar olmasına rağmen, EEFlux'daki otomatik kalibrasyonunun başarı düzeyi üzerine yapılmış çalışmalar oldukça azdır. Bu nedenle, bu çalışmanın

amacı elle kalibre edilen METRIC modeli ET değerleri ile otomatik kalibre edilen EEFlux ET değerlerinin karşılaştırılmasıdır. Ayrıca METRIC ve EEFlux ile gerçekleştirilen hesaplamalar arasında kalibrasyon yönteminin ötesinde bir takım farklı algoritma ve model girdileri (iklim veri kaynağı) kullanılmaktadır. Bu farklılıkların METRIC ve EEFlux'ın ara çıktısı olan referans ET fraksiyonu (ET_{rF}) üzerine olan etkileri incelenmiş ve buna ek olarak farklı kullanıcılar tarafından seçilen sıcak ve soğuk hücrelerin METRIC modelinin çıktıları üzerine olan etkileri değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Elle kalibre edilmiş METRIC modeli ile otomatik kalibre edilmiş EEFlux modelinin karşılaştırılması için, 2015 tarımsal üretim dönemi sırasında, Amasya ili Merzifon ilçesine bağlı Çayırözü, Uzunyazı ve Yeşilören köyleri sulu tarım alanları çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Bu arazilerin seçilmesinin en önemli nedeni, bölgede suyun oldukça önemli olması ve bölge ekonomisine oldukça fazla katkıda bulunmasıdır. Araştırma alanı içerisinde yer alan köyler Merzifon ovasında yer almakta ve denizden yükseklikleri sırasıyla 535, 565 ve 525 m'dir. Tarla tarımı yapılan bu köylerde yaygın olarak arpa, buğday, ayçiçeği, mısır, şeker pancarı ve soğan üretimi gerçekleştirilmektedir. Bölgedeki tarım alanları genel olarak düz ve düze yakın arazilerden oluşmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı genel görünümü ve araştırmada kullanılan tarımsal üretim parselleri.
Figure 1. Research area and plots used in this study.

Çalışma Alanındaki Bitkisel Üretim Deseni

Çizelge 1'de 2015 yılında Çayırözü, Uzunyazı ve Yeşilören köylerindeki toplam bitkisel üretim alanları ve ekiliş oranları verilmiştir (ÇKS, 2016). Buna göre çalışma alanı içerisinde en fazla buğday tarımı gerçekleştirilmiştir (7.305,2 da). Buğday üretimini arpa ve ayçiçeği üretimi takip etmektedir.

Çizelge 1. Çalışma alanında 2015 yılı yetiştirme dönemi sırasında yetiştirilen bitkilerin ekim alanları ve ekiliş oranları.
Table 1. The cropping area and cultivation rates of the crops during the 2015 growing season in the study area.

Bitki adı	Toplam üretim alanı (da)	Ekiliş Oranı (%)
Arpa	3.052,60	14,26
Ayçiçeği	2.926,60	13,67
Buğday	7.305,27	34,12
Mısır (dane)	2.821,56	13,18
Mısır (silaj)	92,83	0,43
Patates	1.313,02	6,13
Soğan (kuru)	1.949,72	9,11
Şeker Pancarı	708,44	3,31
Diğer	1.243,2	5,81
Toplam	21.413,24	100,0

Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntüleri

Bu çalışmada Landsat 8 uydusuna ait multispektral ve termal görüntüler kullanılmıştır. Landsat 8 uydusu 2'si termal 1'i pankromatik ve 8'i VNIR olmak üzere toplam 11 adet banta sahiptir. Yersel çözünürlük termal bant için 100 m, pankromatik bant 15 m ve VNIR bantlarda ise 30 m'dir (Çizelge 2). Landsat 8 uydusunun zamansal çözünürlüğü 16 gündür (USGS, 2022). Çalışmada 2015 yılına ait 22 Haziran, 24 Temmuz ve 9 Ağustos tarihli üç adet Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Söz konusu görüntü tarihlerinin tercih edilmesindeki en önemli neden yaz aylarında sulama yapılan ve yapılmayan parseller arasında bitki su tüketimi farklılığının yüksek olmasıdır. Bu farklılık ile EEFlux modelinin hem yüksek hem de düşük bitki su tüketimi koşulları altında değerlendirmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan uydu görüntülerine ait spektral ve konumsal çözünürlükler.

Table 2. Spectral and spatial resolution information of satellite images used in this study.

