HAVZA ÖLÇEĞİNDE TEMSİL EDİCİ ALANSAL ORTALAMA BUHARLAŞMA-TERLEME MİKTARININ LANDSAT GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLMESİ

Deniz Denizhan YANMAZ¹, Zuhal AKYÜREK^{1,2}, İsmail YÜCEL¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara
²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü, 06800, Ankara, zakyurek@metu.edu.tr

ÖZET

Buharlaşma-terleme; suyun topraktan atmosfere buharlaşma yolu ile bitkilerden atmosfere terleme yolu ile transfer edilmesidir. Potansiyel ve gerçek olmak üzere iki şekilde ifade edilebilen buharlaşma-terleme hidrolojik çevrimin önemli elemanıdır. Potansiyel buharlaşma-terleme ortamda yeterli suyun olması durumunda gerçekleşmesi beklenen miktardır. Genelde ihtiyacımız olan gerçek buharlaşma-terleme miktarının belirlenebilmesidir ki bu miktar gerçekte yüzeyden atmosfere transfer olan su miktarıdır. Gerçek buharlaşma-terleme (AET) hidrolojik modellerde enerji dengesi ve ısı akısı ile ilintili olan tek parametredir. Bu nedenle AET gerek hidrolojik modellerde gerekse yüzey modellerinde belirlenmesi gerekli olan fakat belirlenmesi oldukça zor olan bir parametredir. Gerçek buharlaşma-terleme, özısı akısı kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu amaçla uydu tabanlı enerji dengesi haritalaması ile gerçek buharlaşma-terleme miktarının haritalanması (METRIC) modeli (Allen et al. 2007b) kullanılmaktadır. METRIC modeli ile buharlaşma-terleme miktarını net yüzey radyasyonu, atmosfere giden toprak ısı akısını ve hissedilebilen ısı akısını belirleyen sıralı işlemler ile hesaplanmaktadır. Toprak ısı akısının ve hissedilebilen ısı akısının net radyasyondan çıkartılması ile elde edilen kalıntı enerji akısı elde edilebilmektedir, bilindiği üzere bu enerji buharlaşma-terleme için kullanılmaktadır. Bu çalışmada 2017 yılına ait 7 adet Landsat-8 görüntüsü kullanılmıştır. TUBITAK 115Y041 projesi kapsamında Adana-Çakıt havzasına kurulan eddy akı kulesi değerleri kullanılarak METRIC model ile elde edilen gerçek buharlaşma-terleme değerleri karşılaştırılmıştır. 516 km² alana sahip olan doğal bitki örtüsü kaplı Çakıt havzası için gerçek buharlaşma-terleme değerleri elde edilmiştir. METRIC modeli ile elde edilen değerlerde yükseklik ve rüzgârın model sonuçlarına etkisi tartışılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: gerçek buharlaşma-terleme, enerji dengesi, METRIC, uzaktan algılama

ABSTRACT

ESTIMATING THE ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION FROM LANDSAT IMAGES AT A BASIN SCALE

Evapotranspiration is the process by which water is transferred from the land to the atmosphere by evaporation from the soil and other surfaces and by transpiration from vegetation. There are two types of evapotranspiration which are potential and actual evapotranspiration. Potential evapotranspiration is defined as the amount of evaporation that would occur if sufficient water is available. We are mostly interested with actual evapotranspiration which is the quantity of water that is actually removed from a surface due to the processes of evaporation and transpiration. Actual evapotranspiration (ET) is the only parameter of the hydrological model which is related to the energy balance and heat fluxes. Because of that while observing climate change actual ET becomes very important for the hydrological models. The actual evapotranspiration can be easily calculated using the latent heat flux which is the flux of heat from the Earth's surface to the atmosphere that is associated with evaporation or transpiration. So the challenge is to generate the most accurate latent heat flux map. This is where the satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) model (Allen et al. 2007b) is used. The METRIC model calculates evapotranspiration through a series of computations that estimate net surface radiation, soil heat flux and sensible heat flux to the air. By subtracting the soil heat flux and sensible heat flux from the net radiation at the surface, a residual energy flux can be estimated that represents the energy consumed by evapotranspiration. In this study 7 Landsat-8 images are used. The aim is to create ET maps for the Çakıt basin then compare the results with the Eddy-covariance system to observe how good the METRIC model works in the study area. The effect of altitude and wind on model results is discussed.

