



# METRIC Yaklaşımında Alternatif Soğuk ve Sıcak Hücrelerin Evapotranspirasyon Haritalama Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi

Evaluation of the Effects of Alternative Cold and Hot Cells on Evapotranspiration Mapping in the METRIC

Sakine ÇETİN TANER<sup>1</sup>, Eyüp KÖKSAL<sup>2</sup>, Emre TUNCA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun, Türkiye  
• sakine.cetin@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0002-7333-4250

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun, Türkiye  
• eselimk@yahoo.com • ORCID > 0000-0002-5103-9170

<sup>3</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun, Türkiye  
• emre.tunca@omu.edu.tr • ORCID > 0000-0001-6869-9602

## Makale Bilgisi / Article Information

Makale Türü / Article Types: Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş Tarihi / Received: 15 Haziran / June 2021

Kabul Tarihi / Accepted: 16 Mart / March 2022

Yıl / Year: 2022 | Cilt – Volume: 37 | Sayı – Issue: 2 | Sayfa / Pages: 219-242

**Atıf/Cite as:** Çetin Taner, S., Köksal, E. ve Tunca, E. "METRIC Yaklaşımında Alternatif Soğuk ve Sıcak Hücrelerin Evapotranspirasyon Haritalama Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi". *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 37(2), Haziran 2022: 219-242.

**Sorumlu Yazar / Corresponding Author:** Sakine ÇETİN TANER

## METRIC YAKLAŞIMINDA ALTERNATİF SOĞUK VE SICAK HÜCRELERİN EVAPOTRANSPIRASYON HARİTALAMA ÜZERİNE ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

### ÖZ:

METRIC modeli ile evapotranspirasyon (ET) haritalarının elde edilmesinde hem uydu verileri hem de meteorolojik veriler girdi olarak kullanılmaktadır. Hissedilebilir ısı akısı (H) hesaplamaları METRIC modelinin en önemli aşamalarından biridir. Çoğu modelde H hesabı soğuk ve sıcak hücreler adı verilen iki uç koşula dayalı bir kalibrasyon işlemi içermektedir. Kalibrasyonda soğuk ve sıcak hücreye ait çok sayıda parametre kullanılmaktadır. Kullanılan parametrelerin hangisinin ET haritasına hangi düzeyde etki ettiğini belirlemek önemlidir. Bu çalışma, yarı-kurak iklim koşullarına sahip Suluova tarım arazileri için yürütülmüştür. Çalışmada 25 Haziran 2007 ve 4 Temmuz 2010 tarihli LANDSAT 5-TM uydu görüntüleri ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen iklim verileri kullanılmıştır. Uydu görüntülerinin işlenmesi ve ET haritalamasında METRIC modeli kullanılmıştır. Çalışmanın amaçları; farklı soğuk ve sıcak hücre kombinasyonlarının ET haritalarında neden olduğu farklılıkların değerlendirilmesi ve soğuk ve sıcak hücrelere ait Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI), Yüzey Sıcaklığı (Ts), Net Radyasyon (Rn), Toprak ısı akısı (G) ve albedo ( $\alpha$ ) parametrelerinin her birinin ET haritalarına etkisinin belirlenmesidir. Çalışma kapsamında uydu görüntülerinde birden fazla soğuk ve sıcak hücre seçimi yapılarak ET haritaları elde edilmiştir. Soğuk ve sıcak hücrelerden birer tanesi en uygun uç koşulları ve diğer hücreler ise kullanıcı hatası sonucu seçilebilecek uç koşulları temsil etmektedir. Çalışmada her iki uydu görüntüsünde de elde edilen ET haritalarından birer tanesi en uygun ET haritası olarak dikkate alınmıştır. Daha sonra en uygun ET haritası ile diğerlerinin karşılaştırılması istatistiksel yöntemlerle yürütülmüştür. Analizler sonucunda, hata üzerine 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsünde sıcak hücre parametrelerinin, 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsünde ise soğuk hücre parametrelerinin daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, net radyasyon ET haritalarında hata miktarında önemli rol oynamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Dengesi, Evapotranspirasyon, Kümeleme Analizi, METRIC, Sıcak ve Soğuk Hücre, Uzaktan Algılama.



## EVALUATION OF THE EFFECTS OF ALTERNATIVE COLD AND HOT CELLS ON EVAPOTRANSPIRATION MAPPING IN THE METRIC

### ABSTRACT:

Both satellite data and meteorological data are used as inputs to obtain evapotranspiration (ET) maps with the METRIC model. Sensible heat flux (H) calculations are one of the most important stages of the METRIC model. In most models, the H account called the hot and cold calibration process based on pixels comprises two end conditions. Many parameters of cold and hot pixels are used in calibration. It is important to determine which of the parameters used affect the ET map at what level. This study was carried out for Suluova agricultural lands in semi-arid climatic conditions. In the study, LANDSAT 5-TM satellite images dated 25 June 2007 and 4 July 2010 and climate data obtained from the The Turkish State Meteorological Service (MGM) were used. METRIC model was used for the processing of satellite images and ET mapping. The aims of the study; evaluation of the differences caused by different combinations of cold and warm cells in ET maps and the analysis of each of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Surface Temperature (Ts), Net radiation (Rn), Soil Heat Flux (G) and albedo ( $\alpha$ ) parameters of cold and hot pixels. It is to determine the effect on ET maps. In study, ET maps were obtained by selecting more than one cold and hot pixel in satellite images. One of the most suitable extreme conditions of cold and hot pixel others represents user error that extreme conditions can be selected. One of the ET maps obtained in both satellite images in the study was considered the most suitable ET map. Statistical methods carried out a comparison of the most appropriate ET map with the others. As a result of the analysis, it was determined that the hot pixel parameters were more effective in the satellite image dated June 25, 2007 and the cold pixel parameters in the satellite image dated July 4, 2010. Overall, Rn plays an essential role in the error in ET maps.

**Keywords:** Cluster Analysis, Energy Balance, Evapotranspiration, Hot and Cold Pixels, METRIC, Remote Sensing.



### 1. GİRİŞ

Evapotranspirasyonun (ET) doğru bir şekilde tahmini bitki su ihtiyacının belirlenmesinde, su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde, özellikle su kaynaklarının kıt olduğu kurak ve yarı-kurak bölgelerde su tasarrufu açısından oldukça önemlidir. Etkin bir su yönetimi, başarılı bir su tasarruf planının en temel bileşenlerinden biridir (Mondejar-Jimenez et al., 2011; Ferrari et al., 2010). Günümüzde uzaktan algılama uydu verileri aracılığıyla uydu görüntüsünün her bir hücresindeki ET hakkında zamansal ve mekansal olarak bilgi edinmeye olanak tanımaktadır (Lin et al., 2011; Irmak and Kamble, 2009; Ramos et al., 2009).

Son zamanlarda ET'nin mekansal dağılımını belirlemek için geliştirilmiş farklı yöntemlerden bahsedilmektedir (Choi et al., 2009). Bastiaanssen (1995) tarafından geliştirilen Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (SEBAL) modelinden, Allen et al. (2005) tarafından üretilen Evapotranspirasyonun Haritalanmasında Yüksek Çözünürlük ve İçsel Kalibrasyon Modeli (METRIC), toprak yüzeyindeki enerji bütçesinden elde edilen ET'nin mekansal ve zamansal dağılımını tahmin etmektedir (Mokhtari et al., 2013). Ayrıca birçok araştırmacı tarafından belirtildiğine göre, uzaktan algılama teknikleriyle ET haritalama yarı-kurak bölgelerde doğru ve düşük maliyetle ET tahminine olanak sağlamaktadır (Allen ve Bastiaanssen, 2005; Chavez et al., 2009; Conrad et al., 2007; Hendrickx et al., 2007; Tasumi et al., 2005b; Trezza, 2006). ET'yi tahmin etmek için kullanılan enerji dengesi modelleri termal kızılotesi radyansa dayanan yüzey sıcaklığı verisine ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca METRIC modeli iki uç koşula göre içsel kalibrasyon işlemlerini içermektedir. Bu uç koşullar sıcak ve soğuk koşullar olarak adlandırılmaktadır (Allen et al., 2007). Ek olarak hissedilebilir ısı akısı (H) ve yüzey sıcaklığı atmosfer sıcaklığı farkı olan  $dT$ 'nin içsel kalibrasyonu, yüzey sıcaklığı ( $T_s$ ) ve albedonun ( $\alpha$ ) atmosferik doğrulamasını ortadan kaldırmaktadır (Tasumi et al., 2005a, b).

SEBAL farklı iklim koşullarına sahip 30'dan fazla ülkede uygulanmış ve çeşitli çalışmalarda modelin doğruluğunun anlık ET için %67 ile %95 arasında olduğu, günlük ET için %70 ile %98 arasında olduğu bildirilmiştir (Bastiaanssen et al., 2005). Ek olarak, lizimetre ölçümlerine göre, ET tahmininde METRIC modelinin hata oranı ise günlük, aylık ve yıllık bazda ortalama %10 olduğu belirtilmiştir (Allen et al., 2005). Ayrıca, %14.7, %8.1, %1.5 ve %-7.4 olan hatalar farklı sulama yönetimleri ve farklı bitki tipleri üzerinde METRIC modeli ile elde edilen ET tahminleri, toprak su bütçesi yönteminden elde edilen ET ile karşılaştırılarak rapor edilmiştir (Chavez et al., 2007). Önceki çalışmalar yeterli bulunmasına rağmen, iklim koşulları ve bitki çeşitliliği gibi sebeplerden dolayı modelin uygulanabilirliği ve hata kaynaklarının araştırılması tavsiye edilmektedir (Gowda et al., 2008). Hatalar parametreler üzerine uygulanan çeşitli istatistiksel analizlerle tanımlanarak azaltılabilir (Nakane and Haidary, 2010; Mokhtari et al., 2013).