Bantlar	Spektral Çözünürlük (µm)	Konumsal Çözünürlük (m)
Mavi	0,452-0,512	30
Yeşil	0,533-0,590	30
Kırmızı	0,636-0,673	30
Yakın Kızılötesi	0,851-0,879	30
SWIR-1*	1,566-1,651	30
SWIR-2**	2,107-2,294	30
Termal-1	10,60-11,19	100
Termal-2	11,50-12,51	100

*SWIR-1=Kısa Dalga Boylu Kızılötesi-1, **SWIR-2=Kısa Dalga Boylu Kızılötesi-2

METRIC ve EEFlux Yöntemleri

Bu bölümde söz konusu iki yöntemin benzerlikleri ve farklılıkları verilmiştir. EEFLUX uygulaması Nebraska Üniversitesi, Idaho Üniversitesi ve Çöl Araştırma Enstitüsü tarafından aktif olarak geliştirilmeye devam etmektedir. Bu çalışmada kullanılan EEFLUX sürümü 0.20.4'tür (Erişim Tarihi: 29.12.2021). EEFLUX ve METRIC'de ET hesaplamaları yüzey enerji dengesi eşitliğine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşımda suyun sıvı halden gaz haline geçişi sırasında kullanılan ısı enerjisi (LE , $W m^{-2}$), enerji dengesi bileşenlerinin artanı olarak tahmin edilmektedir (Eşitlik 1).

$$LE = Rn - G - H \quad (1)$$

Eşitlikte, Rn , net radyasyon akısı ($W m^{-2}$), G , toprak ısı akısı ($W m^{-2}$) ve H ise hissedilebilir ısı akısıdır ($W m^{-2}$). Gerçekleşen bitki su tüketimi değeri (ET_a), LE değerlerinin buharlaşma gizli ısı değerine oranlanması ile hesaplanmaktadır. (Eşitlik 2).

$$ET_{ins} = 3600 \times \frac{LE}{\lambda \times p_w} \quad (2)$$

ET_{ins} anlık ET akısıdır ($mm h^{-1}$); 3600, saniyelik zaman dilimi değerinin saatliğe çevrilmesi için kullanılmaktadır; p_w , suyun yoğunluk değeri ($\sim 1000 kg m^{-3}$); λ , buharlaşma gizli ısı değeridir ($J kg^{-1}$). λ değeri yüzey sıcaklığı (T_s) değerlerine dayalı olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik 3).

$$\lambda = [2.501 - 0.00236 \times (T_s - 273.15)] \times 10^6 \quad (3)$$

ET_{rF} değeri, uydu görüntüsünün her bir hücresi için ayrı olarak hesaplanan ET_{ins} değerinin aynı zaman dilimine ait uzun boylu referans bitki su tüketimine (ET_r) oranı ile hesaplanmaktadır (Eşitlik 4).

$$ET_{rF} = \frac{ET_{ins}}{ET_r} \quad (4)$$

Eşitlik 4 ile hesaplanan ETrF değeri, anlık olarak hesaplanan ETins değerinin günlük ET (ETd)'ye çevrilmesinde kullanılmaktadır. Bunun amaçla her bir görüntü hücresi için ayrı olarak hesaplanan ETrF değeri günlük toplam ETr değeri ile çarpılarak ETd değeri elde edilmektedir (Eşitlik 5). ETr hesaplamaları ASCE Standardized Penman-Monteith yöntemi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (ASCE-EWRI, 2005)

$$ET_d = ETrF \times ET_r \quad (5)$$

EEFLUX ile METRIC modeli arasındaki başlıca farklılık modelin kalibrasyonu ve hesaplamalar sırasında kullanılan iklim verileri kaynaklarıdır. METRIC modelinde, yüzey enerji dengesi eşitliğinin çözümü için kullanılan ETr'nin hesaplanmasında yersel iklim verileri kullanılırken, EEFLUX'da UA ile tahmin edilen saatlik ve günlük iklim verileri kullanılmaktadır. Amerika içindeki lokasyonlar için saatlik Kuzey Amerikan Arazi Veri Asimile Sistemi (NLDAS) iklim verileri kullanılırken, Amerika dışındaki lokasyonlar için altı saatlik CFSv2 (Saha vd., 2014; Yuan vd., 2011) ve İklim Tahmin Analiz Sistemine (CFSR) ait UA-ızgara iklim verileri kullanılmaktadır. EEFLUX ile günlük ET tahmini için UA ile tahmin edilen iklim verilerinin kullanılması bu iki model arasındaki başlıca farklılıklardan biridir.

METRIC ve EEFLUX modellerinde düşük ve yüksek ET koşullarındaki günlük ET değerini tahmin etmek için kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem sıcak ve soğuk hücre adı verilen uç noktaların belirlenmesini gerektirmektedir. Söz konusu uç noktalar METRIC modelinde bir kullanıcı tarafından belirlenirken, EEFLUX'da ise otomatik olarak belirlenmektedir. Bu uç noktalardaki LE değeri, ETr ile sıcak ve soğuk noktalardaki ETr fraksiyonu değerinin (genellikle, sıcak nokta için 0 ile 0,1 arası ve soğuk nokta için 1 ile 1,05 arası) çarpılmasıyla elde edilmektedir (Allen vd., 2007a).