Keywords: actual evapotranspiration, energy balance, METRIC, remote sensing

1. GİRİŞ

Son yıllarda iklim değişikliğinin artan etkisi nedeniyle suyun önemi daha da artmıştır. Su döngüsünde buharlaşma-terleme su dengesini etkileyen önemli bir parametredir. Buharlaşma-terleme miktarının doğru olarak belirlenmesi bitki su ihtiyacının belirlenmesinde de önemlidir. Hidrolojik modellerde girdi parametresi olarak kullanılan buharlaşma-terleme miktarının doğru olarak belirlenmesi model başarısında etkindir. Uzaktan algılama esaslı

buharlaşma-terleme yöntemleri yüzey enerji dengesine dayanır ve genellikle hassas buharlaşma-terleme tahminlerinde bulunur (Allen vd., 2005). TUBITAK 115Y041 projesi kapsamında planlanan hidrolojik çalışmalarda gerçek buharlaşma-terleme miktarının belirlenmesi ve izlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle Adana-Çakıt havzasında kontrolsüz bir havza belirlenmiş ve hidrolojik parametrelerin belirlenmesi için farklı ölçüm aletleri araziye kurulmuştur. Havza ölçeğinde gerekli olan gerçek buharlaşma-terleme miktarının belirlenmesi için noktasal ölçüm aletlerinin yanında uydu görüntülerinden de faydalanmak gerekmektedir. Literatürde oldukça fazla uygulaması olan METRIC modeli bu kapsamda seçilmiş ve modelin doğal arazi koşullarında oluşacak buharlaşma-terleme miktarının uydu görüntülerinden elde edilmesi ve eddy akı kulesinde ölçülen hissedilen ısı akısı ile elde edilen günlük buharlaşma-terleme miktarı ile karşılaştırılarak havza bazında gerekli düzeltmelerin yapılması hedeflenmiştir.

Buharlaşma-terleme (BT) hesabında kullanılan METRIC modeli yüzey enerji dengesinin kalıntısı olarak BT'yi hesaplamak için çoklu alt modellerden oluşan uydu tabanlı görüntü işleme modelidir. METRIC modeli Idaho Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Amerikadaki Montana, California, New Mexico, Utah, Wyoming, Texas, Nebraska, Colorado, Nevada, ve Oregon eyaletleri METRIC modelini kullanmışlardır (Rocchio L., 2009). METRIC modeli temelini Bastiaansen tarafından geliştirilen enerji dengesi modeli, SEBAL modelinden alır (Allen vd., 2007b). SEBAL modelinin yenilikçi özelliği radyometrik yüzey sıcaklığına endeksli olan yakın yüzey sıcaklık gradyanı, dT_y 'yi kullanır. Bu, mutlak yüzey sıcaklığı kalibrasyon ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. METRIC modeli mevcut meteoroloji verileri kullanılarak uydu tabanlı enerji dengesi dahili olarak iki aşırı koşulda (kuru ve ıslak) kalibre edilir. METRIC modeli Idaho'da su kaynakları planlaması için bir araç olarak su hakkı uyumluluğunu ve akifer tüketimini izlemek için kullanılmıştır. Ayrıca METRIC modeli New Mexico'nun Rio Grande Vadisi'nde hidrolojik modellerde, ET'yi dar nehir koridorunda tarımsal ve nehir kenarında yetişen bitki örtüsünden haritalamak, sulama yeterliliği ve tuzluluk yönetimini değerlendirmek için kullanılmıştır (Allen vd., 2007b). Bir başka çalışmada METRIC modelinde MODIS uydu görüntüleri kullanılarak Büyük Menderes havzasının gerçek buharlaşma-terleme haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır (Aksu ve Arikian 2017). Ayrıca METRIC modeli spektral vejetasyon indekslerinin tam ve kısıtlı sulama koşullarında bitki katsayısının ve bitki su tüketiminin bir göstergesi olarak değerlendirilmesi için de kullanılmıştır (Köksal, 2008).

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri

Çalışma alanı TUBITAK 115Y041 no'lu proje kapsamında Adana-Çakıt havzasında kurulan test havzasıdır (Şekil 1). Çalışma havzasının alanı 516 km²'dir ve Niğde ilinde yer almaktadır. Havzanın yüksekliği 960 m ile 3450 m arasında değişirken havzanın ortalama yüksekliği 1750 m'dir. Havzada dört adet meteoroloji istasyonu, bir adet eddy akı kulesi, bir adet Kozmik ışın sensörü ve üç adet akım gözlem istasyonu bulunmaktadır.

