



## Bursa Karacabey Ovasında Son 25 Yılda Değişen Bitkisel Üretim Deseni ve Sulama Uygulamalarının Uzaktan Algılama ve ET Haritalama Tekniği ile Değerlendirilmesi<sup>a</sup>

Eyüp Selim KÖKSAL<sup>1\*</sup>, Sakine ÇETİN<sup>1</sup>, Ali Osman DEMİR<sup>2</sup>, Emre TUNCA<sup>1</sup>  
Burak Nazmi CANDOĞAN<sup>2</sup>, Ş. Tülin AKKAYA ASLAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun, Türkiye,

<sup>2</sup>Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye,

\*Sorumlu yazar ORCID: 0000-0002-5103-9170

e-posta (Corresponding author e-mail): eselim@omu.edu.tr, eselimk@yahoo.com

Yazar(lar) ORCID: 0000-0003-7333-4250, 0000-0003-3409-6680, 0000-0001-6869-9602,  
0000-0001-9898-5685, 0000-0001-5129-8642

e-posta (Author-s e-mail): sakine.cetin@omu.edu.tr, aodemir@uludag.edu.tr,  
emre.tunca@omu.edu.tr, bncandogan@uludag.edu.tr, akkaya@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi (Received): 10.11.2017; Kabul Tarihi (Accepted): 26.02.2018

**Öz:** Tarımsal üretimde bitki deseni, sulama ve gübreleme gibi konularda alınan kararlar, sosyo-ekonomik koşullar, tarımsal alt yapı olanakları ve teknolojik değişimler doğrultusunda bir yıldan diğerine farklılık gösterebilmektedir. Karacabey Ovası hem Marmara Bölgesi hem de Türkiye için önemli düzeyde tarımsal üretim potansiyeline sahip ovalardan birisidir. Yakın geçmişte ovanın üretim potansiyelinin artırılmasına yönelik sulama ve arazi toplulaştırması gibi önemli tarımsal alt yapı yatırımları gerçekleştirilmiştir. Tarım alanlarının izleme ve değerlendirilmesinde, uzaktan algılama teknikleri, örnelemeye dayalı tekniklere göre, daha etkili, ucuz ve pratiktir. Bu çalışmada, 1990-2015 yılları arasında Karacabey Ovası'na ait, Landsat 5 TM ve Landsat 8 uydu görüntüleri işlenerek, vejetasyon ve evapotranspirasyon (ET) durumunu temsil eden haritalar hazırlanmıştır. Aynı dönemlere ait görüntüler kendi içerisinde değerlendirilerek, Karacabey Ovası'nda söz konusu zaman diliminde sulama suyu kullanım durumu ve bitkisel üretim desenindeki genel değişimler değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uzaktan algılama, evapotranspirasyon, landsat uydu görüntüleri, vejetasyon indeksleri.

<sup>a</sup> Köksal, E.S., Çetin, S., Demir, A.O., Tunca, E., Candoğan, B.N. ve Aslan, Ş.T. 2018. Bursa Karacabey Ovasında Son 25 Yılda Değişen Bitkisel Üretim Deseni ve Sulama Uygulamalarının Uzaktan Algılama ve ET Haritalama Tekniği ile Değerlendirilmesi. *Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 32 (2), 31-43.

# Evaluation of Cropping Pattern and Irrigation Regimes Variation within The Last 25 years Through Remote Sensing and ET Mapping Techniques

**Abstract:** Cropping pattern of agricultural production could be changed from one year to another based on, decisions made about irrigation and fertilization, socio-economic situations, agricultural infrastructure opportunities and technological improvements. Karacabey Plains is one of the important areas of Turkey and Marmara region which have an important agricultural production potential. In order to increase the agricultural production in plains land consolidation and irrigation infrastructure have been re-established. Remote sensing offers more cheaper and practical tools instead of techniques depending on sampling, for agricultural management. In this study, vegetation and evapotranspiration (ET) maps of Karacabey Plains were generated by processing the Landsat 5 and 8 satellite images. By this way, these maps were evaluated to understand the change of cropping pattern and irrigation water usage in Karacabey Plains.

**Keywords:** Remote sensing, evapotranspiration, landsat satellite images, vegetation index.

## Giriş

Uzaktan algılama başta tarım olmak üzere birçok sektör tarafından artan bir şekilde araştırma amacıyla ve/veya uygulamada kullanılmaktadır. Bitkisel üretimde etkili bir yönetim ancak konumsal ve zamansal olarak çok değişken olan tarım alanlarına ilişkin veri ve bilgi elde etmeye dayanmaktadır. Yoğun işgücü ve parasal kaynak gerektiren arazi gözlemlerine alternatif olarak uzaktan algılama teknikleri kullanılabilir ve bu bakımdan uydu görüntüleri tarımsal yönetimde önemli bir yer tutmaktadır (Gowda ve ark., 2008). Uydu görüntülerine dayalı bu teknikler, bitki ve toprak koşullarının sezon boyu ve yıllar arasındaki değişimlerinin izlenmesinde, sulu tarım alanlarında sulama uygulamalarının değerlendirilmesinde, buna bağlı olarak su ücretlerinin belirlenmesinde ve su kaynaklarının yönetiminde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Droogers ve ark., 2010).

Uzaktan algılama teknikleriyle meteorolojik veriler bir arada kullanılarak enerji dengesi algoritmalarına dayanan çeşitli modeller geliştirilmiştir (Bastiaanssen ve ark., 2001, Polhamusa ve ark., 2013). Bu modellerden bazıları SEBAL (Bastiaanssen ve ark., 1998a), SEBS (Su, 2002), TSEB (Norman ve ark., 2000), METRIC (Allen ve ark., 2007a), Alexi (Anderson ve ark., 2007) ve ETWatch (Wu ve ark., 2012)'dur.