Yapılan araştırmalarda enerji dengesinin önemli bileşenlerinden hissedilebilir ısı akısının, sıcak ve soğuk hücre olarak adlandırılan iki referans noktaya üst düzeyde duyarlı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle SEBAL ve METRIC gibi modellerde uygun sıcak ve soğuk hücre seçimi ET'nin doğru tahmini için oldukça önemlidir (Timmermans et al., 2007; Long et al., 2011; Bastiaanssen, 1995; Wang et al., 2009). METRIC modeline göre sıcak ve soğuk koşulu sağlayan hücreler tarım arazilerine denk gelen hücrelerden elle seçilmektedir (Allen et al., 2005; 2007; Gowda et al., 2008). Bilindiği gibi bir uydu görüntüsü çok fazla sayıda hücreden (Örneğin LANDSAT 5 için  $3.5 \times 10^7$  adet) oluşmaktadır. Bu nedenle bu seçim oldukça zor ve zahmetlidir. Bu amaçla bazı araştırmacılar soğuk ve sıcak hücre seçiminde ortak bir görüntü işleme yazılımında otomatik olarak seçimler yapmışlardır. Fakat

çalışmalarında araştırmacılar en güvenilir seçimin elle seçim olduğunu özellikle vurgulamaktadırlar (Allen et al., 2013). Bu yüzden sıcak ve soğuk hücre seçiminde yapılacak olan hata, kalibrasyona gerek duyan  $dT$ ,  $rah$ ,  $H$  gibi parametrelerin hesabında dolayısıyla da ET haritalarında hatalara neden olacaktır.

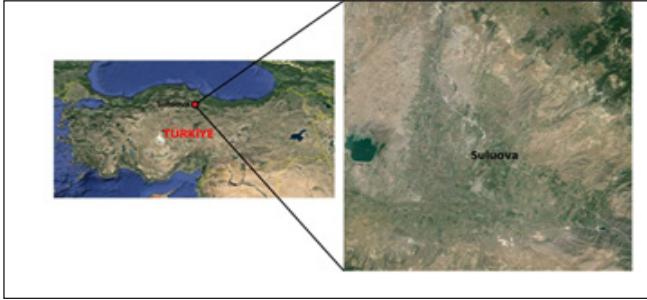
Bu çalışmanın amacı, soğuk ve sıcak hücre seçiminde yapılan hataların ET haritalarına etkisinin tespit edilmesi ve ET haritalamada soğuk ve sıcak hücrelerin seçiminde hataya neden olan parametrelerin çeşitli istatistiksel analizlerle değerlendirilmesidir. Çalışma yarı-kurak iklim koşullarına sahip Amasya İli, Suluova ilçesi için yürütülmüş ve LANDSAT 5-TM uydu görüntüleri kullanılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çalışma Alanına İlişkin Bilgiler

Çalışma Amasya iline bağlı Suluova ilçesi tarım arazileri için yürütülmüştür (Şekil 1). Suluova, Amasya'nın 25 km batısında yer almaktadır. Başlıca temel geçim kaynağını tarım ve hayvancılık oluşturmaktadır. İlçe alanının %59'u tarım arazisi, %16'sı çayır-mera, %9.8'i orman-çalılık ve %15.2'si kıraç alanlardan oluşmaktadır. Suluova'nın başlıca su kaynakları Tersakan Irmağı ve Yedikır Barajı'dır. Ayrıca bazı köylerde sulama amaçlı kullanılan suni göletler bulunmaktadır. Yedikır Barajı ile birlikte sulu tarıma geçilen Suluova ilçesinde, sanayi bitkilerinin yanında bağ ve bahçe tarımı (meyvecilik, sebzeçilik) yapılmaya başlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma Alanı Coğrafi Konumu

Figure 1. Geographical Location of the Study Area

### 2.1.2. Çalışmada Kullanılan İklim Verileri

Bu çalışmada uydu görüntülerinin işlenmesinde saatlik iklim verilerinden yararlanılmıştır. Atmosfer sıcaklığı (Ta), atmosferik basınç (P), oransal nem (RH), güneş radyasyonu (Rs) ve rüzgar hızı (u) verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne (MGM) bağlı Amasya meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir. Son 30 yıllık iklim verilerine göre ortalama sıcaklık değeri 13.7 °C iken ortalama oransal nem değeri %60'dır. Ortalama yıllık toplam yağış değeri ise 460.0 mm'dir.

### 2.1.3. Çalışmada Kullanılan Uydu Verileri

Bu çalışma için Amasya merkezli 25 Haziran 2007 ve 4 Temmuz 2010 tarihli 2 adet LANDSAT 5-TM uydu görüntüsü temin edilmiştir. LANDSAT 5-TM uydusunun spektral çözünürlüğü 0.45-12.5 µm, radyometrik çözünürlüğü 8 bit, zamansal çözünürlüğü 6 gün, tarama genişliği 185x170 km ve yörünge yüksekliği 705.0 km' dir. LANDSAT 5-TM uydusu, 1 tanesi termal olmak üzere toplam 7 banda sahiptir (Anonim, 2020).

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Uydu Görüntülerinde Sıcak ve Soğuk Hücrenin Seçilmesi ve ET Haritalama

Çalışmada ET'nin haritalanmasında uydu görüntüleri ve iklim verileri kullanılarak yüzey enerji dengesine dayanan METRIC modeli kullanılmıştır. Enerji dengesinin genel eşitliği Eşitlik 1'de verildiği gibidir. Eşitlikte gizli ısı akısı (LE), net Radyasyon (Rn), hissedilebilir ısı akısı (H) ve toprak ısı akısı (G)'nin birimleri W m<sup>-2</sup> cinsindedir (Allen et al., 2002; Tasumi et al., 2005a; Allen et al., 2005, 2007; Kjaersgaard et al., 2009; Mokhtari et al., 2013).

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

Çalışmada öncelikle Rn hesabında kullanılan vejetasyon indekslerinden albedo (α), Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI), Toprak Yansımalarını Dikkate Alan Vejetasyon İndeksi (SAVI) ve Yaprak Alan İndeksi (YAI) ve termal bant verisi ile vejetasyon indekslerine dayanan yüzey sıcaklığı (Ts) hesaplamaları detayları Allen et al. (2007)'de verildiği gibi yapılmıştır. METRIC modeli, H hesabında türbülanslı değişim süreçleri ve termal konveksiyonu dikkate alan standart Monin-Obukhov teoremini esas almaktadır. H Eşitlik 2'de verildiği gibi hesaplanmıştır. Burada, ρ havanın yoğunluğu (kg m<sup>-3</sup>), Cp hava sabitesi (J kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>), dT yüzey sıcaklığı ile atmosfer sıcaklığı arasındaki fark (°C) ve rah aerodinamik dirençtir (s m<sup>-1</sup>) (Bastiaanssen et al., 1998; Bastiaanssen and Boss, 1999; Bastiaanssen et al., 2001; Allen et al., 2005, 2007).

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \quad (2)$$

Rah ve H parametreleri uydu görüntüsünün her bir hücresinde birbiriyle ilişkili ve belirsizdir. Bu nedenle hesaplamalarında iterasyona gerek duyulmaktadır. Yüzey sıcaklığı ve atmosfer sıcaklığı parametrelerinden oluşan dT hesabında ise, METRIC modelinin belirttiği gibi, soğuk ve sıcak olmak üzere iki uç nokta arasında kalibrasyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Model uç koşulların doğru bir şekilde belirlenmesi ile daha yüksek doğrulukla görüntü işlemeye olanak sağlamaktadır. METRIC modeline göre, bu uç koşullar tarımsal alanlardan belirlenmektedir. Çünkü 30 m'lik çözünürlükte, doğal alanlarla karşılaştırıldığında tarımsal alanlarda farklılık daha azdır. Kalibrasyon noktaları toprak tamamen bitki örtüsüyle kaplı vejetasyon durumu yüksek ve bitki örtüsünün bulunmadığı çıplak veya çok az vejetasyona sahip tarım alanlarından belirlenmektedir. Toprak tamamen bitki örtüsüyle kaplı yeşil vejetasyona sahip alanlarda Ts ve dT değerleri yüksek buharlaşmadan dolayı düşüktür. Bu koşulu sağlayan yerler soğuk koşul olarak adlandırılırlar. Bitki örtüsünden yoksun, kuru ve çıplak toprak özelliklerine sahip yeni sürülmüş bir toprak yüzeyinin çok fazla ısınmasından dolayı Ts ve dT değerleri yüksektir. Bu koşulu sağlayan yerler ise sıcak koşul olarak adlandırılmaktadır (Allen et al., 2013). Bu çalışmada belirlenen soğuk hücreler; NDVI değeri yüksek (0.75-0.85 arasında), Ts değeri düşük (295-297 °K arasında) ve sıcak hücreler; NDVI değeri düşük (0.08-0.17 arasında), Ts değeri yüksek (316-320 °K arasında) tarım alanlarından görüntüler incelenerek gözle seçilmiştir. dT değerleri ile aynı hücrelerin Ts değerleri kullanılarak elde edilen doğrusal regresyonla  $dT = a + bTs$  eşitliğinin a ve b katsayıları belirlenmiştir. Ardından uydu görüntüsünün her bir hücresi için ilk dT hesabı yapılmıştır.