METRIC ve EEFLUX yöntemleri arasındaki diğer bir önemli fark ise G'nin hesaplanması sırasında kullanılan eşitliklerdir. METRIC modelinde G, yaprak alan indeksine (LAI) dayalı olarak tahmin edilmektedir (Eşitlik 6a, b):

$$\frac{G}{R_n} = 0.05 + 0.18e^{-0.521 \times LAI} \quad (LAI > 0.5) \quad (6a)$$

$$\frac{G}{R_n} = \frac{1.80 \times (T_s - 273.15)}{R_n + 0.084} \quad (LAI < 0.5) \quad (6b)$$

EEFLUX ile G hesaplaması ise Eşitlik 7'de belirtilen formül kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Foolad vd., 2018).

$$G = (0.1 + 0.17e^{-0.55 \times LAI}) \times R_n \quad (7)$$

LAI, EEFLUX modelinde Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI) kullanılarak tahmin edilirken, METRIC modelinde Toprak Yansımalarını Dikkate Alan Vejetasyon İndeksi (SAVI) ile tahmin edilmektedir. METRIC modelinin detayları Allen vd., (2007a)'da, EEFLUX modelinin detayları ise Allen vd., (2015)'de yer almaktadır.

Örnekleme Yöntemi ve Karşılaştırma Kriterleri

METRIC ve EEFLUX modellerinin karşılaştırılması için, çalışma alanı içerisindeki arpa, ayçiçeği, buğday, mısır, şeker pancarı, patates ve soğan tarımı yapılan parseller seçilmiştir. Belirtilen parseller 2015 yılında arazide gözlem yoluyla tespit edilmiş ve konumları GPS sistemi ile kaydedilmiştir. Bu kapsamda seçilen tarım alanlarında üç farklı tarih için toplam 162.000 adet görüntü hücresi kullanılmıştır. Ayrıca parsel kenarlarındaki hücrelerde karışmanın (mixed) olmaması için parsel sınırları ve negatif NDVI değerine sahip görüntü hücreleri veri setine dahil edilmemiştir.

İstatistiksel Analiz ve Değerlendirme

Bu çalışmada METRIC ve EEFLUX ile hesaplanan ET değerlerinin aralarındaki ilişkinin ortaya konulmasında doğrusal regresyon analizi yapılmış ve belirleme katsayısı (R^2), hata karelerinin toplamının karekökü (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasıyla Eşitlik 8,9 ve 10'a göre gerçekleştirilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \underline{O_i})^2} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{N}} \quad (9)$$

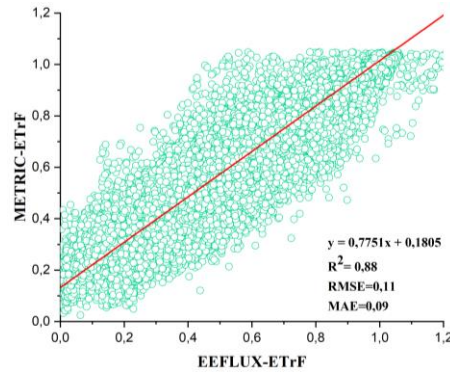
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |O_i - E_i|}{N} \quad (10)$$

Eşitliklerdeki, O_i ve E_i sırasıyla METRIC ve EEFLUX ile hesaplanan değerlerdir. N ise örnek sayısını ifade etmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