Enerji dengesine dayanan modeller, Evapotranspirasyonun (ET) konumsal ve zamansal olarak haritalanmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte modeller vejetasyona bağlı olan çeşitli göstergeleri (NDVI, SAVI, YAI ve albedo) kullanarak enerji dengesi bileşenleri olan Net Radyasyon (Rn), Toprak Isı Akısı (G), Hissedilebilir Isı Akısı (H) ve Gizli Isı Akısının (LE) ayrı ayrı tahmin edilip haritalanmasına dayanmaktadır (Bastiaanssen ve ark., 1998a; 1998b; Allen ve ark., 2005, 2007a; Kjaersgaard ve ark., 2009).

Bu çalışmada, Karacabey Ovasının 1990-2015 yılları arasında sulama suyu kullanma durumu ve vejetasyon durumundaki değişimlerin uzaktan algılama teknikleriyle değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

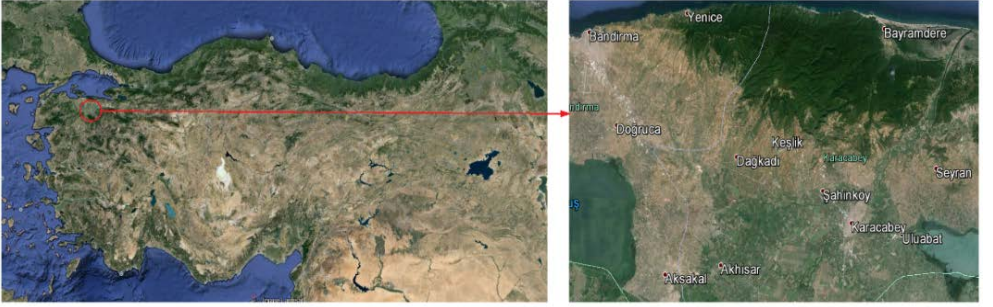
# Materyal ve Yöntem

## Materyal

### Çalışma Alanı

Çalışma Bursa ili, Karacabey ilçesi Karacabey Ovası için yürütülmüştür. Marmara Bölgesi'nde bulunan Karacabey Bursa'nın 65 km batısında yer alan Bursa'ya bağlı bir ilçedir. Karacabey Ovası'nda en çok buğday, domates, arpa, mısır, fasulye, bezelye, şekerpancarı, pamuk, ayçiçeği ve tütün yetiştirilmektedir. Ayrıca sebzeçilik ve meyvecilik gelişmiştir ve hayvancılık halka büyük gelir sağlamaktadır. Ovanın toplam alanı ise 16683 ha'dır.

Karacabey sulama projesi 1989 yılında tamamlanmış ve 1996 yılında, Karacabey Ovası'nda Karacabey Ova Köyleri Sulama Birliği (OKSB)'ne devir edilmiştir. Karacabey sulama şebekesinin net sulama alanı 15683 ha'dır (Anonim, 2015). Su kaynakları Manyas Gölü ve bu gölü besleyen Kocaçay ile göle ulaşan yan derelerdir. Göl en fazla Mürvetler deresinden beslenmektedir. Bu derenin tüm suları göle ulaşmamaktadır. Suyun bir kısmı Karadere üzerindeki regülatöre saptırılmaktadır. Gölü besleyen diğer bir önemli kaynak Sığırcıklı deresidir. Çalışma alanı Şekil 1'de verildiği gibidir. Söz konusu şekil Google Earth sisteminden üretilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafik konumu

### Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntüleri

Bu çalışmada, 9 adet Landsat 5 TM (18 Temmuz 1991, 11 Haziran 1995, 30 Haziran 2002, 3 Temmuz 2003, 11 Temmuz 2006, 28 Haziran 2007, 17 Haziran 2009, 6 Temmuz 2010 ve 9 Temmuz 2011) ve 2 adet Landsat 8 (30 Temmuz 2013 ve 1 Temmuz 2014) uydu görüntüsü kullanılmıştır. Landsat 5 ve Landsat 8 uydularının genel özellikleri Çizelge 1'de verildiği gibidir. Çalışmada arşivde var olan görüntülerin arasından genel olarak Haziran ve Temmuz aylarında çekilen görüntüler kullanılmıştır.

**Çizelge 1.** Landsat 5 TM ve Landsat 8 TM uydularının genel teknik özellikleri (Anonymous, 2015).

Uydu Görüntüsü	Bantlar	Dalga Boyu Uzunluğu (µm)	Konumsal Çözünürlük (m)
Landsat 5 TM	Bant 1: Mavi	0,45-0,52	30
	Bant 2: Yeşil	0,52-0,60	30
	Bant 3: Kırmızı	0,63-0,69	30
	Bant 4: Yakın IR	0,76-0,90	30
	Bant 5: Orta IR	1,55-1,75	30
	Bant 6: Termal IR	10,40-12,5	120
	Bant 7: Orta IR	2,08-2,35	30
Landsat 8 TM	Bant 1 - Kıyı/Aerosol	0.433 - 0.453	30
	Bant 2 - Mavi	0.450 - 0.515	30
	Bant 3 - Yeşil	0.525 - 0.600	30
	Bant 4 - Kırmızı	0.630 - 0.680	30
	Bant 5 -Yakın IR	0.845 - 0.885	30
	Bant 6 - Kısa Dalga IR	1.560 - 1.660	30
	Bant 7 - Kısa Dalga IR	2.100 - 2.300	30
	Bant 8 - Pankromatik	0.500 - 0.680	15
	Bant 9 - Sırrus	1.360 - 1.390	30
	Bant 10 -Uzun Dalga IR	10.30 - 11.30	100
	Bant 11 - Uzun Dalga IR	11.50 - 12.50	100