Bu çalışmada soğuk ve sıcak hücre seçimleri, yukarıda verilen temel yaklaşımlara göre, ele alınan iki uydu görüntüsünün her biri için belirlenmiştir. Böylece seçilen bu hücreler her bir uydu görüntüsü için esas soğuk (C1) ve sıcak (H1) hücreler olarak dikkate alınmıştır. Buna ek olarak, C1 ve H1 kullanılarak üretilen ET haritaları esas ET haritaları (ET1) olarak değerlendirilmiştir. METRIC ve SEBAL gibi modellerde soğuk ve sıcak hücrelerin çeşitli algoritmalarla otomatik olarak seçilmesi üzerine yapılmış bazı çalışmalar bulunsa da, Allen et al. (2013)'e göre tecrübeli bir uzman tarafından gözle seçim en güvenilir olanıdır. Bu alanda yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda soğuk ve sıcak hücre seçimi gözle yapılmaktadır. Ancak, büyük bir uydu görüntüsünde, çeşitli filtreleme teknikleri uygulanırsa ve yukarıda yer verilen temel yaklaşımlar dikkate alınsa bile, seçimde kimi zaman hata yapılabilmektedir. Bu çalışmada her bir uydu görüntüsü için, farklı soğuk ve sıcak hücreler belirlenmiştir. C1 ve H1'den farklı olarak, 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsü için 5 adet soğuk hücre (C2, C3, C4, C5 ve C6) ve 5 adet sıcak hücre (H2, H3, H4, H5 ve H6), 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsü için 4 adet soğuk hücre (C2, C3, C4 ve C5) ve sıcak hücre (H2, H3, H4 ve H5) belirlenmiştir.

Çalışmada farklı tarihlerde sıcak ve soğuk hücre sayısı aynı değildir. Çünkü hataya sebep olabilecek sıcak ve soğuk hücreler çalışmaya dahil edilmiştir. Böylece 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsü için, soğuk ve sıcak hücre kombinasyonları ile toplam 36 farklı ET haritası (ET1, ET2,...ET36), 4 Temmuz 2010 tarihli görüntü için toplam 25 farklı ET haritası (ET1, ET2,...ET25) hazırlanmıştır (Çizelge 1 ve 2).

**Çizelge 1.** 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsü için farklı sıcak ve soğuk hücrelerden elde edilen ET haritalarının kısaltmaları

**Table 1.** Abbreviations of ET maps obtained from different hot and cold pixels for satellite image dated June 25, 2007

<b>Sıcak Hücre</b> <b>Soğuk Hücre</b>	<b>H1 (esas)</b>	<b>H 2</b>	<b>H 3</b>	<b>H 4</b>	<b>H 5</b>	<b>H 6</b>
<b>C1 (esas)</b>	ET1(esas)	ET2	ET3	ET4	ET5	ET6
<b>C2</b>	ET7	ET8	ET9	ET10	ET11	ET12
<b>C 3</b>	ET13	ET14	ET15	ET16	ET17	ET18
<b>C 4</b>	ET19	ET20	ET21	ET22	ET23	ET24
<b>C 5</b>	ET25	ET26	ET27	ET28	ET29	ET30
<b>C 6</b>	ET31	ET32	ET33	ET34	ET35	ET36

**Çizelge 2.** 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsü için farklı sıcak ve soğuk hücrelerden elde edilen ET haritalarının kısaltmaları

**Table 2.** Abbreviations of ET maps obtained from different hot and cold pixels for satellite image dated July 4, 2010

<b>Sıcak Hücre</b> <b>Soğuk Hücre</b>	<b>H1 (esas)</b>	<b>H 2</b>	<b>H 3</b>	<b>H 4</b>	<b>H 5</b>
<b>C1 (esas)</b>	ET1(esas)	ET2	ET3	ET4	ET5
<b>C2</b>	ET6	ET7	ET8	ET9	ET10
<b>C 3</b>	ET11	ET12	ET13	ET14	ET15
<b>C 4</b>	ET16	ET17	ET18	ET19	ET20
<b>C 5</b>	ET21	ET22	ET23	ET24	ET25



ET haritalarını elde etmek için, her bir soğuk ve sıcak hücre kombinasyonu kullanılarak, her bir kombinasyon için ayrı bir H hesabı yapılmıştır. Bu hesaplama için, Allen et al. (2007)'de verilen yöntemler izlenmiştir. İlk olarak her bir kombinasyon için 'Ts ve dT' ye ilişkin kalibrasyon denklemleri elde edilmiştir. Bu denklemlerin elde edilmesinde bu hücrelerin Ts, Rn, G ve zom değerleri kullanılmaktadır. Bu işlemin ardından stabilite doğrulamasının tamamlanması için iterasyon işlemleri yürütülmüştür. Elde edilen H haritaları kullanılarak yukarıda açıklandığı gibi, günlük ET haritaları oluşturulmuştur.

### 2.2.2. İstatistiksel Analiz ve Değerlendirme

Bu çalışmada bir dizi istatistiksel analiz yapılmıştır. Çalışmada uydu görüntüleri işlenerek çeşitli haritalar elde edilmiştir. Bu haritaları oluşturan sayısal verilerle istatistiksel analiz yapılabilmesi için, bu sayısal verilerin harita formatında değil, numerik formatta kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla, uydu görüntülerinde çalışma alanı olan Suluova tarım arazileri kesilerek ayrılmış, ardından bu alanın sayısal verileri, her bir hücre bazında, koordinatlarına göre metin dosyası olarak kayıt edilmiştir. Son olarak bu sayısal değerler istatistiksel analizlerin yürütüleceği yazılımlara aktarılmıştır.

Çalışmada enerji dengesinin temel parametreleri olan NDVI, Ts, Rn ve G aralarındaki ilişkilerin değerlendirilmesi amacıyla regresyon analizleri yürütülmüş ve dağılım grafikleri hazırlanmıştır. Ardından Çizelge 1 ve 2' de kısaltmaları verilen ET haritalarının her birine ait olan sayısal veriler koordinatları temel alınarak istatistiksel analiz yapılmak üzere, ilgili yazılımlarda yan yana sütunlara yerleştirilmiştir. Her bir uydu görüntüsü için ET1 veri dizisi ile diğer ET veri dizilerinin (ET2, ET3, ET4....) karşılaştırması ve uyumunun değerlendirilmesi için  $r^2$  (determinasyon katsayısı) ve RMSE (hata kareleri ortalamasının karekökü) hesaplamaları yapılmıştır.

Çalışmada elde edilen RMSE değerleriyle soğuk ve sıcak hücrenin NDVI, Ts, Rn, G ve  $\alpha$  parametreleri arasında korelasyon analizi sonucunda korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Böylece her iki uydu görüntüsünde hata üzerine etkili parametreler daha kolay belirlenerek yorumlanmıştır. Farklı soğuk ve sıcak hücre kombinasyonlarına göre hazırlanan ET haritalarında, esas olarak göz önünde tutulan ET1' e göre hataya NDVI, Ts, Rn, G ve  $\alpha$  parametrelerinin hangisinin daha fazla etki ettiğinin belirlenmesi için kümeleme analizleri yürütülmüştür. Kümeleme analizleri bir önceki aşamada hesaplanan RMSE değerlerine göre yapılmıştır. Kümeleme analizi istatistiksel bir yazılım (SPSS 21.0) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kümeleme analizinde küme sayısı önceden bilinmediğinden hiyerarşik kümeleme analizi kullanılmıştır. Kümeleme analizinde kareli öklit uzaklığıyla değişkenlerin aralarındaki yakınlık uzaklık ilişkisine göre, değişkenlerdeki benzerlikler belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada kümeleme analizi yapılmasındaki amaç, değişken

sayısını daha aza indirip, değişkenlerin hataya etkisini daha kolay yorumlayabilmektir. Böylece, soğuk ve sıcak hücre seçiminin ET haritalamada neden olduğu hatanın en çok hangi enerji dengesi bileşeninden kaynaklandığı belirlenmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Referans Bitki Su Tüketimi Bulguları

Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonları olan Amasya için MGM Amasya istasyonundan temin edilen iklim verileri kullanılarak, ASCE EWRI (2005) ve Allen et al. (1998)' de verilen yöntemler esas alınarak, 25 Haziran 2007 ve 4 Temmuz 2010 tarihleri için saatlik ve günlük ETr değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan günlük referans ET değerleri sırasıyla 7.3 mm ve 6.62 mm'dir. Uydu görüntüsünün kayıt edildiği saatteki ETr değerleri ise 0.68 mm h<sup>-1</sup> ve 0.70 mm h<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 3.2. Çalışma Alanının Sıcak ve Soğuk Hücre Bulguları

Çalışmada esas olarak belirlenen sıcak ve soğuk hücre değerleri ve diğer sıcak ve soğuk hücre değerleri Ts ve NDVI haritalarına bağlı olarak belirlenmiştir. Belirlenen soğuk ve sıcak hücrelere ilişkin Ts, NDVI, Rn ve G değerleri Çizelge 3 ve 4'te verildiği gibidir. 25 Haziran 2007 ve 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsünde esas soğuk hücrenin (C1) Ts değeri diğer soğuk hücreler için belirlenen Ts değerlerinin en düşüğü (25 Haziran 2007 ve 4 Temmuz 2010 uydu görüntüsü için sırasıyla 295.559 °K ve 298.292 °K), esas sıcak hücrenin (H1) Ts değeri diğer sıcak hücreler için bulunan Ts değerinin ise en büyüğüdür (25 Haziran 2007 ve 4 Temmuz 2010 uydu görüntüsü için sırasıyla 319.359 oK ve 317.845 °K). Ortalama sıcak ve soğuk hücreler sırasıyla genel olarak 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsünde 295.559-297.592 °K ve 317.080-319.359 °K arasında değişirken, 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsünde 298.292-299.947 °K ve 315.541-317.845 °K arasında değişmektedir. Bhattarai et al., (2017)'de yapılan bir çalışmada, ET haritalanmasında sıcak ve soğuk hücrelerin seçiminde otomatik bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımda sıcak ve soğuk hücre Ts değerlerini seçmede 273-335 °K arası değerler baz alınmıştır. Bu çalışmada elde edilen sıcak ve soğuk hücre bulgularının daha önce yapılan bu çalışma ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 3.** 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsü için belirlenen soğuk ve sıcak hücrelerin Ts, NDVI, Rn, G ve  $\alpha$  değerleri