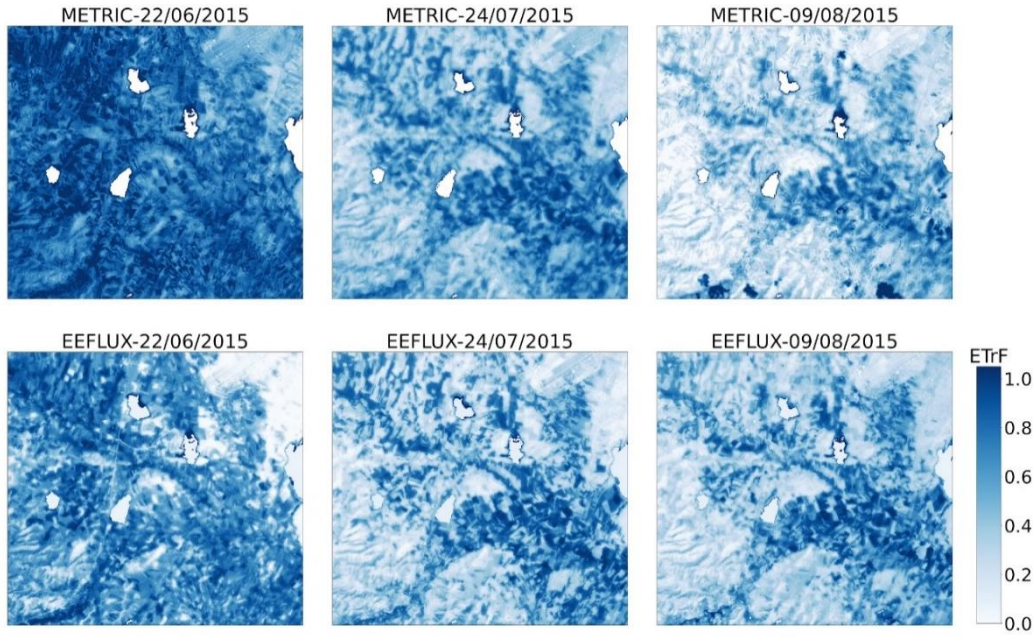
ETrF Değerlerinin Karşılaştırılması

METRIC ve EEFlux yöntemleri ile ETrF hesaplanmış ve bu iki yöntem ile hesaplanan değerlerin istatistiksel karşılaştırma sonuçları Şekil 2'de, hesaplanan ETrF haritaları ise Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde genel olarak manuel kalibre edilmiş METRIC modeli ile hesaplanan ETrF değerlerinin otomatik kalibre edilen EEFlux değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir ($R^2=0,88$). METRIC ve EEFlux yöntemleri ile hesaplanan en yüksek ve en düşük ETrF değerleri sırasıyla 1,05-0,02 ve 1,20-0,00'dir. Ortalama METRIC ETrF değeri 0,54 olarak hesaplanırken bu değer EEFlux yöntemi ile 0,47 olarak hesaplanmıştır. METRIC ve EEFlux ile hesaplanan ETrF değerleri genel olarak 1:1 çizgisi etrafında yer almış olsa da bu iki yöntem ile hesaplanan ETrF değerleri arasında bazı farklılıklar bulunmuştur (RMSE=0,11 ve MAE=0,09). Oluşan bu farklılığın en önemli sebeplerinden birisi H'nin hesaplanması sırasında meydana gelmektedir. METRIC yöntemi ile yapılan hesaplamada H, kullanıcı tarafından sıcak ve soğuk hücre seçilerek kalibre edilmekte, EEFlux yönteminde ise H, sistem içerisinde bulunan bir algoritma kullanılarak otonom olarak kalibre edilmektedir. Fakat iki yöntem arasında meydana gelen bu farklılıklar genel olarak %10'un altında gerçekleşmiştir. Allen vd. (2011), UA teknikleri ile ET tahmininde %10 düzeyinde hataların meydana gelebileceğini belirtmişlerdir. Şekil 3 incelendiğinde hem METRIC hem de EEFLUX ile hesaplanan ETrF haritalarında Haziran ayından Ağustos ayına doğru gidildikçe ETrF değerleri azalma göstermiştir. Sulama yapılan parsellerde ETrF değeri yüksek iken sulama gerçekleştirilmeyen parsellerde ETrF değeri düşük olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2. METRIC ve EEFLUX yöntemleri ile elde edilen ETrF değerlerinin doğrusal regresyon analizi sonucu.

Figure 2. Comparison of ETrF values obtained by METRIC and EEFLUX methods.

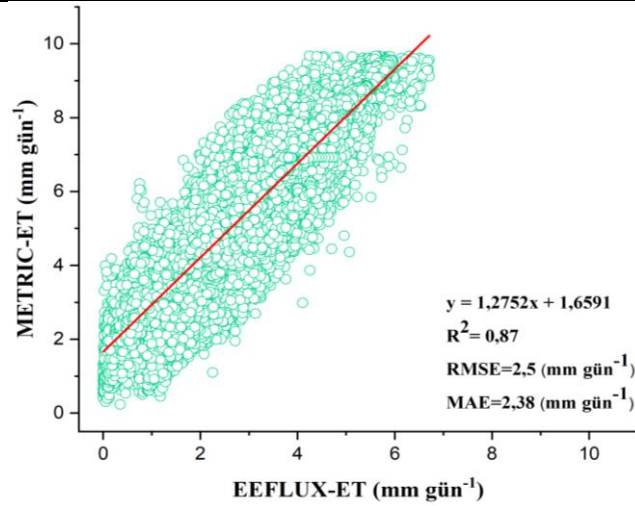


Şekil 3. METRIC ve EEFLUX yöntemleri ile elde edilen ETrF haritaları.

