

[1040]

GERÇEK EVAPOTRANSPIRASYON HARİTALAMA İÇİN GERİ İZLEME ARAMA ALGORİTMASI İLE MODİFİYE EDİLMİŞ YENİ BİR SEBAL YAKLAŞIMI VE SAHA UYGULAMASI

Ümit Haluk ATASEVER¹, Coşkun ÖZKAN²

¹Öğr. Gör. Dr., Erciyes Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, uhatasever@erciyes.edu.tr

²Prof. Dr., Erciyes Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 38039, Kayseri, cozkan@erciyes.edu.tr

ÖZET

Gerçek evapotranspirasyon, etkin su yönetimi ve planlaması için en önemli bileşenler biridir. Yakın zamana kadar noktasal olarak yapılan evapotranspirasyon hesaplama ve ölçümleri, uzaktan algılama disiplini ve optik uydu sistemlerindeki gelişmeler neticesinde bölgesel olarak yapılabilmektedir. Gerçek evapotranspirasyon haritalama için literatürde en sık tercih edilen yöntemlerin başında Arazi İçin Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (SEBAL) gelmektedir. Ancak bu teknik Landsat 8 ile daha önce kullanılmamış olması ve sıcak-soğuk piksel seçimi gibi uzmanlık gerektiren adımlar gibi çeşitli zorluklar içermektedir. Bu çalışma kapsamında Geri-İzleme Arama Algoritması kullanarak sıcak ve soğuk piksel seçimini otomatik olarak yapabilen ve Landsat 8 görüntüleri için uygun hale getirilmiş yeni bir SEBAL yaklaşımı (SEBAL-BSA) önerilmiştir. Ayrıca, normalize edilmiş fark bitki indeksi değerleri ile albedo değerleri bir albedometre ölçümleri kullanarak ilişkilendirilmiş ve albedo haritasının üretimi bu sayede gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, Çukurova'daki Akarsu Sulama Birliği Havzasında uygulanmış ve 28 Nisan 2015 ve 01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüleri ile albedo ölçümleri kullanarak gerçek evapotranspirasyon haritalama yapılmıştır. Sunulan yaklaşımın doğruluğu, önceden belirlenen yer gerçeği noktalarına ait değerler ile önerilen yaklaşımın elde ettiği değerler karşılaştırılarak irdelenmiştir. Eşlenik Çift T Testi ve Wilcoxon İşaret Testi sonuçlarına göre önerilen yaklaşım oldukça başarılıdır. Uygulamalar neticesinde SEBAL-BSA'nın su yönetimi ile ilişkili kurum ve kuruluşlar için kullanılabilir bir model olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Sözcükler: Gerçek Evapotranspirasyon, SEBAL, Geri-İzleme Arama Algoritması, Albedo

ABSTRACT

A NEW SEBAL APPROACH MODIFIED WITH BACKTRACKING SEARCH ALGORITHM FOR ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION MAPPING AND ON-SITE APPLICATION

Actual evapotranspiration is one of the most important component for efficient water management and planning. Until recently, evapotranspiration computations and measurements have been performed locally. But, in recent years, actual evapotranspiration computations can be calculated regionally thanks to improvements on remote sensing discipline and satellites. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) is one of the most commonly preferred technics for actual evapotranspiration mapping. However, this algorithm has some difficulties such as mismatch with Landsat 8 and hot-wet pixel selection which require expert knowledge. In this paper, a novel SEBAL based approach (SEBAL-BSA), which can use Landsat 8 images as data and can automatically perform hot-wet pixel selection using Backtracking Search Algorithm (BSA) with ground control points, has been proposed. SEBAL-BSA was developed and tested using January 22-2015, April 28-2015 and July 01-2015 dated Landsat 8 images in Akarsu Irrigation Water User Association command area in the Çukurova Region of Turkey and actual evapotranspiration mapping was realized without albedo measurements. Accuracy of SEBAL-BSA has been examined by comparing values of predefined ground truth points and values obtained from proposed approach. According to results of Parametric Matched-Pairs T-Test and nonparametric Wilcoxon Sign Rank Test, SEBAL-BSA is highly successful. Applications also show that the SEBAL-BSA is a user-friendly approach for institutions and organizations related to water authorization and management.