**Table 3.** Ts, NDVI, Rn, G, and  $\alpha$  values of cold and hot pixels determined for the satellite image dated June 25, 2007

Soğuk Hücre (C), Sıcak Hücre (H)	Ts (°K)	NDVI	Rn (W m <sup>-2</sup> )	G (W m <sup>-2</sup> )	$\alpha$
<b>C1 (esas)</b>	295.559	0.810	635.646	45.349	0.231
<b>C2</b>	296.650	0.861	662.941	37.432	0.189
<b>C3</b>	296.698	0.850	663.281	39.610	0.189
<b>C4</b>	297.592	0.845	618.724	41.678	0.233
<b>C5</b>	295.593	0.802	652.087	46.836	0.214
<b>C6</b>	296.893	0.807	656.095	48.127	0.201
<b>H1 (esas)</b>	319.359	0.126	518.812	129.225	0.215
<b>H2</b>	317.080	0.097	537.164	126.738	0.212
<b>H3</b>	318.604	0.115	532.085	128.806	0.206
<b>H4</b>	318.224	0.135	539.250	128.533	0.201
<b>H5</b>	318.463	0.091	539.181	127.422	0.207
<b>H6</b>	319.357	0.168	568.928	130.921	0.160

**Çizelge 4.** 4 Temmuz 2010 tarihli soğuk ve sıcak hücrelere ilişkin belirlenen soğuk ve sıcak hücrelerin Ts, NDVI, Rn, G ve  $\alpha$  değerleri

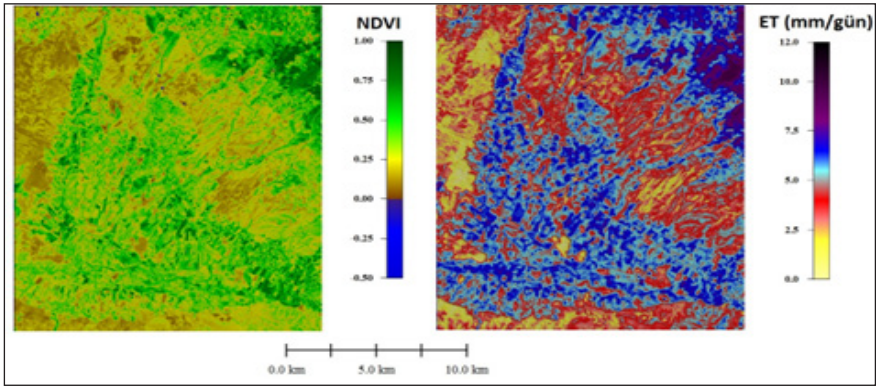
**Table 4.** Ts, NDVI, Rn, G and  $\alpha$  values of cold and hot pixels determined for cold and hot pixels dated July 4, 2010

Soğuk hücre (C), Sıcak hücre (H)	Ts (°K)	NDVI	Rn (W m <sup>-2</sup> )	G (W m <sup>-2</sup> )	$\alpha$
<b>C1 (esas)</b>	298.292	0.784	709.547	52.844	0.122
<b>C2</b>	298.987	0.824	642.517	47.379	0.191
<b>C3</b>	298.606	0.813	689.407	48.610	0.141
<b>C4</b>	299.947	0.800	654.964	53.264	0.172
<b>C5</b>	299.223	0.864	637.090	39.190	0.191
<b>H1 (esas)</b>	317.845	0.079	531.210	126.120	0.204
<b>H2</b>	315.541	0.117	578.055	123.648	0.168
<b>H3</b>	315.928	0.101	583.292	124.245	0.159
<b>H4</b>	316.697	0.109	571.685	125.309	0.167
<b>H5</b>	317.081	0.100	556.439	125.677	0.181

Çalışmada 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsü için esas olarak belirlenen soğuk ve sıcak hücrenin Rn ve G değerleri sırasıyla 635.646 W m<sup>-2</sup> ile 45.349 W m<sup>-2</sup> ve 518.812 W m<sup>-2</sup> ile 129.225 W m<sup>-2</sup>'dir (Çizelge 3). Çizelge 4'te belirtildiği gibi, 4 Temmuz 2010 tarihine ait görüntüde soğuk ve sıcak hücre için Rn ve G değerleri ise sırasıyla 709.547 W m<sup>-2</sup> ile 52.844 W m<sup>-2</sup> ve 531.210 W m<sup>-2</sup> ile 126.120 W m<sup>-2</sup> olarak belirlenmiştir.

### 3.3. Çalışma Alanının NDVI ve Evapotranspirasyon Haritaları

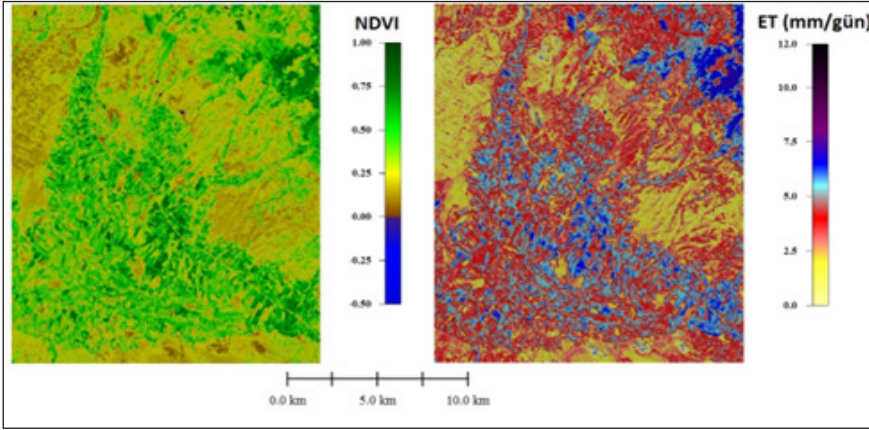
Çalışmada esas olarak seçilen sıcak ve soğuk hücre ile işlenen, Amasya ili, Suluova ilçesine ait 25 Haziran 2007 tarihli görüntüye ilişkin NDVI ve ET haritaları Şekil 2'de verildiği gibidir. Haritalardan görüldüğü gibi, genel olarak NDVI değerlerinin yüksek olduğu alanlarda ET değerleri de yüksek değerler almıştır. Blindiği gibi, tarım alanlarında gerçekleşen ET değerlerinin tespit edilmesinde bitki katsayısı ve referans bitki su tüketimi değerleri çarpılmaktadır (Allen et al., 1998). METRIC modelinde  $E_{Tr}$ , yonca bitkisinin referans bitki su tüketimi,  $E_{TrF}$  ise, yonca bitkisinin bitki katsayısı olarak tanımlanmaktadır. METRIC modelinde soğuk hücrenin  $E_{TrF}$  değeri 1,05 olarak alınmaktadır (Allen et al., 2007; Allen et al., 2013). Bu nedenle gelişim seviyesi yüksek iyi sulanan bir bitkinin ET değerleri  $E_{To} \times 1,05$  değerine yakın olacaktır. Çalışma alanında elde edilen  $E_{Tr}$  değerlerine göre, çalışmada ET değerleri yüksek olan tarım alanları daha çok ET'nin potansiyel durumda olduğu sulu tarım arazilerini göstermektedir. Bu alanların  $T_s$  değerlerinin soğuk hücrenin  $T_s$  değerlerine yakın olduğu tespit edilmiştir. ET haritasında genel olarak ET değerlerinin düşük olduğu yerler, sıcak hücreye yakın  $T_s$  değerlerine sahip bitki örtüsünden yoksun çıplak toprakları ifade etmektedir.



**Şekil 2.** 25.06.2007 tarihli uydu görüntüsüne ilişkin Amasya-Suluova ilçesi NDVI ve ET haritaları

**Figure 2.** NDVI and ET maps of Amasya-Suluova district related to satellite image dated June 25, 2007

Çalışmada esas olarak seçilen sıcak ve soğuk hücre ile METRIC modeli kullanılarak elde edilen 4 Temmuz 2010 tarihli görüntüye ait NDVI ve ET haritaları Şekil 3'de verilmiştir. NDVI ve ET arasında 25 Haziran tarihli görüntüden elde edilen sonuçlarla benzer bir ilişki söz konusudur. Fakat genel olarak 2010 yılında elde edilen haritalarda 2007 yılından daha düşük değerlere sahip NDVI ve ET değerleri tespit edilmiştir.