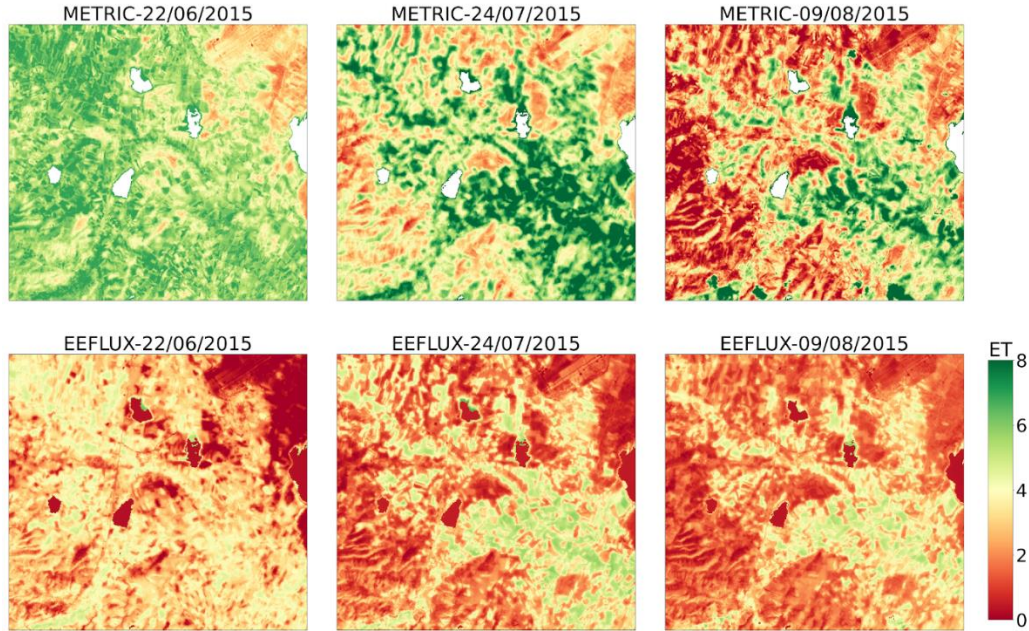
Figure 3. ETrF maps obtained by METRIC and EEFLUX methods.

METRIC ve EEFlux ile Belirlenen ET Değerlerinin Karşılaştırılması

Çayırözü, Uzunyazı ve Yeşilören köylerinden seçilen tarım arazileri METRIC yöntemi ve otomatik kalibre EEFlux sistemi ile ETD haritaları hesaplanmış ve bu haritalardan elde edilen değerlerin karşılaştırma sonuçları Şekil 4'te ve söz konusu haritalar Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde METRIC ve EEFlux ile hesaplanan ETD değerleri arasında benzer bir eğilim olmasına rağmen ($R^2=0.87$) hesaplanan bu değerler arasında birtakım farklılıklar ($RMSE=2,5$ mm gün⁻¹, $MAE=2,38$ mm gün⁻¹) bulunmaktadır. Genel olarak EEFlux-ETd değerleri METRIC-ETd değerlerinden düşüktür. METRIC ile hesaplanan ETD değerleri 9,68 mm gün⁻¹ ile 0,23 mm gün⁻¹ arasında değişim gösterirken, EEFlux tarafından hesaplanan ETD değerleri ise 6,71 mm gün⁻¹ ile 0,002 mm gün⁻¹ arasında değişim göstermiştir. METRIC ve EEFlux ile hesaplanan ortalama ETD değerleri sırasıyla 5,02 mm gün⁻¹ ve 2,63 mm gün⁻¹'dir. METRIC ve EEFlux yöntemleri ile hesaplanan ETD değerleri arasındaki uyumsuzluğun en önemli nedenleri arasında kullanılan iklim veri kaynaklarının farklı olması gösterilebilir. METRIC yönteminde çalışma alanına oldukça yakın bir yerel iklim verileri kullanılırken, EEFlux yönteminde ise UA teknikleri ile tahmin edilen iklim verileri kullanılmıştır. Söz konusu iklim verilerinden ETr hesaplamasında yararlanılmış ve ETins haritalarının ETD'ye çevrilmesi işlemi kullanılmıştır. İklim veri kaynaklarının farklı olması, aynı bölge ve aynı zaman dilimi için farklı ETr değerlerinin hesaplanmasına ve bu değerlerden yararlanılarak elde edilen ETD değerleri arasında uyumsuzluk olmasına neden olmuştur. Fooland ve ark. (2018) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde (Nebraska, Wyoming ve California) gerçekleştirilen bir çalışmada METRIC ve EEFlux ile hesaplanan ETD değerleri istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda R^2 değeri 0,91 ve RMSE değeri ise 2,14 mm gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Yapılan bir diğer çalışmada ise soya fasulyesi yetiştirilen bir tarım alanında EEFlux ve FAO-PM yöntemi ile hesaplanan günlük ET değerleri karşılaştırılmış ve EEFlux ile tahmin edilen ET değerlerinin daha düşük olduğu belirtilmiştir (Venancio ve ark., 2020).