Şekil 1. Çalışma alanı ve havzada yer alan ölçüm aletlerinin havzadaki konumları.

Çalışma havzası Landsat 8 uydusunun 2 parseline denk gelmektedir. Bu sebepten dolayı 16 gün olan zamansal çözünürlük için havzayı temsil eden 2 görüntü çerçevesi kullanılmıştır. Landsat 8 uydu görüntüleri USGS'in (Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar - U.S. Geological Survey) ilgili web sitesinden indirilmiştir (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). METRIC modelinde uydu görüntülerinin bulutsuz olması önemlidir. Bulut altına denk gelen piksellerde herhangi bir işlem yapılamamakla birlikte bu pikselleri işlemlere dahil etmemek oldukça zordur. Mart 2017 – Ekim 2017 arasındaki görüntüler incelenmiş ve METRIC modeline uygun 7 görüntü

bulunmuştur(Çizelge 1). 7 Ağustos 2017 saat 11:16 tarihli uydu görüntüsü Şekil 2’de görülmektedir. Çalışma havzasının rakımının yüksek olması sebebiyle bulutlanma büyük bir problemdir. Landsat 8 uydu görüntülerinin spektral bantları Çizelge 2’de gösterilmiştir. METRIC modeli yüzey sıcaklığını haritalamak için termal bantlar olan bant 10 ve bant 11’i kullanır.

Şekil 2. 7 Ağustos 2017 Landsat 8 ham görüntüsü ve havza sınırı, kırmızı bant-4, yeşil bant-3 ve mavi bant-2’dir.

Çizelge 1. Çalışma havzasının bulutsuz olduğu Landsat 8 görüntü tarihleri.

Görüntü no	Görüntü tarihi
1	24.04.2017
2	27.06.2017
3	13.07.2017
4	07.08.2017
5	08.09.2017
6	24.09.2017
7	17.10.2017

Çizelge 2. Landsat 8 spektral bantlar.

Bant no	Dalga boyu (µm)	Mekansal çözünürlük (m)
Bant 1	0.435 – 0.451	30
Bant 2	0.452 – 0.512	30
Bant 3	0.533 – 0.590	30
Bant 4	0.636 – 0.673	30
Bant 5	0.851 – 0.879	30
Bant 6	1.566 – 1.651	30
Bant 7	2.107 – 2.294	30
Bant 8	0.503 – 0.676	15
Bant 9	1.363 – 1.384	30
Bant 10	10.60 – 11.19	100
Bant 11	11.50 – 12.51	100

Meteorolojik veri olarak güneş radyasyonu, rüzgâr, sıcaklık ve bağıl nem değerleri havzada kurulan eddy akı kulesinden elde edilmiştir. METRIC modelinde kullanılmak üzere Eddy akı kulesinden alınan günlük ve yarımlık meteorolojik veriler Çizelge 3’te belirtilmiştir.

Çizelge 3. 7 Ağustos 2017 meteorolojik verileri.

	Ort. rüz. Hızı 2m(m/s)	Maks. sıc.(°C)	Min. sıc.(°C)	Ort. sıc.(°C)	Çiy noktası sıc.(°C)	Ort. güneş rad.(W/m ²)	Ref.ET ₀ (mm)
Günlük veri	2.26	29.66	15.14	-	7.5	310.97	6.43
Yarım saatlik veri(11.00 - 11.30)	2.55	-	-	26.63	6.9	930.02	0.73

2.2 Metodoloji

METRIC modelinde meteorolojik veri kullanılarak yüzeyde ölçülen saatlik ve günlük referans buharlaşma-terleme (BT) değerleri hesaplanmalıdır (Allen vd., 2007a). Bu çalışmada referans BT değerleri standartlaştırılmış Penman Monteith denklemi kullanılarak hesaplanmıştır (Raoufi and Beighley 2017).