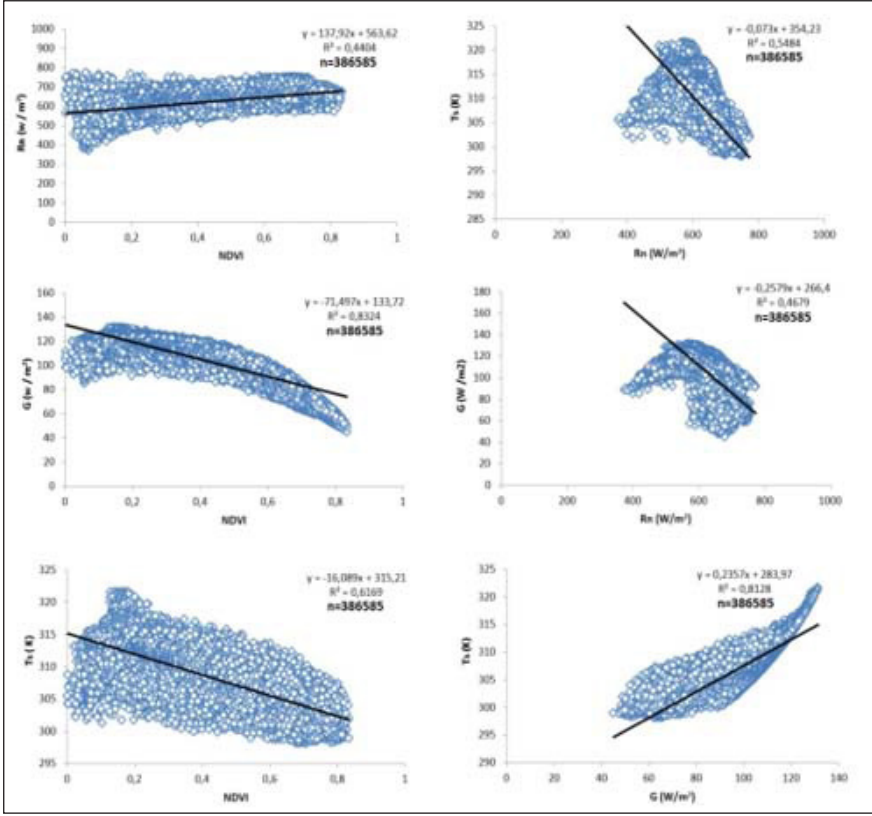


**Şekil 3.** Amasya-Suluova ilçesine ait 4 Temmuz 2010 tarihli NDVI ve ET haritaları

**Figure 3.** GNDVI and ET maps of Amasya-Suluova district dated July 4, 2010

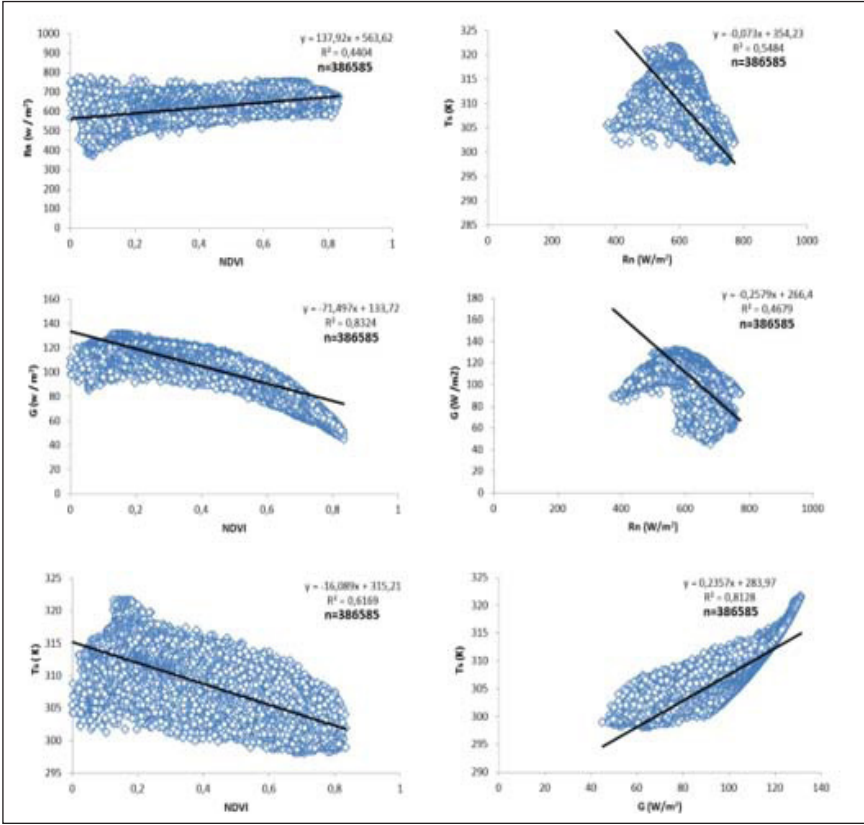
### 3.4. İstatistiksel Analiz ve Değerlendirme

Çalışmada enerji dengesinin temel parametreleri (NDVI, Ts, Rn ve G) arasında ilişkileri gösteren dağılım grafikleri, regresyon denklemleri ve determinasyon katsayıları Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. 25 Haziran tarihli uydu görüntüsünden elde edilen  $r^2$  değerleri NDVI ve Rn arasında 0.4404, NDVI ve G arasında 0.8324, NDVI ve Ts arasında 0.6169, Rn ile Ts arasında 0.5484, Rn ile G arasında 0.4679, G ile Ts arasında 0.8128 olarak bulunmuştur (Şekil 4). 4 Temmuz 2010 tarihli görüntüden elde edilen haritalardan elde edilen değerlere göre  $r^2$  değerleri NDVI ve Rn arasında 0.3820, NDVI ve G arasında 0.7785, NDVI ve Ts arasında 0.5382, Rn ile Ts arasında 0.5874, Rn ile G arasında 0.4082, G ile Ts arasında 0.8021 olarak saptanmıştır (Şekil 5).  $r^2$ 'nin genellikle + 1'e yakın olması değişkenler arasında pozitif yönlü güçlü bir doğrusal ilişkinin varlığını işaret etmektedir. Burada genel olarak enerji dengesi bileşenlerinden NDVI ile G arasında ve G ile Ts arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki mevcuttur.



**Şekil 4.** 25 Haziran 2007 tarihli görüntü için enerji dengesi parametrelerinden olan NDVI, Ts, Rn ve G arasında ilişkileri gösteren dağılım grafikleri, regresyon denklemleri ve determinasyon katsayıları

**Figure 4.** For the image dated June 25, 2007, distribution charts showing the relationships among energy balance parameters NDVI, Ts, Rn, G, regression equations, and determination coefficients



**Şekil 5.** 4 Temmuz 2010 tarihli görüntü için enerji dengesi parametrelerinden olan NDVI, Ts, Rn ve G arasında ilişkileri gösteren dağılım grafikleri, regresyon denklemleri ve determinasyon katsayıları

**Figure 5.** Distribution graphs showing the relationships among energy balance parameters NDVI, Ts, Rn, G for the image dated July 4, 2010, regression equations, and determination coefficients

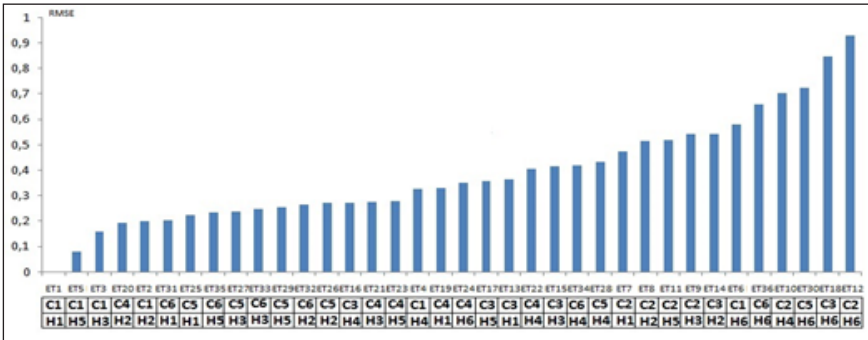
Çalışmada her iki uydu görüntüsü için elde edilen esas ET1 sayısal veri seti ile diğer ET sayısal veri setleri (ET2, ET3, ET4....) arasında hesaplanan  $r^2$  değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelgede verilen  $r^2$  değerlerine göre, esas olarak seçilen soğuk ve sıcak hücreyle haritalanan ET1 ve diğer ET'ler arasında yüksek anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir.

**Çizelge 5.** 25 Haziran 2007 ve 4 Temmuz 2010 tarihli görüntüleri ait ET1 ile diğer ET kombinasyonları arasında  $r^2$  değerleri

**Table 5.**  $r^2$  values between ET1 and other ET combinations from images dated June 25, 2007, and July 4, 2010

25 Haziran 2007								04 Temmuz 2010					
$r^2$	$r^2$		$r^2$		$r^2$		$r^2$	$r^2$		$r^2$			
ET1	1.000	ET10	0.988	ET19	0.989	ET28	0.999	ET1	1.000	ET10	0.967	ET19	0.966
ET2	0.991	ET11	0.994	ET20	0.999	ET29	0.989	ET2	0.995	ET11	0.998	ET20	0.970
ET3	0.992	ET12	0.990	ET21	0.989	ET30	0.992	ET3	0.997	ET12	0.991	ET21	0.976
ET4	0.990	ET13	0.989	ET22	0.990	ET31	0.990	ET4	0.996	ET13	0.994	ET22	0.963
ET5	1.000	ET14	0.997	ET23	0.989	ET32	0.990	ET5	0.998	ET14	0.993	ET23	0.968
ET6	0.988	ET15	0.989	ET24	0.987	ET33	0.990	ET6	0.973	ET15	0.996	ET24	0.966
ET7	0.987	ET16	0.987	ET25	0.990	ET34	0.990	ET7	0.961	ET16	0.976	ET25	0.969
ET8	0.975	ET17	0.997	ET26	0.999	ET35	0.989	ET8	0.966	ET17	0.963		
ET9	0.987	ET18	0.997	ET27	0.999	ET36	0.998	ET9	0.964	ET18	0.968		