Şekil 4. METRIC ve EEFLUX yöntemleri ile elde edilen günlük ET değerlerinin karşılaştırılması.
Figure 4. Comparison of daily ET values obtained by METRIC and EEFLUX methods.

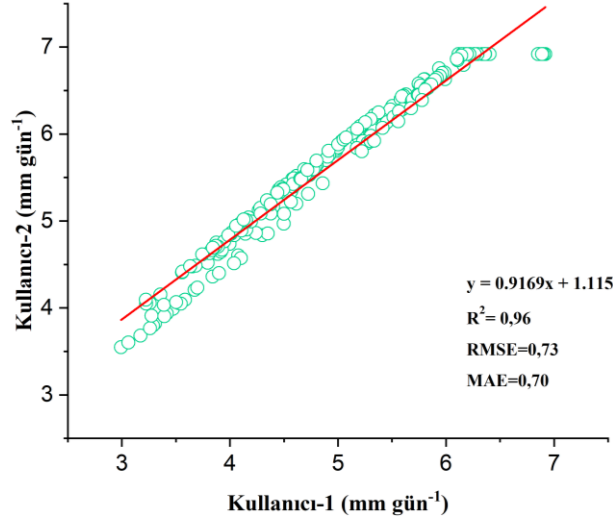


Şekil 5. METRIC ve EEFLUX yöntemleri ile elde edilen günlük ET haritaları.
Figure 5. Daily ET maps obtained by METRIC and EEFLUX methods.

Farklı Kullanıcılar Tarafından Kalibre Edilen METRIC ET Bulguları

METRIC ve EEFLUX yöntemleri ile hesaplanan ETrF ve ETD değerleri arasındaki farklılığın bir diğer nedeni de METRIC modelinde H'nin kalibrasyonu sırasında kullanıcı tarafından seçilen sıcak ve soğuk hücre seçimidir. Bu nedenle METRIC kullanıcılarının ETD değerlerine olan etkilerini ortaya koymak için 24 Temmuz 2015 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsü iki farklı deneyime sahip kullanıcı tarafından METRIC algoritması kullanılarak işlenmiş ve modelin çıktıları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre iki farklı kullanıcı tarafından hesaplanan ETD değerleri birbirleriyle büyük bir uyum içerisindedir ($R^2=0,96$, $RMSE=0,73$ ve $MAE=0,7$). 1. ve 2. kullanıcı tarafından hesaplanan en yüksek ETD değeri $6,92 \text{ mm gün}^{-1}$ iken en düşük ETD değerleri ise sırasıyla $3,00 \text{ mm gün}^{-1}$ ve $3,54 \text{ mm gün}^{-1}$ 'dir. 1. kullanıcı ortalama ETD değerini $4,95 \text{ mm gün}^{-1}$ olarak hesaplarken, 2. kullanıcı ise $5,65 \text{ mm gün}^{-1}$ olarak hesaplamıştır. 2. kullanıcı tarafından hesaplanan ETD değerleri 1. kullanıcıya ait ETD değerlerinden daha yüksek gerçekleşmiştir. Oluşan bu farklılığın en önemli sebebi ise kullanıcılar arasında sıcak ve soğuk hücre seçiminde kullanılan yöntemlerdir. İlk kullanıcı sıcak ve soğuk hücre seçiminde Ts ve NDVI

değerlerini kullanırken, ikinci kullanıcı ise Ts ve NDVI değerlerine ek olarak Albedo ve LAI değerlerini kullanmıştır. Genel olarak farklı iki kullanıcı tarafından hesaplanan ETd değerleri arasında önemli bir fark meydana gelmiştir. Oluşan bu fark METRIC modelinin subjektif olduğunu göstermektedir. Wolff vd. (2022) çalışmalarında METRIC modelinin sıcak ve soğuk hücre seçimine gereksinim duymasının söz konusu modeli stokastik yaptığını ve bu durumun seçilen hücrelerin optimize edilmesiyle ETd tahmin performansının iyileştirilmesini sağladığını belirtmişlerdir.



Şekil 6. Farklı kullanıcılar tarafından hesaplanan METRIC-ET_a değerlerinin karşılaştırılması.

Figure 6. Comparison of METRIC-ET_a values calculated by different users.