METRIC modeli hesaplamaları Landsat 8 uydu görüntülerinde uygulanmıştır. Öncelikle 8 bant (termal bantlar dahil) için atmosfer üstü ışıma ve termal bantlar dışında kalan 6 bant için atmosfer üstü yansıma haritaları oluşturulmuştur. Anlık gerçek buharlaşma-terleme miktarının hesaplanması için gizli ısı akısının (LE) belirlenmesi gerekmektedir. Net radyasyon (R_n) değerinin belirlenmesi Şekil 3'te gösterilmektedir.

Şekil 3. METRIC modelinin net radyasyon (R_n) akış şeması (Allen vd. 2005).

Gerekli olan hesaplamalar uydu görüntüsü üzerinde yapılarak elde edilen net radyasyon (R_n), toprak ısı akısı (G) ve hissedilebilir ısı akısı (H) değerleri sonucunda yüzey enerji dengesi kullanılarak gizli ısı akısı (LE) hesaplanmaktadır (Denklem 1). Anlık buharlaşma-terleme, LE nin gizli buharlaşma ısıya bölünmesiyle hesaplanır (Denklem 2). Gizli buharlaşma ısı yüzey sıcaklığına bağlı olup her piksel için farklılık gösterebilmektedir (Denklem 3).

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

$$ET_{anlık} = 3,600 \frac{LE}{\lambda} \quad (2)$$

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

Anlık buharlaşma-terleme ($BT_{anlık}$) ve daha önce bulunan saatlik ve günlük referans buharlaşma-terleme (BT_0) değerleri kullanılarak günlük BT değerleri hesaplanmaktadır (Allen vd., 2007b). METRIC modelinin hissedilir ısı akısı (H) hesabında kullanılan iterasyon denklemleri Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 4. METRIC modelinin iterasyon döngüsü (Allen vd., 2005).

3. UYGULAMA

3.1 Referans (Potansiyel) Buharlaşma-Terlemenin Belirlenmesi

METRIC modelini kullanabilmek için meteorolojik veri kullanılarak yüzeyde ölçülen saatlik ve günlük referans buharlaşma-terleme (BT) değerleri hesaplanmalıdır. Saatlik dosyanın girdileri gelen kısa dalga radyasyonu, ortalama sıcaklık, ortalama rüzgâr hızı ve çiy noktası sıcaklığı iken günlük dosyanın girdileri günlük ortalama gelen kısa dalga radyasyonu, günlük maksimum ve minimum sıcaklık, günlük ortalama rüzgâr hızı ve günlük ortalama çiy noktası sıcaklığıdır (Meteorolojik veri olarak güneş radyasyonu, rüzgâr, sıcaklık ve bağıl nem değerleri havzada kurulan eddy akı kulesinden elde edilmiştir. METRIC modelinde kullanılmak üzere Eddy akı kulesinden alınan günlük ve yarım saatlik meteorolojik veriler Çizelge 3'te belirtilmiştir.

Çizelge 3). Çiy noktası sıcaklığı (T_d) ise ortalama sıcaklık (T) ve nisbi nem (RH) ile hesaplanır. Saatlik referans BT değeri uydu görüntüsünün çekildiği andaki Eddy istasyon verisi kullanılarak hesaplanır. Bu çalışmada saat 11:30 verisi kullanılmıştır. Ayrıca arazinin dağlık olmasından dolayı METRIC modelinde kısa boylu bitki referans buharlaşma-terleme miktarı kullanılmıştır. Bir Landsat görüntüsünde referans BT'nin hesaplanabilmesi için genellikle bir veya iki istasyon yeterlidir (Allen vd., 2007b).

3.2 METRIC Modeli ile Gerçek Buharlaşma-Terlemenin Haritalanması

METRIC modelinin albedo (gelen ışınların bir yüzeyden yansıtılan veya yansıyan yüzdesi) katsayıları Landsat 8 uydu görüntüleri için hesaplanmadığından katsayılar başka bir çalışmadan alınır (da Silva vd., 2016). R_n ve G hesaplandıktan sonra yapılması gereken görüntü üzerinde 1 sıcak ve 1 soğuk piksel bulmaktır. Sıcak pikselin özelliği kuru ve sıcak olmasıdır, NDVI düşük ve yüzey sıcaklığı yüksektir. Kuru olduğundan ölçüme başlamak için gerekli olan referans $LE_{hot}=0.1*ET_0*\lambda$ kabul edilir. Soğuk pikselin özelliği ıslak ve soğuk olmasıdır. Soğuk pikselde buharlaşma-terleme için enerji harcandığından yüzey sıcaklığı daha azdır ve NDVI yüksektir. Referans $LE_{cold}=1.05*ET_0*\lambda$ olarak kabul edilir (Allen et al. 2007b). ET_0 meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak bulunan saatlik referans buharlaşma-terleme değeridir. Net radyasyon, toprak ısı akısı, aerodinamik direnç ve hava yoğunluğu

haritalarının sıcak ve soğuk pikseldeki değerleri elde edilir (Çizelge 4). METRIC 9. iterasyonu ile Eddy istasyon verisi karşılaştırması