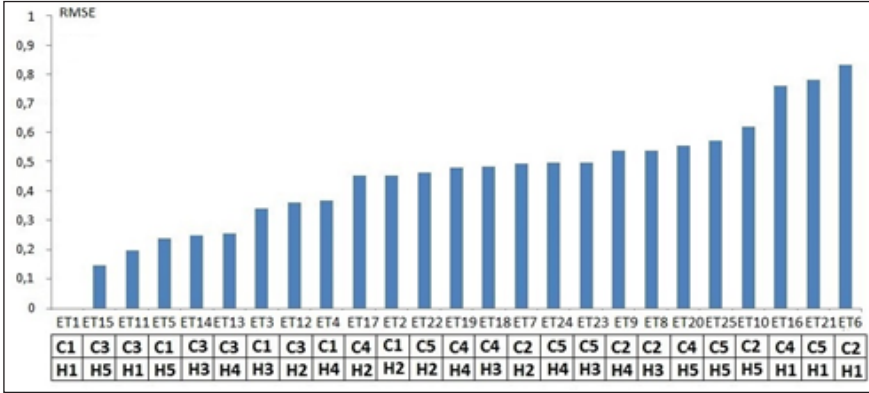
Çalışmada elde edilen diğer bir bulguda, esas ET1 ile diğer ET'ler arasında elde edilen RMSE değerleridir (Şekil 6 ve 7). Şekil 6'da görüldüğü gibi, 25 Haziran 2007 tarihli görüntüde RMSE değeri en düşük (0.079) olan yani ET1 ile en iyi uyumu gösteren ET kombinasyonu ET5 olarak tespit edilmiştir. RMSE değeri en yüksek (0.930), yani ET1'le kıyaslandığında hata oranı daha yüksek olan ET kombinasyonu ET12 olarak bulunmuştur. 4 Temmuz 2010 tarihli görüntü kullanılarak esas soğuk ve sıcak hücre ile elde edilen ET1 ile diğer ET karşılaştırıldığında hata oranı en az olan yani RMSE'si en düşük (0.145) ET kombinasyonu ET15 olarak tespit edilirken, hata oranı en yüksek, en yüksek RMSE ye (0.833) sahip ET kombinasyonu C2 soğuk hücresi ve H1 sıcak hücresi kullanılarak oluşturulan ET6 olarak tespit edilmiştir (Şekil 7).



**Şekil 6.** 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen esas ET1 ile diğer ET kombinasyonları arasındaki RMSE değerleri

**Figure 6.** RMSE values between base ET1 and other ET combinations obtained from satellite image dated June 25, 2007

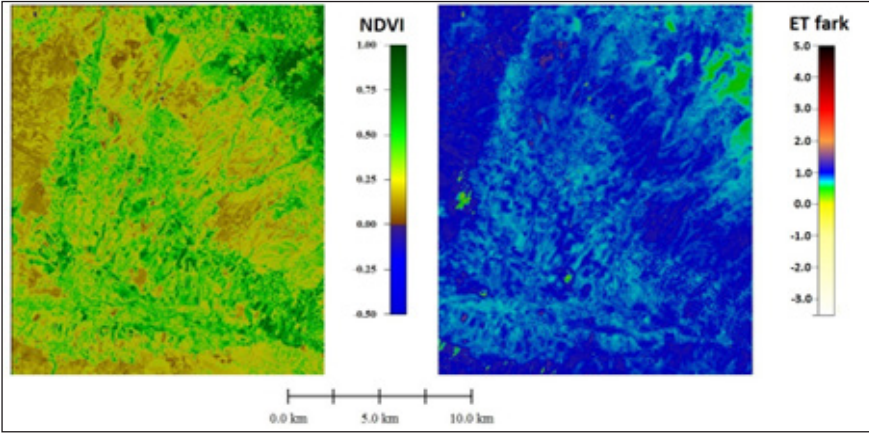




Şekil 7. 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsünden elde edilen esas ET1 ile diğer ET kombinasyonları arasındaki RMSE değerleri

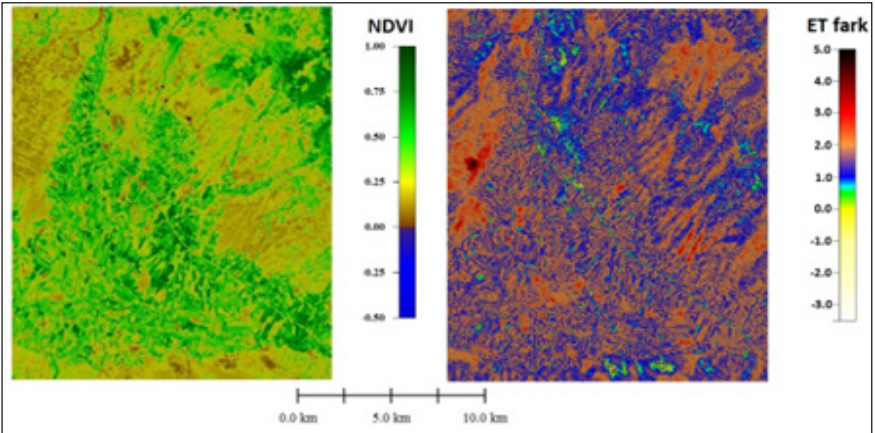
**Figure 7.** RMSE values between base ET1 and other ET combinations obtained from satellite image dated July 4, 2010

Çalışmada 25 Haziran 2007 ve 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsü için RMSE'si en yüksek olan ET kombinasyonu (25 Haziran 2007 uydu görüntüsünde ET12 ve 4 Temmuz uydu görüntüsü için ET6) ile esas ET (her iki görüntüde de ET1) görüntüleri birbirinden çıkarılarak fark haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan fark haritaları hatalı olarak soğuk ve sıcak hücre seçilerek elde edilen ET haritalarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen fark haritaları ve NDVI haritaları Şekil 8 ve 9'da verildiği gibidir. 25 Haziran 2007 uydu görüntüsünden elde edilen NDVI ve fark ET haritalarından görüldüğü gibi, NDVI değeri yüksek olan yerlerde esas ET1 ile hatası yüksek olan ET12 arasında daha düşük fark tespit edilmiştir (Şekil 8). NDVI düşük olan yerlerde ise fark değeri daha yüksek olarak belirlenmiştir. 4 Temmuz 2010 uydu görüntüsünde diğer görüntüyle benzer olarak, genel olarak vejetasyon yoğunluğu yüksek olan yerlerde, esas ET1 ile hatası yüksek ET arasında daha düşük fark bulunmuştur. Vejetasyon yoğunluğu düşük olan yerlerde ise fark daha yüksek tespit edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 8. 25 Haziran 2007 tarihi için hesaplanan fark haritası ve NDVI haritası

Figure 8. Difference map and NDVI map calculated for June 25, 2007



Şekil 9. 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsü için oluşturulan fark haritası ve NDVI haritası

Figure 9. The difference map and NDVI map created for the satellite image dated July 4, 2010

Çalışmada, esas ET1 ile diğer ET kombinasyonları arasında elde edilen RMSE değerleriyle soğuk ve sıcak hücrenin Ts, Rn, G, NDVI ve  $\alpha$  değerleri arasında korelasyon analizleri yapılmıştır. Yapılan korelasyon analizi sonucunda her iki görüntü için hesaplanan korelasyon katsayıları Çizelge 6 ve 7'de verildiği gibidir. 25 Hazi-

ran 2007 tarihli görüntü için elde edilen RMSE değerleri ile  $T_s$ ,  $R_n$ ,  $G$ ,  $NDVI$  ve  $\alpha$  değerleri arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda hata üzerinde sıcak hücre parametrelerinin soğuk hücre parametrelerinden daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Sıcak hücre parametrelerinden hata üzerinde en duyarlı parametreler sırasıyla  $\alpha$ ,  $R_n$ ,  $NDVI$ ,  $G$  ve  $T_s$ 'dir. Yurtsever (1984)'e göre gözlem sayısı ( $n$ ) 36 olduğunda korelasyon katsayısının anlamlı olması için 0.05 düzeyinde 0.321 olması, 0.01 düzeyinde 0.413 olması yeterlidir. Bu nedenle, burada soğuk hücrenin  $\alpha$ ,  $G$ ,  $NDVI$  ve  $R_n$  değerleri hem 0.05 düzeyinde hem de 0.01 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Sıcak hücrenin  $\alpha$ ,  $R_n$ ,  $NDVI$  ve  $G$  değerleri de 0.05 ve 0.01 düzeyinde anlamlı olarak tespit edilmiştir.