SONUÇ

Çalışmada METRIC ve EEFlux modelleri ile hesaplanan ETd ve ETrF değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı kullanıcılar tarafından seçilen sıcak ve soğuk hücrelerin METRIC modelinin çıktıları üzerine olan etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, genel olarak, EEFlux modeli ile hesaplanan ETd değerleri METRIC modeli ile hesaplanan ETd değerlerinden daha düşük gerçekleşmiştir. Hesaplanan değerler arasında belirli seviyede farklılıklar olmasına rağmen, genel olarak ETd değişimi iki model arasında benzerlik göstermektedir. ETrF değerleri ise ETd değerlerine oranla daha uyumlu hesaplanmıştır. Farklı kullanıcıların model üzerine olan etkileri ise oldukça düşüktür. Elde edilen bu sonuçlara göre EEFlux ile oldukça hızlı bir biçimde herhangi bir iklim verisi ve deneyimli bir kullanıcı ihtiyacı olmadan ETd haritaları oluşturulabilir. Elde edilen bu haritalar su kaynaklarının izlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla tarımda su yöneticileri, sulama birlikleri, bireysel çiftçiler tarafından etkin bir biçimde kullanılabilir. Ayrıca METRIC modeli yerde ölçülen iklim verilerine ihtiyaç duymaktadır. Söz konusu olan ihtiyaç modelin meteoroloji istasyonu olmayan bölgelerde kullanımını kısıtlamaktadır. Bununla birlikte METRIC modeli sıcak ve soğuk hücre seçimini gerektirmektedir. Söz konusu işlem subjektiftir ve ETd hesaplamalarında bazı hatalara neden olabilir. Ayrıca kurak bölgelerde soğuk hücrenin belirlenmesi ise oldukça zor ve zaman alıcıdır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, EEFlux modeli su kaynaklarının izleme ve değerlendirilmesinde büyük bir potansiyele sahiptir. Gelecekte farklı iklim koşulları altında hesaplanan EEFlux-ETd değerlerinin yer ölçümleriyle değerlendirilmesine ve sulama suyu yönetiminde kullanılabilirliğinin ortaya konulmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKISI

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 114O534).

KAYNAKLAR

- Al-Gaadi, K. A., Patil, V. C., Tola, E., Madugundu, R., & Gowda, P. H. (2016). Evaluation of METRIC-derived ET fluxes over irrigated alfalfa crop in desert conditions using scintillometer measurements. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(6), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2469-8>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Howell, T. A., & Jensen, M. E. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98(6), 899-920. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.015>
- Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J. L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., & Robison, C. W. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 395-406. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(395\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(395))
- Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 380-394. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380))
- Allen, R. G., Morton, C., Kamble, B., Kilic, A., Huntington, J., Thau, D., Gorelick, N., Erickson, T., Moore, R., Trezza, R., Ratcliffe, I., & Clarence, R. (2015). *EEFlux: A Landsat-based evapotranspiration mapping tool on the Google Earth Engine*. ASABE/IA Irrigation Symposium: Emerging Technologies for Sustainable Irrigation Proceedings of the 10-12 November 2015 Symposium, Long Beach, California, USA.
- ASCE-EWRI, (2005). *The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation*. Technical Committee report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration, American Society of Civil Engineers Press, USA. <https://doi.org/10.13031/irrig.20152143511>
- Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212, 198-212. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4)
- Burchard-Levine, V., Nieto, H., Riaño, D., Migliavacca, M., El-Madany, T. S., Guzinski, R., Carrara, A., & Martín, M. P. (2021). The effect of pixel heterogeneity for remote sensing based retrievals of evapotranspiration in a semi-arid tree-grass ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 260, 112440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112440>
- Carrasco-Benavides, M., Ortega-Farías, S., Gil, P. M., Knopp, D., Morales-Salinas, L., Lagos, L. O., de la Fuente, D., López-Olivari, R., & Fuentes, S. (2021). Assessment of the vineyard water footprint by using ancillary data and EEFlux satellite images. Examples in the Chilean central zone. *Science of The Total Environment*, 811, 152452. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152452>
- Çetin, S., Köksal, E. S., & Tunca, E. (2017). Enerji dengesine dayalı evapotranspirasyon haritalamada içsel kalibrasyon için temel hücrelerin görüntü filtreleme yaklaşımı ile seçilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32(3), 330-339. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.319335>
- ÇKS (2015). Çiftçi kayıt sistemi. <https://tbs.tarbil.gov.tr/>. [Erişim Tarihi: 10 Haziran 2016]
- Courault, D., Seguin, B., & Olioso, A. (2005). Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches. *Irrigation and Drainage systems*, 19(3), 223-249. <https://doi.org/10.1007/s10795-005-5186-0>
- de Oliveira Costa, J., José, J. V., Wolff, W., de Oliveira, N. P. R., Oliveira, R. C., Ribeiro, N. L., Coelho, R.D., da Silva, T.J.A., Bonfim-Silva, E.M., & Schlichting, A. F. (2020). Spatial variability quantification of maize water consumption based on Google EEflux tool. *Agricultural Water Management*, 232, 106037. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106037>