Keywords: Actual Evapotranspiration, SEBAL, Backtracking Search Algorithm, Albedo

1.GİRİŞ

Su tüketimindeki artış nedeniyle, suyun etkin kullanımı geçmişe nazaran çok daha önemli bir süreç haline gelmiştir. Bu nedenle su bütçesinin mümkün olduğu kadar doğru hesaplanabilmesi ve su yönetiminin etkin biçimde yapılması oldukça önemlidir (Goyal M. R., 2014). Evapotranspirasyondan kaynaklanan su kaybı, bir bölgenin su bütçesinin en önemli bileşenlerinden biridir. Evapotranspirasyon, buharlaşma ve terlemeden kaynaklanan su kaybının toplamı anlamına gelmektedir (Allen et al., 1998). Referans evapotranspirasyon hesaplamaları FAO-Penman, Hargreaves gibi teknikler veya lizimetreler, Bowen sistemleri yardımıyla hesaplanabilmektedir (Chatterjee, 2010; Kramber et al., 2002; Valiantzas, 2013). Bu teknik veya cihazlar kullanılarak ET değerlerinin oldukça hassas hesaplanabilmesine rağmen, etkin su yönetimi ancak bölgesel evapotranspirasyon haritaları ile mümkün olmaktadır (Teixeira et al., 2009). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) çok kanallı uydu görüntülerinden evapotranspirasyon haritalarının üretimi için geliştirilmiş

bir görüntü işleme tekniğidir (Bastiaanssen et al., 1998a). SEBAL tekniği, yakın zaman kadar Landsat 5 ve 7, MODIS ve ASTER gibi farklı uydularla kullanılmıştır (Almhab and Busu, 2008; Kiptala et al., 2013). Ancak uydu sistemlerindeki arızalar ve düşük çözünürlük problemi gibi nedenlerden dolayı gerçek evapotranspirasyon haritalaması için yeni bir uydu sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Landsat 8 (LDCM) uydusu SEBAL için gerekli tüm spektral bantları içermesi ve mekânsal çözünürlüğünün yeterli olması nedeniyle kullanılabilir uydu sistemlerinin en başında gelmektedir. Landsat 8 görüntülerinin SEBAL için temel veri kaynağı olarak kullanılmasındaki en önemli problem, parlaklık değerlerinden doğrudan albedo değerlerini hesaplanabileceği bir eşitliğin bulunmamasıdır. Albedo hesaplamaları için yapılan çalışmalarda, albedo ile normalize edilmiş fark bitki indeksi (NFBİ) arasında oldukça kuvvetli bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Chen and Ohring, 1984; Liang, 2001). SEBAL-BSA olarak isimlendirdiğimiz bu yaklaşımda basit bir regresyon modeli olan $Albedo = k1 + k2 \times NFBİ$ dönüşümdeki $k1$ ve $k2$ parametreleri oldukça yeni ve başarılı bir optimizasyon algoritması olan Geri-İzleme Arama Algoritması (BSA) ile yer gerçeği değerlerine bağlı olarak optimize edilmektedir. Ayrıca Hissedilebilir Isı Akısının hesaplanması sırasında uç piksel seçimi olarak isimlendirilen ve uzmanlık gerektiren, dolayısıyla bu tekniğin kullanımını zorlaştıran işlem de, otomatize edilmiştir. (Atasever, 2016; Tasumi, 2003). Ek olarak önerilen yaklaşım, Çukurova'nın en önemli tarım alanlarından biri olan Akarsu Sulama Birliği Havzası'nda test edilmiş ve istatistiksel testler ile (Eşlenik Çift T Testi ve Wilcoxon İşaret Testi) oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği gösterilmiştir.

2.ÇALIŞMA BÖLGESİ, KULLANILAN TEÇHİZAT VE YAZILIMLAR

Çalışma bölgesi olarak, Türkiye'nin en önemli tarım alanlarından Çukurova bölgesindeki Adana ili Aşağı Seyhan Ovası, Akarsu Sulama Birliği sulama sahası belirlenmiştir (Şekil 1). Coğrafi olarak $36^{\circ} 51' 46'' - 36^{\circ} 57' 00''$ kuzey enlemleri ve $35^{\circ} 24' 10'' - 35^{\circ} 36' 34''$ doğu boylamları arasında yer alan çalışma alanı 9495 ha alana sahiptir. Çalışma alanında Akdeniz iklimi görülmekte olup yaz döneminde çoğunlukla mısır, pamuk, soya ve yer fıstığı; kış döneminde ise buğday, soğan kısmen marul tarımı yapılmaktadır. Bu ürünlere ek olarak narenciye üretimi de oldukça fazladır (Çetin et al., 2012).