**Çizelge 6.** 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsü için belirlenen RMSE değerleriyle soğuk ve sıcak hücrenin  $T_s$ ,  $R_n$ ,  $G$ ,  $NDVI$  ve  $\alpha$  değerleri arasındaki korelasyon katsayıları

**Table 6.** Correlation coefficients between RMSE values determined for satellite image dated June 25, 2007, and  $T_s$ ,  $R_n$ ,  $G$ ,  $NDVI$ , and  $\alpha$  values of cold and hot pixels

<b>Soğuk Hücre r değerleri</b>		<b>Sıcak Hücre r değerleri</b>	
<b>RMSE-<math>T_s</math></b>	0.137	<b>RMSE-<math>T_s</math></b>	0.291
<b>RMSE-<math>R_n</math></b>	0.419	<b>RMSE-<math>R_n</math></b>	0.614
<b>RMSE-<math>G</math></b>	-0.454	<b>RMSE-<math>G</math></b>	0.441
<b>RMSE-<math>NDVI</math></b>	0.432	<b>RMSE-<math>NDVI</math></b>	0.589
<b>RMSE-<math>\alpha</math></b>	-0.511	<b>RMSE-<math>\alpha</math></b>	-0.676

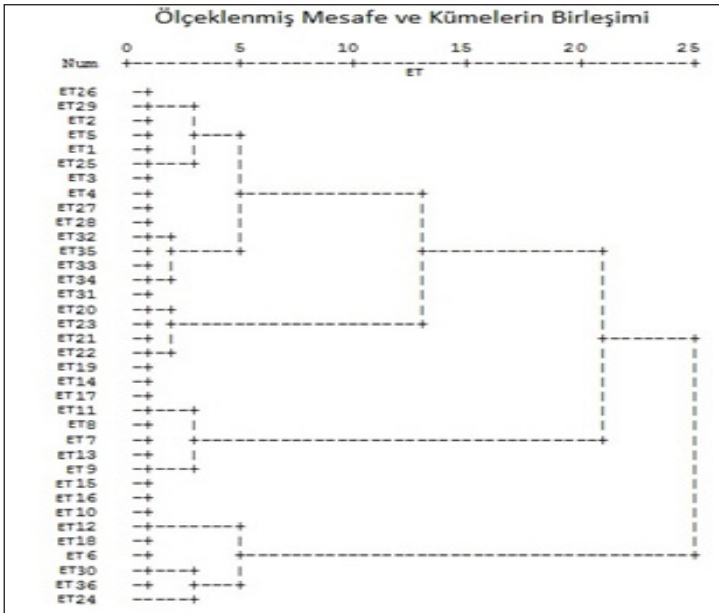
**Çizelge 7.** 25 Haziran 2007 tarihli uydu görüntüsü için belirlenen RMSE değerleriyle soğuk ve sıcak hücrenin  $T_s$ ,  $R_n$ ,  $G$ ,  $NDVI$  ve  $\alpha$  değerleri arasındaki korelasyon katsayıları

**Table 7.** Correlation coefficients between RMSE values determined for satellite image dated June 25, 2007, and  $T_s$ ,  $R_n$ ,  $G$ ,  $NDVI$ , and  $\alpha$  values of cold and hot pixels

<b>Soğuk Hücre r değerleri</b>		<b>Sıcak Hücre r değerleri</b>	
<b>RMSE-<math>T_s</math></b>	0.578	<b>RMSE-<math>T_s</math></b>	0.115
<b>RMSE-<math>R_n</math></b>	-0.743	<b>RMSE-<math>R_n</math></b>	-0.15
<b>RMSE-<math>G</math></b>	-0.311	<b>RMSE-<math>G</math></b>	0.087
<b>RMSE-<math>NDVI</math></b>	0.431	<b>RMSE-<math>NDVI</math></b>	-0.135
<b>RMSE-<math>\alpha</math></b>	0.746	<b>RMSE-<math>\alpha</math></b>	0.158

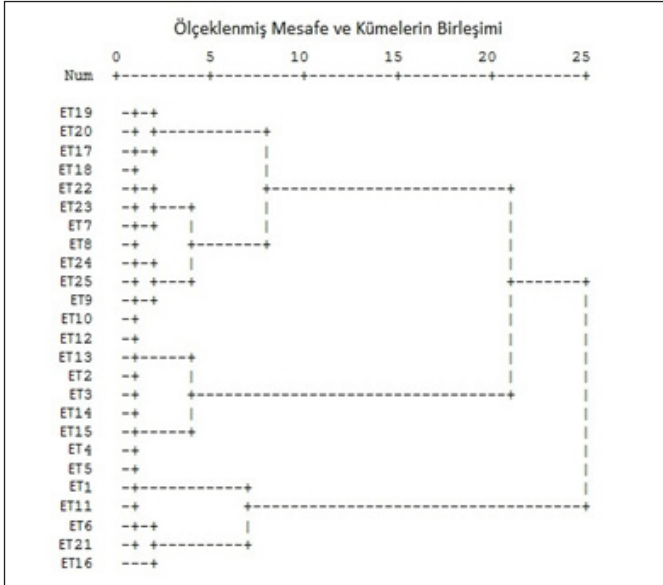
Çizelge 7'de görüldüğü gibi, hata üzerinde soğuk hücrenin Ts, Rn, G, NDVI ve  $\alpha$  parametreleri, sıcak hücrenin Ts, Rn, G, NDVI ve  $\alpha$  parametrelerinden daha etkili olduğu saptanmıştır. Soğuk hücre parametreleri içinde hataya en duyarlı parametreler sırasıyla  $\alpha$ , Rn, Ts, NDVI ve G'dir. Mokhtari et al., 2013'de yapılan bir çalışmada METRIC modeli ile elde edilen ET haritasında, modelin dT, Ts, Rn, H,  $\alpha$ , G ve hava sıcaklığına (Ta) oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir. Yurtsever (1984)'e göre gözlem sayısı (n) 25 olan veri setlerinde korelasyon katsayısının anlamlı olması için 0.05 düzeyinde 0.381 ve 0.01 düzeyinde 0.487 olmasının yeterli olduğu belirtilmektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi, 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsünde soğuk hücrenin  $\alpha$ , Rn ve Ts değerleri 0.01 düzeyinde anlamlı, NDVI değeri 0.05 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Fakat sıcak hücrenin hiçbir parametre değeri anlamlı bulunmamıştır.

Çalışmanın istatistiksel olarak değerlendirilmesinde son aşama kümeleme analizi olmuştur. Kümeleme analizi, hataya neden olan parametreleri belirlemek ve esas uydu görüntüsüne benzer olan kombinasyonları ortaya çıkarmak amacıyla yapılmıştır. Enerji dengesi bileşenlerinden H'nin belirlenmesinde etkin rol oynayan ve hataya neden olabilecek en temel parametreler girdi olarak seçilmiştir. Bu amaçla esas ET kombinasyonu ile hatalı ET kombinasyonları arasında belirlenen RMSE ile soğuk ve sıcak hücrelere ilişkin belirlenen NDVI, Ts, Rn, G ve  $\alpha$  parametreleri ile kümeleme analizi yapılmıştır. Her iki görüntü için yapılan kümeleme analizi sonucu elde edilen dendogramlar Şekil 10 ve 11'de gösterildiği gibidir.



Şekil 10. 25 Haziran 2007 tarihli görüntüye ait kümeleme analizi sonuçları

Figure 10. Results of cluster analysis for the image dated June 25, 2007



**Şekil 11.** 4 Temmuz 2010 tarihli görüntüye ait kümeleme analizi sonucunda elde edilen dendrogram

**Figure 11.** Dendrogram obtained as a result of the cluster analysis of the image dated July 4, 2010

25 Haziran 2007 tarihli görüntü için elde edilen dendrograma göre (Şekil 10), RMSE, NDVI, Ts, Rn ve G parametrelerine göre esas ET1 ile benzer özelliklere sahip kombinasyonlar ET25, ET5, ET2 ve ET29 olurken, ET1 ile kareli öklit uzaklığına göre en uzak kümeler ET24, ET36, ET30 ET6, ET18 ve ET12 olarak tespit edilmiştir. Buna göre benzer olan kombinasyonların NDVI, Ts, Rn, G ve  $\alpha$  değerlerine bakılacak olursa, hata değerlerinin birbirine yakın olan kombinasyonlarda olduğu görülmektedir. Benzer olmayan yani uzak olan kombinasyonların hata değerlerinin ise genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca benzer olmayan kombinasyonların hepsinin sıcak hücrelerinin (H6) aynı, soğuk hücrelerinin farklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle 25 Haziran tarihli görüntüde hataya neden olan parametrelerin daha çok soğuk hücre seçiminden kaynaklandığı söylenebilir. 4 Temmuz 2010 tarihli uydu görüntüsü için yapılan kümeleme analizi sonucunda (Şekil 11), ET1 ile benzer özelliklere sahip ET kombinasyonları ET11, ET6, ET21 ve ET 16'dır. Kareli öklit uzaklığı hesaplanarak belirlenen ET1'e en uzak ET kombinasyonları ET19, ET20 ve ET 17'dir. Esas ET1'e en yakın ET kombinasyonlarının hepsinde sıcak hücre değerlerinin aynı, soğuk hücre değerlerinin farklı olduğu saptanmıştır. O halde soğuk hücre seçiminin yapılan hatada fazla etkili olmadığı bu uydu görüntüsünde belirlenmiştir. ET1'e en uzak benzer olmayan ET19, ET20

ve ET17'nin soğuk ve sıcak hücredeki NDVI, Ts, Rn, G ve  $\alpha$  değerleriyle değerlendirme yapılırsa, benzer olmayan ET kombinasyonlarında soğuk hücrelerin aynı, sıcak hücrelerin farklılık gösterdiği saptanmıştır. Bu durumda sıcak hücrenin ET üzerindeki hatalar üzerine daha etkili olduğu belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