- Filgueiras, R., Mantovani, E. C., Althoff, D., Ribeiro, R. B., Venancio, L. P., & dos Santos, R. A. (2019). Dynamics of actual crop evapotranspiration based in the comparative analysis of sebal and metric-eeflux. *Irriga*, 1(1), 72-80. <https://doi.org/10.15809/irriga.2019v1n1p72-80>
- Foolad, F., Blankenau, P., Kilic, A., Allen, R. G., Huntington, J. L., Erickson, T. A., Ozturk, D., Morton, C. G., Ortega, S., Ratcliffe, I., Franz, T. E., Thau, D., Moore, R., Gorelick, N., Kamble, B., Reville, P., Trezza, R., Zhao, W., & Robison, C. W. (2018). Comparison of the automatically calibrated Google evapotranspiration application – EEFlux and the manually calibrated METRIC application. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints201807.0040.v1>
- Kalma, J. D., McVicar, T. R., & McCabe, M. F. (2008). Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surveys in Geophysics*, 29(4), 421-469. <https://doi.org/10.1007/s10712-008-9037-z>.
- Khan, M. S., Baik, J., & Choi, M. (2021). A physical-based two-source evapotranspiration model with Monin–Obukhov similarity theory. *GIScience & Remote Sensing*, 58(1), 88-119. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1857625>.
- Li, C., Li, Z., Gao, Z., & Sun, B. (2021). Estimation of Evapotranspiration in Sparse Vegetation Areas by Applying an Optimized Two-Source Model. *Remote Sensing*, 13(7), 1344. <https://doi.org/10.3390/rs13071344>.
- Morton, C. G., Huntington, J. L., Pohll, G. M., Allen, R. G., McGwire, K. C., & Bassett, S. D. (2013). Assessing calibration uncertainty and automation for estimating evapotranspiration from agricultural areas using METRIC. *Journal of the American Water Resources Association*, 49(3), 549-562. <https://doi.org/10.1111/jawr.12054>.
- Nassar, A., Torres-Rua, A., Kustas, W., Alfieri, J., Hipps, L., Prueger, J., Nieto, H., Alsina, M. M., White, W., McKee, L., Coopmans, C., Sanchez, L., & Dokoozlian, N. (2021). Assessing daily evapotranspiration methodologies from one-time-of-day sUAS and EC information in the GRAPEX project. *Remote Sensing*, 13(15), 2887. <https://doi.org/10.3390/rs13152887>.
- Nisa, Z., Khan, M.S., Govind, A., Marchetti, M., Lasserre, B., Magliulo, E., & Manco, A. (2021). Evaluation of SEBS, METRIC-EEFlux, and QWaterModel actual evapotranspiration for a Mediterranean cropping system in southern Italy. *Agronomy*, 11(2), 345. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020345>.
- Nouri, H., Beecham, S., Anderson, S., Hassanli, A. M., & Kazemi, F. (2015). Remote sensing techniques for predicting evapotranspiration from mixed vegetated surfaces. *Urban Water Journal*, 12(5), 380-393. <https://doi.org/10.5194/hessd-10-3897-2013>.
- Ortega-Salazar, S., Ortega-Farías, S., Kilic, A., & Allen, R. (2021). Performance of the METRIC model for mapping energy balance components and actual evapotranspiration over a superintensive drip-irrigated olive orchard. *Agricultural Water Management*. 251, 106861. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106861>.
- Park, S., Ryu, D., Fuentes, S., Chung, H., O'Connell, M., & Kim, J. (2021). Mapping very-high-resolution evapotranspiration from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4), 211. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040211>.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y. T., Chuang, H. Y., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., van den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., & Becker, E. (2014). The NCEP Climate Forecast System version 2. *Journal of Climate*, 27(6), 2185-2208. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>.
- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R. G., & Wright, J. L. (2005). Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. *Irrigation and Drainage Systems*, 19(3), 355-376. <https://doi.org/10.1007/s10795-005-8138-9>.
- USGS (2022). United States Geological Survey, Landsat 8 Mission. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. [Erişim Tarihi: 22.04.2022].
- Venancio, L. P., Eugenio, F. C., Filgueiras, R., França da Cunha, F., Argolo Dos Santos, R., Ribeiro, W. R., & Mantovani, E. C. (2020). Mapping within-field variability of soybean evapotranspiration and crop coefficient using the Earth Engine Evaporation Flux (EEFlux) application. *Plos One*, 15(7), e0235620. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235620>.
- Wolff, W., Francisco, J. P., Flumignan, D. L., Marin, F. R., & Folegatti, M. V. (2022). Optimized algorithm for evapotranspiration retrieval via remote sensing. *Agricultural Water Management*, 262, 107390. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107390>.

Yuan, X., Wood, E. F., Luo, L., & Pan, M. (2011). A first look at Climate Forecast System version 2 (CFSv2) for hydrological seasonal prediction. *Geophysical Research Letters*, 38(13), L13402. <https://doi.org/10.1029/2011GL047792>.