Şekil 2.Çalışma Bölgesi

SEBAL tekniğinin temel veri kaynağı çok kanallı uydu görüntüleridir. Bu çalışmada on bir banda sahip Landsat 8 (LDCM) uydu görüntüleri kullanılmıştır. Tekniğin ihtiyaç duyduğu ortalama sıcaklık, rüzgâr hızı gibi meteorolojik veriler çalışma bölgesinde bulunan ve sürekli aktif olarak çalışan bir meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir. Önerilen yaklaşımın geliştirilmesi ve istatistiksel değerlendirmelerin tamamı Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yer gerçeği noktalarına ait referans evapotranspirasyon hesaplamaları Cropwat yazılımı (FAO Penman Tekniği) ve FAO tarafından önerilen katsayılar ile yerel ekim ve hasat bilgileri kullanılarak hesaplanmıştır (Allen et al., 1998).

3.SEBAL-BSA YAKLAŞIMI

Optimizasyon, mühendislik problemlerinin en önemli araştırma problemlerinden biri olmuştur. İster klasik, ister yapay zeka temelli algoritmalar olsun tüm optimizasyon teknikleri farklı koşullarda model veya sistemlere ait parametreler için en uygun değeri bulmaya çalışırlar. Ancak günümüzde hızlı yakınsama, yüksek doğruluk ve matematiksel yapılarının basit olması gibi nedenlerden yapay zeka optimizasyon algoritmaları tercih edilmektedir (Atasever et al., 2014; Civicioglu and Besdok, 2011). En sık kullanılan algoritmalar Diferansiyel Gelişim ve türevleri, Genetik, PSO, Yapay Arı Kolonisi ve türevleri olmuştur (Civicioglu, 2012). Bu çalışmada ise oldukça başarılı ve etkin bir algoritma olan Geri-İzleme Arama Optimizasyon Algoritması (BSA) kullanılmıştır. BSA, popülasyon tabanlı iteratif bir optimizasyon algoritmasıdır (Atasever et al., 2014; Civicioglu, 2013). BSA temelde Başlangıç, Seleksiyon-I, Mutasyon, Çaprazlama ve Seleksiyon-II olmak üzere beş kısımdan oluşur (Civicioglu, 2013).

SEBAL çok kanallı uydu görüntülerinden gerçek evapotranspirasyon değerlerinin haritalanabilmesi için Bastiaanssen ve ark (1998) tarafından geliştirilmiş bir görüntü işleme tekniğidir (Bastiaanssen et al., 1998a; Bastiaanssen et al., 1998b). Bu teknik gerçek evapotranspirasyon değerlerini temel enerji dengesi eşitliğine ait bileşenlerinin çözümü ile hesaplar (Eşitlik 1) (Allen et al., 2011).

$$LE = R_{net} - H - G \quad (1)$$

Eşitlik 1’de LE gizli ısı akısı ($W m^{-2}$); R_{net} net radyasyon ($W m^{-2}$); H hissedilebilir ısı akısı ($W m^{-2}$); G ise toprak ısı akısıdır ($W m^{-2}$). SEBAL tekniğinin bir başka avantajı ise toprak veya arazi kullanımına ilişkin herhangi bir bilgiye ihtiyaç duyulmamasıdır (Atasever, 2016).

3.1.Radyans ve Reflektans Değerlerinin Hesaplanması

SEBAL-BSA’nın ilk aşamasında, klasik SEBAL yaklaşımında olduğu gibi, uydu görüntüleri ile birlikte sunulan meta veri dosyasındaki katsayılar ile her bir pikselin radyans değerleri hesaplanır (Eşitlik 2) :

$$L_{\lambda} = B_L \times Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Eşitlikte, L_{λ} TOA(top of atmosphere) spektral radyans ($Watts/m^2 \times srad \times \mu m$); B_L meta veriden elde edilen banda özgü çarpım faktörü; Q_{cal} kalibre edilmiş piksel değerleri ve A_L banda özgü toplam faktördür. Ardından Landsat 8 uydusunun OLI sensörüne ait band verileri meta veri dosyasında verilen dönüşüm katsayıları ile reflektans değerlerine dönüştürülürler (USGS, 2015):

$$p\lambda = \frac{(B_p \times Q_{calP} + A_p)}{\cos(\theta_{sz})} \quad (3)$$

Burada $p\lambda$ güneş açısı düzeltmesi yapılmış gezegensel reflektans; B_p meta veri dosyasından elde edilen banda özgü çarpım faktörü; A_p meta veri dosyasından elde edilen banda özgü toplam faktörü; Q_{calP} kalibre edilmiş piksel değerleri ve θ_{sz} ise yerel güneş açısıdır (USGS, 2015). Radyans ve reflektans dönüşümü yapılacak her bir bandın ölçekleme faktörleri farklı olduğu için dönüşüm yapılacak her bir banda ayrı ayrı uygulanmalıdır.