### *Meteorolojik Veriler*

Bu çalışmada, gerekli iklim verileri Bursa Merkez ve Karacabey İlçesi için saatlik ve günlük olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından oluşturulan Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi (TÜMAS)'nden temin edilmiştir. İklim verilerinden hava sıcaklığı, rüzgar hızı (2 m yükseklikteki), oransal nem, güneş radyasyonu ve atmosferik basınç saatlik ve günlük olarak alınmıştır. Diğer yandan, yağış sadece günlük olarak temin edilmiş ve su yılı başlangıcından (1 Ekim) görüntü tarihine kadar toplam yağış miktarları hesaplanmıştır. Günlük iklim verileri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Bursa ili, Karacabey ilçesine ait meteorolojik veriler

Görüntü Tarihleri	Hava Sıcaklığı (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)	Oransal Nem (%)	Güneş Radyasyonu (mj/m <sup>2</sup> gün)	Atmosferik Basınç (kPa)
18 Temmuz 1991	25.50	3.20	38.00	23.50	100.60
11 Haziran 1995	24.30	2.10	65.00	28.16	100.33
30 Haziran 2002	25.90	2.40	70.30	22.68	99.52
3 Temmuz 2003	26.15	2.80	52.30	25.76	89.73
11 Temmuz 2006	24.60	3.00	40.00	23.86	100.33
28 Haziran 2007	27.00	1.00	46.00	26.68	99.74
17 Haziran 2009	22.55	3.40	60.70	27.14	100.35
6 Temmuz 2010	29.30	3.20	43.00	26.94	99.43
9 Temmuz 2011	23.45	3.20	50.70	28.03	100.48
30 Temmuz 2013	23.95	2.00	53.00	27.60	99.98
1 Temmuz 2014	24.9	2.50	51.30	24.09	100.44

## ***Kullanılan Bilgisayar Yazılımları***

Çalışmada uydu görüntülerinin işlenmesinde ve sayısal veri elde etmede Erdas 10.0 ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Tarım Teşkilatı (USDA) Tarımsal Araştırma Servisi (ARS)'ne bağlı Koruma ve Üretim Araştırma Laboratuvarı (CPRL) tarafından geliştirilen bir model, haritalama çalışmalarında Global Mapper 13.0 ve Arc GIS 10.0 ve Python bilgisayar yazılımları kullanılmıştır. Çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

## **Yöntem**

Çalışmada uydu görüntülerinin işlenmesinde METRIC modeli kullanılmıştır. METRIC modeli temelde termal banda sahip uydu görüntüsü ve meteorolojik veriler yardımıyla yüzey enerji dengesine dayalı bir biçimde ET haritalama olanağı sunmaktadır (Allen et. al., 2005, 2007a). Çalışmada sırasıyla yüzey enerji dengesi bileşenleri olan  $R_n$ ,  $G$ , ve  $H$  hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaların tümü uydu görüntülerinde uydu görüntüsünün her bir hücresi (piksel) için yapılmıştır. Çalışmada öncelikle, enerji dengesi bileşenlerinin hesabında gerekli olan vejetasyon indeksleri ve albedo hesaplamaları, Eşitlikler 1, 2, 3 ve 4'de verildiği biçimde yapılmıştır.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{(L + NIR + RED)} \quad (2)$$

$$YAI = -\frac{\ln \frac{0.69SAVI}{0.59}}{0.91} \quad (3)$$

$$Albedo = \sum_{b=2}^7 [\rho_{s,b} W_b] \quad (4)$$

Burada NDVI; Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi, SAVI; Toprak Yansımalarını Dikkate Alan Vejetasyon indeksi, YAI; Yaprak Alan İndeksi, NIR; Yakın Kırmızı Ötesi Bant (Landsat 5 için bant 4, Landsat 8 için bant 5), RED; Kırmızı Bant (Landsat 5 için bant 3, Landsat 8 için bant 4),  $\rho_{s,b}$ ; spektral yansımaya ve  $W_b$ ; her bir bantın ağırlık katsayısı ve  $L$  toprak yansımaya oranına ilişkin düzeltme katsayısıdır ve bu çalışmada 0,1 alınmıştır. Söz konusu eşitliklerin hesaplama detayları ve yüzey sıcaklığı ( $T_s$ ) hesaplamaları Allen ve ark. (2005, 2007a) tarafından verildiği gibidir. Daha sonra çalışmada uydu görüntüsünün her bir hücresi için yüzey sıcaklığı hesaplaması yapılmıştır.

Net radyasyon absorbe edilen, yansıyan ve yayılan enerji arasındaki bütçeyi ifade etmektedir (Allen ve ark., 1998). Bu çalışmada  $R_n$  kısa dalga boylu radyasyon ve uzun dalga boylu radyasyon, albedo ve emissivite kullanılarak hesaplanmıştır. Toprak ısı akısı,  $R_n$  ve toprağı örten vejetasyonun yoğunluğuna bağlı olarak değişim gösterebilmektedir

(Allen et. al., 1998). Tüm hesaplamalarda Bastiaanssen (1998a), Allen ve ark. (2005), Allen ve ark. (2007a)'de verilen yöntemlerden yararlanılmıştır.