Çizelge 5'te verilmiştir. Eddy istasyonunda LE 170.45 W/m² olarak ölçülmüştür.

Anlık elde edilen BT dağılımı günlük değerlere çevrilir (Şekil 5). Bunun için anlık BT haritası anlık referans BT değerine bölünür. Ardından oluşan harita bulunan günlük referans BT değeri ile çarpılır. Bunun sonucunda günlük BT haritası oluşmuş olur.

Çizelge 4. Sıcak ve soğuk piksellerindeki değerlerin iterasyonla değişimi.

İterasyon	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hcold	110.46	110.63	110.14	110.34	110.21	110.70	109.90	110.46	110.99
Hhot	425.68	446.06	431.06	434.36	432.99	433.96	432.92	433.62	434.17
Cp	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004	1004
Rahhot	32.75	11.85	16.92	14.91	15.63	15.36	15.47	15.42	15.43
pairhot	0.98	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
dThot	14.18	5.11	7.29	6.43	6.74	6.63	6.66	6.65	6.67
rahcold	20.34	15.17	17.08	16.23	16.61	16.43	16.54	16.47	16.48
paircold	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
dTcold	2.19	1.62	1.82	1.73	1.77	1.76	1.76	1.76	1.77
Tsdatcold	288.53	288.53	288.53	288.53	288.53	288.53	288.53	288.53	288.53
Tsdathot	303.14	303.14	303.14	303.14	303.14	303.14	303.14	303.14	303.14
a	0.8204	0.2389	0.3743	0.3213	0.3398	0.3330	0.3356	0.3346	0.3348
b	-234.53	-67.31	-106.17	-90.97	-96.26	-94.33	-95.06	-94.77	-94.83

Çizelge 5. METRIC 9. Iterasyon sonuçlarının Eddy istasyon verisi ile karşılaştırması.

	METRIC 9. iterasyon (W/m ²)	Eddy istasyon verisi (W/m ²)
H	361.57	269.11
G	92.38	28.46
Rn	524.81	465.79
LE	70.86	170.45

Şekil 3. Günlük BT haritası (mm/d), anlık BT'den çevirirken dağlık arazi düzeltmesi uygulanmamıştır.

Çizelge 6'da METRIC modeli tarafından hesaplanan ve Eddy akı kulesi tarafından gözlemlenen gizli ısı akısı değerleri karşılaştırılmıştır. Bulutluluk miktarı %10'dan az olan 7 adet görüntü için anlık ve günlük BT değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 6. Tarihe göre METRIC modeli LE değerleri ile Eddy akı kulesi LE değerleri.

Tarih	METRIC modeli LE (W/m ²)	Eddy kulesi LE (W/m ²)
24.04.2017	89.26	81.46
27.06.2017	234.38	224.03
13.07.2017	200.33	97.83
07.08.2017	70.86	170.45
08.09.2017	126.21	69.63
24.09.2017	159.29	60.84
17.10.2017	29.20	83.88

Çizelge 6'da gizli ısı akısının en yüksek değerleri beklediği gibi yaz mevsimindedir. Bu sonuçlar genel eğilimi yakalamaktadır. METRIC modeli ile Eddy kulesinin değerleri arasındaki fark 27 Haziran tarihinde 10 W/m² iken 13 Temmuz tarihinde 100 W/m²'nin üzerindedir. Böylesine bir hatanın sebeplerinin Eddy akı kulesinin mevsimsel olarak kalibre edilmemesi ve proje havzasının dağlık olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dağlık arazilerde hava koşulları hızlı değişim gösterdiğinden anlık buharlaşma-terlemenin alana dağıtılması oldukça zordur.