METRIC modeli yarı-kurak alanlarda ET'nin mekansal ve zamansal dağılımını belirlemek için uygun bir yüzey enerji dengesi modeli olarak bilinmektedir. Evapotranspirasyon ise enerji dengesi modellerinde en temel bileşendir. Ayrıca ET'nin belirlenmesi sırasında H'nin hesaplanması, diğer enerji dengesi bileşenlerinden daha karmaşık işlemler dizini içermektedir. Bu işlemler içerisinde dT ve zom hesabındaki içsel kalibrasyonlar, rah hesabındaki stabilite doğrulaması ve H'ye ulaşmadaki iterasyon işlemleri söz konusu hesaplama dizininin karmaşık bölümlerini oluşturmaktadır. METRIC modelinde kalibrasyon işlemleri soğuk ve sıcak hücre gibi iki uç koşul kullanılarak tamamlanmaktadır. Bu koşullar iyi tanımlandığında ET haritaları doğru bir şekilde elde edilebilecektir. Bu nedenle, METRIC model ile ET haritalamada sıcak ve soğuk hücre seçimi, meydana gelebilecek olası hataların önüne geçmek açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla hataya neden olan kaynakların araştırılıp ortaya konması gerekmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, LANDSAT 5-TM uydu görüntüleri ve iklim verileri enerji dengesine dayanan modeller kullanılarak ET haritalama amacıyla kullanılabilir. Bu çalışmada iki görüntü için yapılan kümeleme analizleri ve korelasyon analizleri sonucunda, her iki görüntüde de hata üzerine etkili olan parametreler farklı bulunmuştur. Her iki uydu görüntüsünde hataya duyarlı parametrelerin farklı olmasının nedenleri arasında görüntü tarihleri, ekim deseni, arazi kullanım durumunun farklılık göstermesi söylenebilir. Fakat çalışmada iki uydu görüntüsünde de hataya en duyarlı parametreler içerisinde net radyasyonun önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Bu konunun netleşmesi için daha geniş çaplı yer gözlemlerinin de dahil edildiği birtakım çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

#### Yazar Katkı Oranları

Çalışmanın Tasarlanması (Design of Study): SÇT (%50), EK (%30), ET (%20)

Veri Toplanması (Data Acquisition): SÇT (%60), EK (%20), ET (%20)

Veri Analizi (Data Analysis): SÇT (%70), EK (%20), ET (%10)

Makalenin Yazımı (Writing up): SÇT (%60), EK (%30), ET (%10)

Makalenin Gönderimi ve Revizyonu (Submission and Revision): SÇT (%70), EK (%20), ET (%10)

## KAYNAKLAR

- Allen, R.G., Morse, A. Tasumi, M., Trezza, R., Bastiaanssen, W., Wright, J.L., and Kramber W., 2002. Evapotranspiration from a satellite based surface energy balance for the Snake Plain Aquifer in Idaho. Proceedings of the 2002 USCID/EWRI Conference, San Luis Obis July 9-12, p 167-178.
- Allen, R.G. and Bastiaanssen, W.G.M. 2005. Special issue on remote sensing of crop evapotranspiration for large regions. *Irrigation and Drainage Systems*, 19, 207-210.
- Allen, R.G. Burnett, B., Kramber, W., Huntington, J., Kjaersgaard, J., Kilic, A., Kelly, C., Trezza, R., 2013. Automated Calibration Of The Metric-LANDSAT Evapotranspiration Process, *Journal Of The American Water Resources Association*, Vol. 49, No. 3 563-576.
- Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements." FAO Irrig. and Drain. Paper No. 56, Food and Agriculture Organization, Rome.
- Allen, R., Tasumi, M., Morse, A. and Trezza, R. 2005. A LANDSAT-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrigation and Drainage Systems*, 19 (3), 251-268.
- Allen, R.G., Tasumi, M. and Trezza, R. 2007. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) Model. *J. Irrig. Drain Eng.*, 133 (4), 380-394.
- Anonim, 2020. [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science\\_support\\_page\\_relate\\_d\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-5?qt-science_support_page_relate_d_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- ASCE-EWRI, 2005. ASCE-EWRI The ASCE standardized reference evapotranspiration equation R.G. Allen, I.A. Walter, R.L. Elliot, al. et (Eds.), Environmental and Water Resources Institute (EWRI) of the American Society of Civil Engineers, ASCE, Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Final Report, American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA (2005).
- Bastiaanssen, W.G.M. and Bandara, K.M.P.S. 2001. Evaporative depletion assessments for irrigated watersheds in Sri Lanka. *Irrigation Science*. 21:1-15.
- Bastiaanssen W.G.M., and Bos M.G. 1999. Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature. *Irrigation and Drainage Systems* 13: 291-311.
- Bastiaanssen W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.M.M., 1998: A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): I. Formulation. *J. Hydrology* 212-213, 198-212.
- Bastiaanssen, W.G.M. 1995. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates, Dissertation, 273 Wageningen: Agricultural University of Wageningen.
- Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P. and Allen, R.G. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *J. Irrig. Drain Eng.*, 131 (1), 85-93.
- Bhattarai, N., Quackenbush, L. J., Im, J., & Shaw, S. B. 2017. A new optimized algorithm for automating endmember pixel selection in the SEBAL and METRIC models. *Remote Sensing of Environment*, 196, 178-192.
- Chavez, J.L., Gowda, P.H., Howell, T.A., Marek, T.H. and New, L.L. 2007. Evapotranspiration mapping using METRIC TM for a region with highly advective conditions. In 2007 ASABE Annual International Meeting, Technical Papers, Vol. 4 Book.
- Chavez, J.L., Gowda, P.H., Howell, T.A. and Copeland, K.S. 2009. Radiometric surface temperature calibration effects on satellite based evapotranspiration estimation. *Int. J. Remote Sens.*, 30 (9), 2337 - 2354.
- Choi, M., Kustas, W.P., Anderson, M.C., Allen, R.G., Li, F. and Kjaersgaard, J. . 2009. An intercomparison of three remote sensing-based surface energy balance algorithms over a corn and soybean production region (Iowa, U.S.) during SMACEX. *Agr. Forest Meteorol.* 149 (12), 2082-2097.
- Conrad, C., Dech, S., Hafeez, M., Lamers, J., Martius, C. and Strunz, G. 2007. Mapping and assessing water use in a Central Asian irrigation system by utilizing MODIS remote sensing products. *Irrigation and Drainage Systems*, 21 (3), 197-218.
- Ferrari, G., Mondéjar-Jiménez, J. and Vargas - Vargas, M. 2010. Environmental Sustainable Management of Small Rural Tourist Enterprises. *Int. J. Environ. Res.*, 4 (3), 407-414.
- Gowda, P., Chavez, J., Howell, T., Marek, T. and New, L. 2008. Surface Energy Balance Based Evapotranspiration Mapping in the Texas High Plains. *Sensors*, 8 (8), 5186-5201.
- Hendrickx, J.M.H., Kleissl, J., Velez, J.D.G., Hong, S.H., Duque, J.R.F., Vega, D., Ramirez, H.A.M. and Ogden, F.L. 2007. Scintillometer networks for calibration and validation of energy balance and soil moisture remote sensing algorithms. In Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XIII,

- Vol. 6565, 65650W-65616 Orlando, FL, USA: SPIE.
- Irmak, A. and Kamble, B. 2009. Evapotranspiration data assimilation with genetic algorithms and SWAP model for on-demand irrigation. *Irrigation Sci.*, 28 (1), 101-112.
- Kjaersgaard, J.H., and Allen R.G., 2009. Field-Scale Evapotranspiration for the Mission Valley using METRIC. Report submitted to the Montana Department of Natural Resources and Conservation. University of the Idaho, Kimberly, Idaho. 106p.
- Lin, M.L., Chu, C.M. and Tsai, B.W. 2011. Drought Risk Assessment in Western Inner-Mongolia. *Int. J. Environ. Res.*, 5 (1), 139-148.
- Long, D., Singh, V.P. and Li, Z.L. 2011. How sensitive is SEBAL to changes in input variables, domain size and satellite sensor? *J. Geophys. Res.*, 116, D21107, doi:10.1029/2011JD016542.
- Mokhtari, M.H., Ahmad, B., Hoveidi, H., Busu, I., 2013. Sensitivity Analysis of METRIC-Based Evapotranspiration Algorithm. *Int. J. Environ. Res.*, 7(2):407-422.
- Mondéjar-Jiménez, J.A., Cordente-Rodríguez, M., Meseguer-Santamaría, M. L. and Gázquez-Abad, J. C. 2011. Environmental Behavior and Water Saving in Spanish Housing. *Int. J. Environ. Res.*, 5 (1), 1-10.
- Nakaneve, K. and Haidary, A. 2010. Sensitivity Analysis of Stream Water Quality and Land Cover Linkage Models Using Monte Carlo Method. *Int. J. Environ. Res.*, 4 (1), 121-130.
- Ramos, J.G., Cratchley, C.R., Kay, J.A., Casterad, M. A., Martínez-Cob, A. and Domínguez, R. 2009. Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground meteorological data available for the Flumen District into the Ebro Valley of N.E. Spain. *Agr. Water Manage.*, 96 (4), 638-652.
- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R. and Wright, J. 2005a. Operational aspects of satellite based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. *J. Irrigation Drain. Systems*, 19, 355-376.
- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R. and Wright, J. 2005b. 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.
- Trezza, R. 2006. Estimation Of Evapotranspiration From Satellite-Based Surface Energy Balance Models For Water Management in the Rio Guarico irrigation system, Venezuela. In *Earth Observation For Vegetation Monitoring and Water Management*, 852 (1), 162-169 (Paper presented at the AIP, Naples Italy).
- Timmermans, W.J., Kustas, W. P., Anderson, M. C. And French, A. N. 2007. An intercomparison of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and the Two-Source Energy Balance (TSEB) modeling schemes. *Remote Sens. Environ.*, 108 (4), 369-384.
- Wang, J., Sammis, T.W., Gutschick, V.P., Gebremichael, M. and Miller, D. R. 2009. Sensitivity Analysis of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). *Transactions of the ASABE*, 52 (3), 801-811.
- Yurtsever, N., 1984. Deneysel İstatistik Metotlar, Tarım, Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 121, Ankara.