Hissedilebilir ısı akısı temel olarak bitki seviyesi ile bitkinin üzerinde belirli bir seviye arasındaki ısının değişimine tesir eden enerjiyi açıklamaktadır (Bastiaanssen ve ark., 1998a, b; Bastiaanssen ve Boss, 1999; Bastiaanssen ve Bandara, 2001; Allen ve ark., 2005, 2007a). H hesabına ilişkin en temel eşitliklerden birisi Eşitlik 5'de verilmiştir.

$$H = \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \quad (5)$$

Burada,  $\rho$ ; havanın yoğunluğu ( $\text{kg m}^{-3}$ ),  $C_p$ ; hava sabitesi ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $dT$ ; yüzey sıcaklığı ile atmosfer sıcaklığı arasındaki fark ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve  $r_{ah}$ ; aerodinamik dirençtir ( $\text{s m}^{-1}$ ). H hesabında  $dT$  ve  $r_{ah}$  hesabı önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü  $dT$  temel olarak yüzey sıcaklığı ve atmosfer sıcaklığı parametrelerinden oluşmaktadır. Bu parametreler bir uydu görüntüsünün her bir hücresinde farklı olabilmektedir. Bununla birlikte  $r_{ah}$  hesabı H'ye dayalı stabilite doğrulama işlemleri içermektedir. Buna göre METRIC modeli  $r_{ah}$  hesabında iterasyon işlemi içermektedir (Allen ve ark., 2005).

Enerji dengesine dayalı ET hesabında kullanılan birçok model, uydu görüntüsünün her bir hücresi için  $dT$  değerinin tahmini için benzer yaklaşımlara sahiptir (Gowda ve ark., 2008). Genel olarak bu değer, ET'nin en üst seviyede olduğu (soğuk hücre) ve hemen hiç olmadığı (sıcak hücre) iki uç nokta arasında  $dT$ 'nin  $T_s$ 'ye göre,  $dT = a + bT_s$  gibi bir doğrusal regresyon denklemi ile kalibre edilmesini içermektedir. Hesaplama soğuk hücre için ET değeri 1.05  $ET_r$ , sıcak hücre için ET değeri sıfır alınacaktır.  $ET_r$  uzun boylu bitki için tahmini su tüketimidir.  $ET_r$  hesabında Allen ve ark. (1998)'de ve ASCE-EWRI (2005)'de yonca için verilen yöntemden yararlanılmıştır (Allen ve ark., 2005). Elde edilen H değerleri kullanılarak,  $dT$  ve bu değer kullanılarak ilk a ve b katsayıları hesaplanmıştır. Belirlenen a ve b katsayıları uydu görüntüsünün her bir hücresi için  $dT$  hesabında kullanılmıştır. Bununla birlikte iterasyonun her bir adımı için a ve b katsayıları yenilenecek her bir hücre için  $dT$  değerleri tekrar hesaplanmıştır.

Rüzgar hızı ve buna bağlı fraksiyonlar uydu görüntüsünün her bir hücresi için farklılık gösterebilmektedir. Buna göre her bir hücre için rüzgar hızı fraksiyonu  $u^*$ 'ın hesaplaması için meteorolojik verilerin temin edildiği istasyonda 2.0 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızına göre belirlenen  $u^*$  değeri 200 m yüksekliğe uyarlanarak ve uydu görüntüsünün her bir hücresi için belirlenecek zom değeri kullanılarak, her bir hücre için tekrar yeryüzüne indirgenmiştir. Bu aşamadan sonra uydu görüntüsünün her bir hücresi için hesaplanan ilk H değerleri kullanılarak  $r_{ah}$  için stabilite doğrulaması yapılarak ve hesaplanan yeni  $r_{ah}$  değerlerine göre tekrar belirlenen a ve b katsayıları kullanılarak yeni H değerleri belirlenmiştir. Döngüye, hesaplanan son iki H değeri arasındaki fark %10'dan daha az olana dek devam edilmiştir (Allen ve ark., 2005, 2007a; Tasumi ve ark., 2008).

METRIC modelinin son aşamasında enerji dengesine göre hesaplanan LE değerinin buharlaşma gizli ısısına (L) bölünmesiyle uydu görüntülerinin her bir hücresi için anlık ET ( $ET_i$ ) hesaplanmıştır (Allen ve ark., 2005; Allen ve ark., 2007a). METRIC modeli  $ET_i$  değerlerinin günlük ET'ye ( $ET_d$ ) dönüştürülmesinde  $ET_rF$ 'den yararlanmaktadır.  $ET_d$  ise günlük  $ET_r$  değerinin  $ET_rF$  ile çarpımı sonucu her bir hücre için ayrı olarak elde edilmiştir.

## Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### Referans Bitki Su Tüketimi Bulguları

Çalışmada temin edilen iklim verileri kullanılarak, ASCE-EWRI (2005) ve Allen ve ark. (1998)'de verilen yöntemler esas alınarak kısa boylu bitki (ET<sub>o</sub>) ve uzun boylu bitki (ET<sub>r</sub>) için uydu görüntülerinin kayıt günü ve saatinde hesaplanan referans bitki su tüketimi değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Uydu görüntülerinin çekim tarihlerinden en yüksek günlük ET<sub>r</sub> değeri (11.56 mm) 28 Haziran 2007 tarihi için hesaplanırken, en düşük ET<sub>r</sub> (5.99 mm) 11 Haziran 1995 tarihi için tahmin edilmiştir. Bununla birlikte saatlik ET<sub>r</sub> değeri en yüksek (1.17 mm) 28 Haziran 2007 tarihi ve en düşük (0.30) 6 Temmuz 2010 tarihi için hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.** Kullanılan görüntülerin kayıt tarihlerine ait günlük ve saatlik referans bitki su tüketimi (ET<sub>o</sub> ve ET<sub>r</sub>) değerleri