Çizelge 7'de Havzanın minimum, maksimum ve ortalama günlük BT değerleri gösterilmiştir. En sağdaki kolon ise 0'ın altındaki günlük BT değerleri çıkarıldığında havza ortalamalarıdır. Fark edilebileceği üzere havza ortalamalarına bakıldığında mevsimsel bir trend gözlenmektedir. Ayrıca yaz mevsiminden uzaklaştıkça negatif değerlerin ortalamaya etkisinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun bir sonucu olarak METRIC modelinin yaz aylarında kış aylarına göre daha iyi çalıştığı söylenebilir.

Çizelge 7. Günlük BT haritalarının istatistiksel Çizelgesi.

Tarih	Havza_min_BT (mm/d)	Havza_max_BT (mm/d)	Havza_ort_BT (mm/d)	Havza_ort_düzeltil BT (mm/d)
24.04.2017	-7,62	13,14	3,32	3,47
27.06.2017	-5,79	13,33	5,53	5,54
13.07.2017	-6,27	13,65	5,21	5,23

07.08.2017	-6,9	12,8	4,21	4,33
08.09.2017	-6,08	12,43	3,49	3,55
24.09.2017	-4,89	11,69	3,14	3,19
17.10.2017	-5,68	10,76	1,76	2,1

3.3 Rüzgâr Hızı Alansal Dağılımının Elde Edilmesi

Rüzgâr anlık BT'nin oluşmasında ve belirlenmesinde önemli bir parametredir. Havzada yer alan 4 adet meteoroloji istasyonundan ölçülen rüzgâr verisi kullanılarak havzada dağılımlı rüzgâr hızı belirlenmiştir. Alansal değerin belirlenmesinde coğrafi ağırlıklı regresyon (GWR) metodu kullanılmıştır. Bu sayede birden çok etken parametrenin alansal dağılıma etkisi dikkate alınabilmektedir. Bu parametreler alansal dağılımda rüzgârı en çok etkileyebilecek yükseklik ve yüzey pürüzlülük uzunluğudur (z_{om}). METRIC modeli noktasal meteoroloji istasyonu verisini girdi olarak kullanır. Aynı bir çalışma olarak havza içinde bulunan 4 istasyonun noktasal rüzgâr verisini havzaya GWR ile dağıtıp oluşan harita METRIC modeline girdi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı noktasal veri yerine havza haritası kullanarak METRIC modelinin havzanın karakteristiğini daha iyi anlamasını sağlamaktır. Rüzgâr verisi yükseklik ve yüzey pürüzlülük uzunluğu için ayrı ayrı havzaya dağıtılmıştır. Bu çalışma Denklem 4'te u_w , rüzgâr verisi olarak dağıtılmış rüzgâr haritalarının kullanılması ile başlar ve METRIC modelinin diğer adımlarını takip eder. Çalışmamızda tüm görüntüler için noktasal rüzgâr verisi, rakım ile havzaya dağıtılmış rüzgâr haritası ve yüzey pürüzlülük uzunluğu ile havzaya dağıtılmış rüzgâr haritası ayrı ayrı girdi olarak kullanılmış ve METRIC modeli uygulanmıştır. Denklem 4'te u_{200} 200 metredeki rüzgâr hızı, u_w meteorolojik rüzgâr hızı verisi, z_{omw} eddy akı kulesi istasyonunun bulunduğu konumun yüzey pürüzlülük uzunluğu, z_x ise rüzgâr hızının istasyonda ölçüldüğü yüksekliktir ($z_x=2m$). Yüzey pürüzlülük uzunlukları Corine haritası kullanılarak bulunur (Silva vd., 2007). METRIC modeli hissedilir ısı akısı (H) hesaplamalarından önce 2 metre yükseklikteki rüzgâr hızı alansal olarak 200 metre yüksekliğe dağıtılır. Bunun sebebi 200 metre yükseklikte yüzey pürüzlülük uzunluğunun rüzgâr hızına etkisi kalmamasıdır (Allen vd., 2005). Rüzgâr hızının gerek pürüzlülük gerekse yüksekliğe bağlı olarak alansal elde edilmesi sonucu METRIC modeline girdi olarak kullanılması sonucu gizli ısı akısı değerleri elde edilmiştir. Şekil 6'da eddy akı kulesinde ölçülen, METRIC model ile bir adet meteoroloji istasyonu kullanılarak elde edilen ve ayrıca rüzgâr hızının alansal dağılımı elde edilerek belirlenen gizli ısı akı değerleri 7 farklı tarih için sunulmaktadır.

$$u_{200} = \frac{u_w \ln\left(\frac{200}{z_{omw}}\right)}{\ln\left(\frac{z_x}{z_{omw}}\right)} \quad (4)$$

Şekil 4. Rüzgâr düzeltmeleri, METRIC modeli ve Eddy kulesinin Gizil ısı akılarının karşılaştırılması.