Görüntü Kayıt Tarihleri ve Saatleri	ET <sub>o</sub> (mm)		ET <sub>r</sub> (mm)		Yağış* (mm)
	Günlük	Saatlik	Günlük	Saatlik	
18 Temmuz 1991 - 11:09	5.20	0.53	6.29	0.59	758.5
11 Haziran 1995 - 10:52	5.04	0.58	5.99	0.67	708.7
30 Haziran 2002 - 11:21	6.41	0.66	8.54	0.79	759.2
3 Temmuz 2003 - 11:22	6.03	0.68	7.13	0.78	580.8
11 Temmuz 2006 - 11:38	6.05	0.57	7.81	0.71	566.0
28 Haziran 2007 - 11:39	8.43	0.89	11.56	1.17	412.7
17 Haziran 2009 - 11:34	6.73	0.64	8.87	0.74	643.5
6 Temmuz 2010 - 11:37	6.07	0.30	7.52	0.37	909.5
9 Temmuz 2011 - 11:34	6.28	0.65	8.24	0.78	896.8
30 Temmuz 2013 - 11:47	7.66	0.67	10.83	0.81	714.8
1 Temmuz 2014 - 11:45	7.02	0.67	7.02	0.76	731.5

\*Görüntü tarihine kadar su yılı içerisinde (1 Ekim'den sonra) gerçekleşen toplam yağış miktarıdır.

### Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Bulgular

Kullanılan uydu görüntülerinin ait olduğu dönemler, yıllara göre farklılık göstermektedir ve 11 Haziran ile 30 Temmuz aralığında değişim göstermektedir. Bu tarihler Karacabey Ovası'nda vejetasyonun yoğun olduğu dönemin bir bölümüdür. Her bir görüntünün ait olduğu su yılı (başlangıcı 1 Ekim) dikkate alındığında en düşük yağış 28 Haziran 2007 (412.7 mm) öncesinde gerçekleşmiştir. 3 Temmuz 2003 ve 11 Temmuz 2006 tarihi öncesinde gerçekleşen yağış miktarı da genel olarak ortalamadan daha düşüktür. 6 Temmuz 2010 ve 9 Temmuz 2011 tarihleri öncesinde gerçekleşen yağış miktarları olan sırasıyla 909.5 mm ve 896.8 mm, genel ortalamanın üzerindedir. Bilindiği gibi gerçekleşen bu yağış miktarları sadece bitki su ihtiyacının doğrudan karşılanması bakımından değil aynı zamanda sulama şebekesinin su varlığı bakımından da önem teşkil etmektedir.

### Vejetasyona İlişkin Bulgular

Çalışma kapsamında elde edilen NDVI haritaları Şekil 2'de verilmiştir. NDVI haritaları -1.0 ile 1.0 arasında değişmektedir. Çalışma alanında bitki örtüsünden yoksun alanlar için düşük olan NDVI değerleri tarım arazilerinde yaklaşık olarak 0.05 - 0.75

arasında değişim göstermektedir. NDVI haritalarına göre, ortalama olarak 30 Temmuz 2013 tarihinde vejetasyon seviyesi en yüksek iken 28 Haziran 2007 tarihinde vejetasyon seviyesi en dūşüktür. Birbirine yakın miktarlarda yağış gerçekleşen yıllar dikkate alındığında, sulama şebekesinin yeni olduğu ve DSİ tarafından işletildiği 1991 yılında genel vejetasyon, 1995 yılından daha yüksektir ve 2002 yılında, sulama şebekesinin devri Karacabey ovasında daha güçlü bir vejetasyonun oluşmasına katkı sağlamıştır. Bu kapsamda 2013 ve 2014 yılları da değerlendirilebilir ve özellikle 30 Temmuz 2013 tarihinde vejetasyon seviyesi oldukça güçlüdür. Bu duruma görüntünün birçok bitkinin vejetasyon olarak en üst düzeyde olduğu Temmuz ayının son tarihine ait olması da etkilidir. Ancak 1 Temmuz 2014 tarihli görüntüde vejetasyon seviyesinin güçlü olması son yıllarda Karacabey ovasında daha yoğun bir tarımsal üretim yapıldığını göstermektedir. Sulama yönetimi üzerine daha güçlü yorum yapabilmek için evapotranspirasyon haritalarının incelenmesi gerekmektedir.

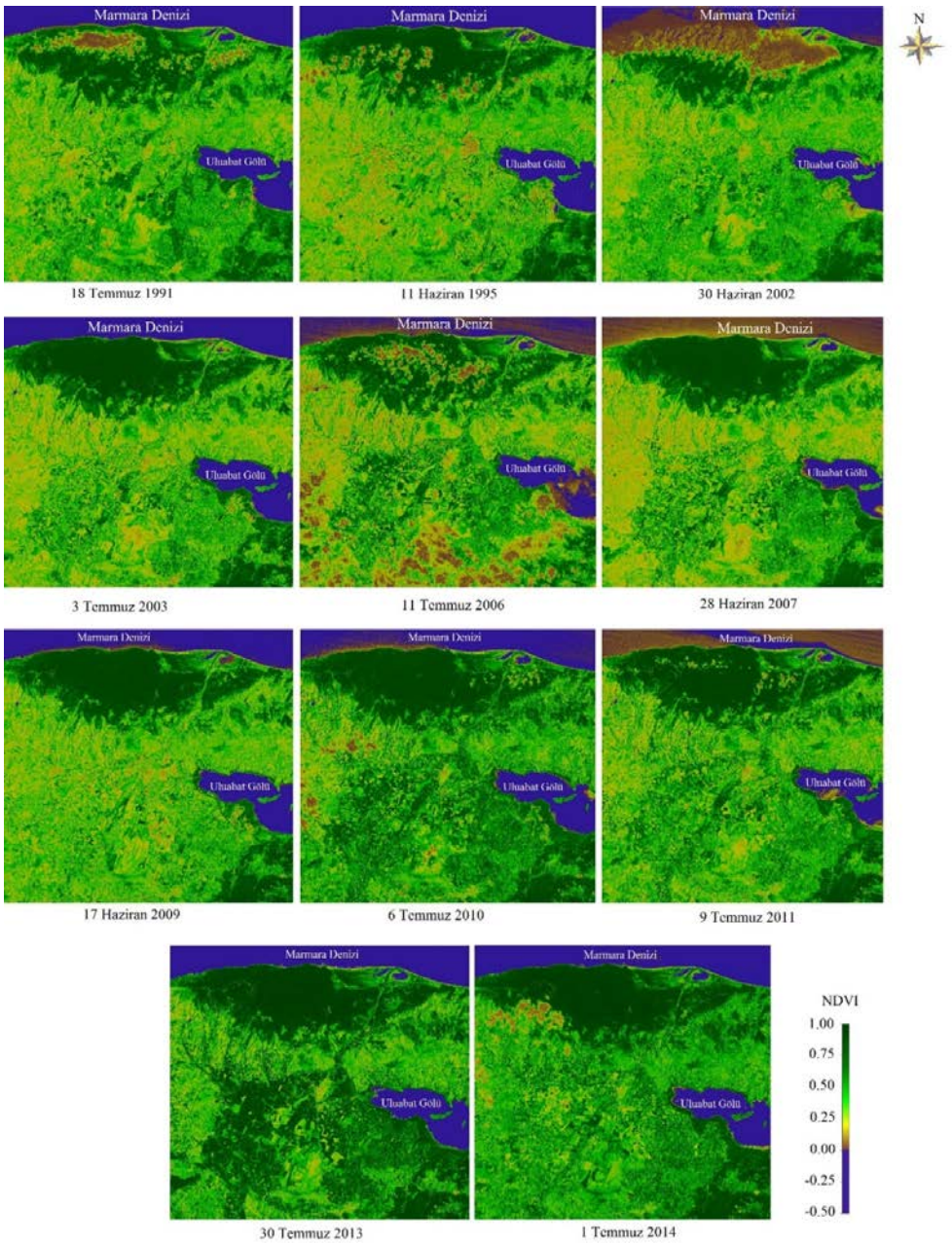
### ***Evapotranspirasyon Bulguları***

Gerçek bitki su tüketimi ile ETr arasındaki oranı temsil eden ETrF değerleri harita olarak Şekil 3’de verilmiştir. Açık su yüzeyleri ve ormanlık alanlar bu çalışmada değerlendirme dışında kalmıştır, bu nedenle yaklaşık 1.25’in üzerindeki ETrF değerleri olan alanlar göz ardı edilmiştir. Ayrıca ETrF üzerinde Çizelge 3’de verilen günlük ve saatlik ETr değerleri de oldukça etkilidir. Genel olarak tarım arazilerinde ETrF değerleri 0.60 ile 0.85 arasında değişim göstermektedir. 2007 yılına ait görüntüde ETrF değerleri en düşük seviyededir ve 28 Haziran 2007 tarihinde ETr, incelenen görüntü tarihleri içerisinde en yüksek seviyededir (11.56 mm/gün). Diğer yandan 11 Haziran 1995 tarihi için hesaplanan ETrF değerleri de oldukça dūşüktür (ETr=5.99 mm/gün). En yüksek ETrF değerleri 9 Temmuz 2011 tarihi için tespit edilmiştir.