4. SONUÇ

METRIC modeli doğal vejetasyon alanında uygulanarak gerçek günlük buharlaşma-terleme miktarı Landsat 8 uydu görüntülerinden elde edilmiştir. 7 Ağustos 2017 tarihli görüntüden elde edilen günlük BT dağılımı Şekil 7'de sunulmaktadır. Yüksek radyasyondan dolayı anlamsız BT değeri veren alanlar maskelenmiştir ve elde edilen BT dağılımı arazinin kullanımı dikkat edildiğinde arazi kullanımı ile tutarlı sonuç verdiği görülmektedir.

Şekil 5. 7 Ağustos 2017 tarihli Landsat 8 görüntüsünden elde edilen günlük BT haritası (mm/gün) ve aynı alana ait Google-Earth görüntüsü.

METRIC modeli eddy-akı istasyonunun olduğu noktada istenilen hata payını her görüntüde sağlamasa da mevsimsel trendi yakalamaktadır. Havza ortalamalarına bakıldığında ise mevsimsel buharlaşma-terleme trendi net bir şekilde gözlemlenebilmektedir. Özellikle vejetasyonun büyüme gösterdiği nisan-haziran aylarında METRIC model ve eddy akı kulesinden elde edilen değerlerin birbirine yakınsadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada METRIC modelin dağlık alanlarda doğal vejetasyon için de kullanılabileceği belirlenmiştir.

Rüzgâr verisinin alansal olarak dağıtılması METRIC modelinin sonuçlarını pozitif yönde değiştirmemiştir. Çalışma alanı için gerçek BT hesaplamasında rüzgâr verisinin noktasal olarak kullanılması uygundur.

METRIC modeli sonuçlarının eddy akı kulesinden elde edilen sonuçlar kullanılarak düzeltilmesi araştırmanın devamında gerçekleştirilecektir. Ayrıca 2018 yılına ait görüntülerin analizi ile kullanılan yöntemin doğruluğunun test edilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R.** (2005). METRIC: mapping evapotranspiration at high resolution—applications manual for Landsat satellite imagery. University of Idaho, 130.
- Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J. L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., and Robison, C. W.** (2007a). “Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Applications.” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 395–406.
- Allen, R. G., Tasumi, M., and Trezza, R.** (2007b). “Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Model.” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 380–394.
- Aksu, H., & Arıkan, A.** (2017). Satellite-based estimation of actual evapotranspiration in the Büyük Menderes Basin, Turkey. *Hydrology Research*, 48(2), 559-570.
- ASCE-EWRI.** Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration, Principal; Report by the American Soc. Civil Engineers (ASCE), Report 0-7844-0805-X. In *The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation*. Allen, R.G., Walter, I.A., Elliott, R.L., Howell, T.A., Itenfisu, D., Jensen, M.E., Snyder, R.L. Eds., 2005.
- da Silva, B. B., Braga, A. C., Braga, C. C., de Oliveira, L. M. M., Montenegro, S. M. G. L., and Junior, B. B.** (2016). “Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid.” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(1), 3–8.
- Köksal, E. S.** (2008). Evaluation of spectral vegetation indices as an indicator of crop coefficient and evapotranspiration under full and deficit irrigation conditions. *International Journal of Remote Sensing*, 29(23), 7029-7043.
- Raoufi, R., and Beighley, E.** (2017). “Estimating daily global evapotranspiration using penman-monteith equation and remotely sensed land surface temperature.” *Remote Sensing*, 9(11).
- Rocchio, L.** (2009). Landsat-based water-use mapping method hailed as an important American government innovation. NASA Landsat. Accessed December, 22, 2009.

Silva, J., Ribeiro, C., & Guedes, R. (2007). Roughness length classification of Corine Land Cover classes. In *Proceedings of the European Wind Energy Conference*, Milan, Italy (Vol. 710, p. 110).