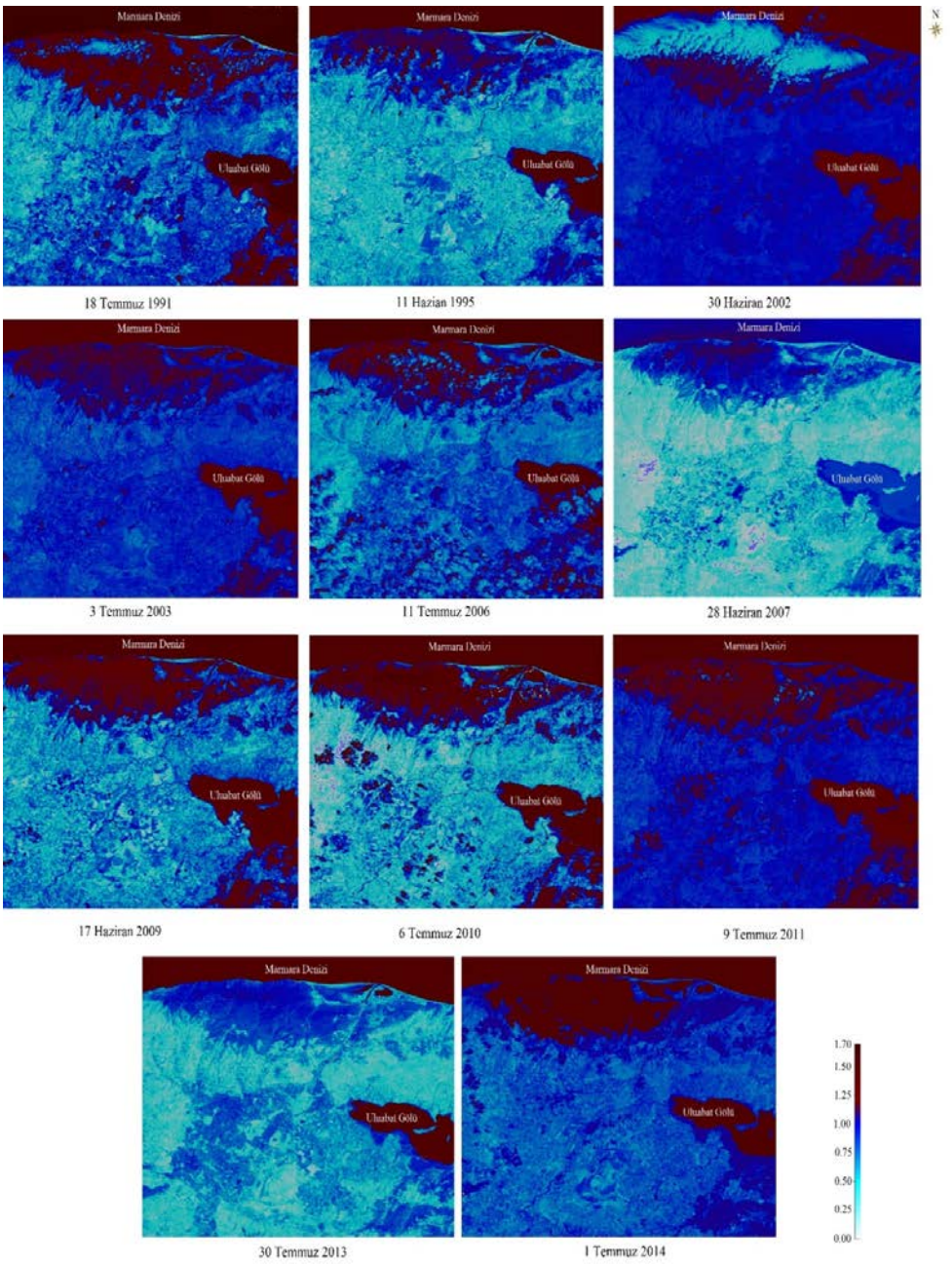
Çalışmada METRIC modelinin en önemli çıktılarından biri olan günlük ET haritaları Şekil 4’de verilmiştir. Yukarıda verilen NDVI ve ETrF haritaları ile uyumlu bir biçimde en düşük ET değerleri 28 Haziran 2007 tarihlerinde tespit edilmiştir. 1995 tarihli uydu görüntüsüne nazaran 2002 ve 2003 tarihli görüntülerde beliren daha yüksek ET değerleri, 1996 yılında gerçekleşen sulama şebekesinin devri sonrasında daha etkili bir su yönetiminin gerçekleştiğini göstermektedir. ET ve dolayısıyla su kullanımında 2002 ve 2003 yılındaki bu olumlu eğilim 2006 ve 2007 yılı için geçerli değildir. Bunun temel nedeni bu yıllarda yaşanan kuraklıktır. Diğer uydu görüntülerine ilişkin ETrF ve ET haritaları incelendiğinde bölgede tarım alanlarında en yüksek gerçek ET değerinin yaklaşık olarak 10.0 mm düzeyinde olduğu görülmektedir. Buna göre 2010, 2013 ve 2014 yıllarına ilişkin NDVI, ETr ve ETrF haritaları bir arada değerlendirildiğinde, uydu görüntülerinin ait olduğu gün itibarı ile ova genelinde su yönetiminin beklenen seviyede iyi olmadığı değerlendirilebilir.

Sonuç olarak, bu çalışmada Landsat serisi uydu görüntüleri ile Karacabey Ovası’nın vejetasyon durumu ve su kullanma durumu tahmin edilmiştir. İşlenen uydu görüntülerinin daha detayı bir şekilde yorumlanabilmesi ancak eş zamanlı ve detaylı yer çalışmalarının yapılması ile mümkün olmaktadır. Bu çalışma kapsamında yer alan veri ve bilgilere göre, Landsat serisi uydu görüntülerinin enerji dengesi tabanlı yöntemlerle işlenmesi, vejetasyon ve su kullanımına ilişkin önemli bilgiler sunmakta ve tarımsal yönetim ve sulama suyu yönetimi bakımından büyük bir potansiyele sahiptir.

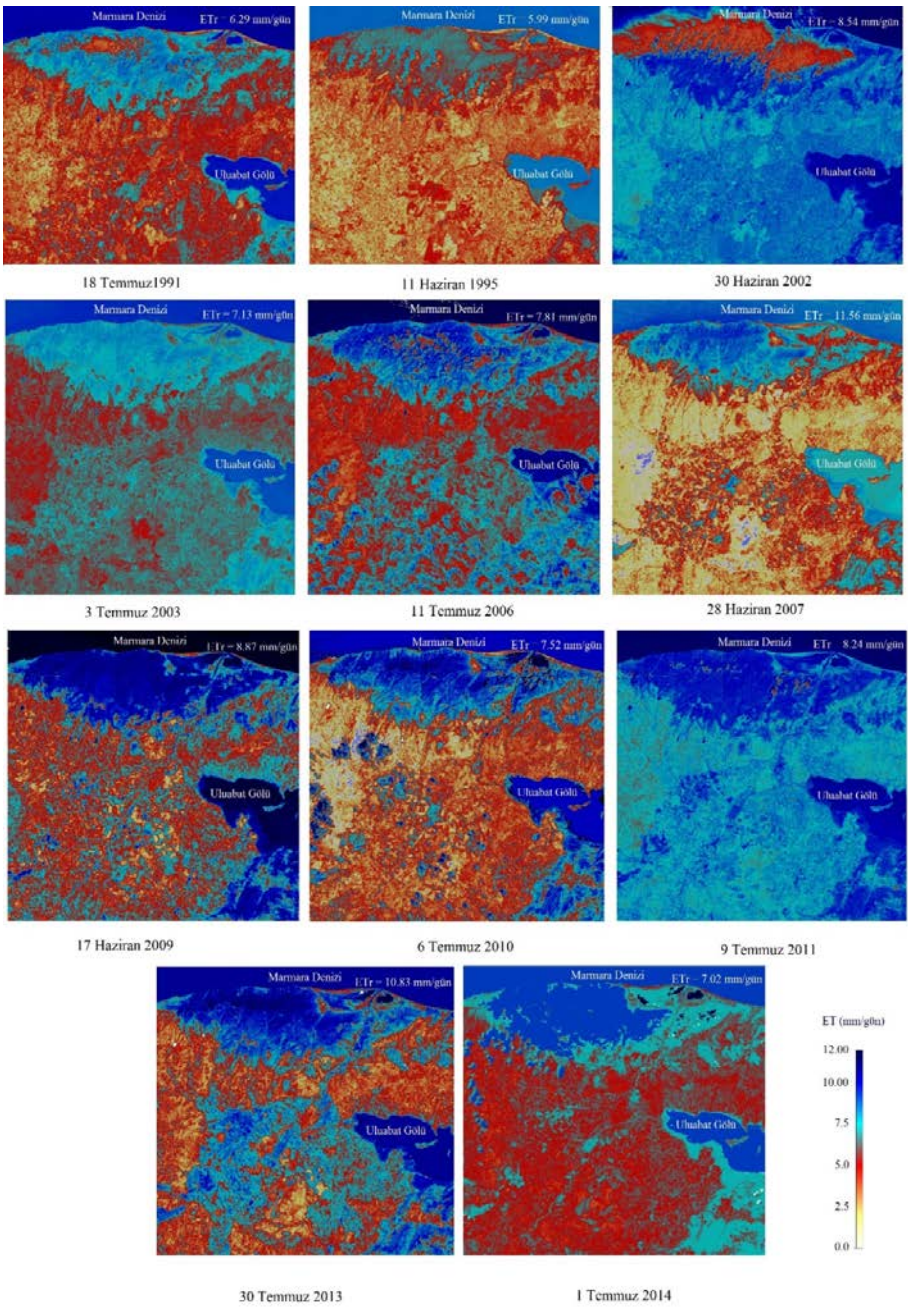




Şekil 2. Çalışma alanına ait NDVI haritaları



Şekil 3. Karacabey Ovası için elde edilen ETRf haritaları



Şekil 4. Uzaktan algılama ile tahmin edilen günlük ET haritaları

## Kaynaklar

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56.
- Allen, R.G., M. Tasumi, A. Morse and R. Trezza. 2005. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrig. Drain. Syst.* 19. 251-268.
- Allen, R.G., M. Tasumi and R. Trezza. 2007a. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. *J. Irrig. Drain. Eng.* 133(4). 380-394.
- Allen, R.G., J.L. Wright, W.O. Pruitt, L.S. Pereira and M.E. Jensen. 2007b. Water requirements. In: Hoffman, G.J., R.G. Evans, M.E. Jensen, D.L. Martin and R.L. Elliot, (Eds.). *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. Second Ed. ASABE. St. Joseph, MI, USA, pp. 208-288.
- Allen, R.G., I.A. Walter, R. Elliott, T. Howell, D. Itenfisu and M. Jensen. 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers January, Final Report.
- Anderson, M.C., J.M. Norman, J.R. Mecikalski, J.A. Otkin and W. P. Kustas. 2007. A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental United States based on thermal remote sensing: 1. Model formulation. *J. Geophys. Res.* 112. D10117.
- Anonim 2015. [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr)
- Anonymous 2015. <https://landsat.usgs.gov/>
- ASCE-EWRI. 2005. The ASCE Standardized reference evapotranspiration equation. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Comm.
- Bastiaanssen, W.G.M. and M.G. Bos. 1999. Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature. *Irrig. Drain. Syst.* 13. 291-311.
- Bastiaanssen, W.G.M. and K.M.P.S. Bandara. 2001. Evaporative depletion assessments for irrigated watersheds in Sri Lanka. *Irrig. Sci.* 21. 1-15.
- Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes, A.A.M. Holtslag. 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *J. Hydrol.* 212-213. 198-212.
- Bastiaanssen, W. G. M., H. Pelgrum, J. Wang, Y. Ma, J.F. Moreno, G.J. Roerink and T. van der Wal. 1998b. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 2. Validation. *J. Hydrol.* 212-213. 213-229.
- Droogers, P., W.W. Immerzeel and I.J. Lorite. 2010. Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. *Agric. Water Manage.* 97. 1351-1359.
- Gowda, P.H., J.L. Chávez, P.D. Colaizzi, S.R. Evett, T.A. Howell and J.A. Tolk. 2008. ET Mapping for agricultural water management: present status and challenges. *Irrig. Sci.* 26(3). 223-237.
- Kjaersgaard, J.H., R.G. Allen, M. Garcia, W. Kramber and R. Trezza. 2009. Automated Selection of Anchor Pixels for Landsat based Evapotranspiration Estimation, World Environmental and Water Resources Congress: Great Rivers ASCE, 4400-4410.
- Norman, J. M., W.P. Kustas, J.H. Prueger and G. R. Diak. 2000. Surface flux estimation using radiometric temperature: A dual-temperature-difference method to minimize measurement errors. *Water Resour. Res.* 36(8). 2263-2274.
- Polhamusa, A., J.B. Fishera and K.P. Tu. 2013. What controls the error structure in evapotranspiration models? *Agric. Forest Meteorol.* 169. 12-24.

- Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes SEBS-The Surface Energy Balance. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 6(1). 85-100.
- Tasumi, M., R.G. Allen and R. Trezza. 2008. At-Surface Reflectance and Albedo from Satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance. *J. Hydrol. Eng.* 13(2): 51-63.
- Wu, B., N. Yan, J. Xiong, W.G.M. Bastiaanssen, W. Zhu and A. Stein. 2012. Validation of ETWatch using field measurements at diverse landscapes: A case study in Hai Basin of China. *J. Hydrol.* 436-437. 67-80.