3.2.Yüzey Sıcaklıklarının Hesaplanması

Yüzey sıcaklık değerlerinin hesaplanması için ilk olarak radyometrik sıcaklık değerleri bulunur (Atasever, 2016):

$$T_R = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (4)$$

Eşitlik 4’deki T_R (K) radyometrik sıcaklık; L_{λ} TOA spektral radyans değerleri ($Watts/m^2 \times srad \times \mu m$); K_1 ve K_2 dönüşüm sabitleridir ve meta veri dosyasından temin edilir (Atasever, 2016; USGS, 2015). Daha sonra Eşitlik 5 yardımıyla yüzey sıcaklıkları hesaplanır:

$$T_S = \frac{T_R}{\varepsilon_S^{0.25}} \quad (5)$$

Eşitlik 5’deki T_S (K) yüzey sıcaklığı ve ε_S ise yüzey emisivite değerleridir. Yüzey emisivite değerleri ise NFBİ değerlerini baz alan bir eşitlik ile hesaplanmıştır (Bastiaanssen et al., 1998b; Vandegriend and Owe, 1993):

$$\varepsilon_S = 1.009 + 0.04 \times \log(NFBİ) \quad (6)$$

3.3.Net Radyasyonun Hesaplanması

Net radyasyon genel anlamda, gelen radyasyondan giden radyasyonun farkı olarak tanımlanabilir ve çalışma kapsamında Eşitlik 7 ile hesaplanmıştır(Bastiaanssen et al., 1998a) :

$$R_{net} = (1 - \alpha) \times R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} \quad (7)$$

Eşitlik 7’de $R_{s\downarrow}$ gelen kısa dalga radyasyon ($W m^{-2}$); α geniş bant yüzey albedo değeri; $R_{L\downarrow}$ gelen uzun dalga radyasyon ($W m^{-2}$); $R_{L\uparrow}$ giden uzun dalga radyasyondur ($W m^{-2}$). Kısa dalga net radyasyon yüzey albedosunun ve gelen kısa dalga radyasyonun bir fonksiyonu olarak; gelen ve giden uzun dalga radyasyon ise Stefan-Boltzman eşitliği ile hesaplanabilir (Singh et al., 2008).

3.4.Toprak Isı Akısının Hesaplanması

Enerji dengesi eşitliğinin temel bileşenlerinden olan Toprak Isı Akısı, toprağın ısınmasına veya soğumasına neden olan enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Toprak ısı akısı deneysel bir eşitlik ile bulunabilir (Allen et al., 2007):

$$G = R_{net} \times \left(\frac{T_s - 273}{\alpha} \right) \times (0.0032 \times (c1 \times \alpha) + 0.0062 \times (c1 \times \alpha)^2 \times (1 - 0.97 \times NFBI^4)) \quad (8)$$

Eşitlikte R_{net} net radyasyon (Wm^{-2}); T_s yüzey sıcaklığı (*Kelvin*); $NFBI$ normalize edilmiş fark bitki indeksi değerleri; $c1$ düzeltme parametresi (genelde 1.1 alınır); α yüzey albedo değeridir (Allen et al., 2007).

3.5.Hissedilebilir Isı Akısının Hesaplanması

Hissedilebilir ısı akısı, hava ve yüzey arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan ısı transferi olarak tanımlanabilir (Atasever, 2016). Hissedilebilir ısı akısı Eşitlik 9 ile hesaplanmıştır:

$$H = \rho_a \times C_p \times \left(\frac{dT}{r_{ah}} \right) \quad (9)$$

Eşitlik 9’da H hissedilebilir ısı akısı (Wm^{-2}); ρ_a hava yoğunluğu (kgm^{-3}); C_p havanın ısı kapasitesi ($Jkg^{-1}K^{-1}$); dT hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı arasındaki fark (K); r_{ah} ise ısı transferine karşı aerodinamik dirençtir (sm^{-1}). Bu adımda r_{ah} hesaplanırken Monin-Obukhov teorisi kullanılır. Klasik SEBAL tekniğinde $dT = a + b \times (T_s)$ eşitliğine uygun olarak a ve b katsayıların hesaplanabilmesi için uydu görüntüsü üzerinde uç piksel seçim işlemi gerçekleştirilir (Bastiaanssen et al., 1998a; Bastiaanssen et al., 2000; Bastiaanssen et al., 2005). Ancak bu işlemin çok kanallı görüntü işleme konusunda uzmanlık gerektirmesi, farklı branşlardaki araştırmacıların veya suyun etkin kullanımı hususunda sorumlu olan kurumların SEBAL tekniğini hassas biçimde kullanabilmesini zorlaştırmaktadır. Bu problemi aşmak, yani a ve b katsayılarının hesaplanabilmesi için Geri-İzleme Arama Algoritması kullanılmıştır. Bu sayede yönteme ilişkin kullanıcı müdahalesi azaltılmış ve SEBAL tekniği otomatize edilmiştir.

3.6.Günlük Gerçek Evapotranspirasyonun Hesaplanması

Net radyasyon toprak ve hissedilebilir ısı akısının hesaplanmasının ardından günlük gerçek evapotranspirasyon değerleri Eşitlik 10 ile hesaplanır:

$$ET_{a24} = \frac{86400 \times \Lambda \times (R_{net24} - G_{24})}{\rho_w \times \lambda} \quad (10)$$

$$\Lambda = \frac{LE}{R_{net} - G} \quad (11)$$

Eşitliklerde ET_{a24} günlük gerçek evapotranspirasyon değeri ($mm d^{-1}$); Λ buharlaşma fraksiyonu; R_{net24} günlük net radyasyon (Wm^{-2}); G_{24} günlük toprak ısı akısı (Wm^{-2}); ρ_w su yoğunluğu ($1000 kgm^{-3}$) ve λ buharlaşma latent ısısıdır ($2.47 \times 10^6 Jkg^{-1}$). G_{24} gün boyunca toprakta depolanan enerji geceleri tekrar havaya bırakıldığı için genelde sıfır kabul edilir.

3.7.BSA ile Parametre Optimizasyonu

SEBAL ile yapılan ET_a haritalarının doğruluğu albedonun doğru hesaplanmasına ve uzmanlık bilgisi gerektiren soğuk-sıcak piksel seçim işlemine oldukça bağlıdır. Önerilen yaklaşımın en önemli yönü otomatik olarak parametre optimizasyonu yapabilmesidir. Bu sayede modelin ihtiyaç duyduğu kullanıcı müdahalesini en aza indirilmektedir. Çalışma kapsamında önerilen yaklaşımı özetlemek gerekirse Landsat 8 görüntüsü meteorolojik veriler (ortalama sıcaklık, rüzgar hızı vb.) model başlatılır. Her bir iterasyonda hissedilebilir ısı akısının

hesaplanmasında kullanılan $dT=a+b \times (T_s)$ fonksiyonundaki a ve b değişkenler ile toprak ısı akısının hesaplanmasında kullanılan $Albedo=k1+k2 \times NFBİ$ fonksiyonundaki $k1$ ve $k2$ değişkenler BSA tarafından güncellenir ve yer gerçeği noktalarında bitki katsayısı yöntemiyle hesaplanan ET_a değerleri ile sunulan yaklaşım ile hesaplanan ET_a değerleri arasındaki farkın maliyet fonksiyonuna bağlı olarak minimum olması amaçlanır. Önerilen yaklaşımda BSA'nın popülasyon sayısı 20; jenerasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir.

Kullanıcı tarafından belirlenen durdurma kriterlerinden birinin gerçekleşmesi halinde işlem tamamlanır ve en son elde edilen değerler ile çalışma bölgesi için ET_a haritalama işlemi tamamlanır.

4. SEBAL-BSA İLE ELDE EDİLEN BULGULAR

4.1.22 Ocak 2015 Tarihli Uygulama

Önerilen yaklaşımın ilk uygulaması 22 Ocak 2015 tarihinde 23 farklı yer gerçeği noktası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesindeki meteoroloji istasyonundan temin edilen veriler yardımıyla referans evapotranspirasyon (ET_r) değeri FAO Penman-Monteith tekniğiyle 0.76 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Yer gerçeği noktalarına ait gerçek evapotranspirasyon değerleri ET_r ve bitkilerin gelişme dönemlerine bağlı olarak hazırlanmış olan bitki katsayıları değerleri yardımıyla bitki katsayısı yöntemine göre hesaplanmıştır (Çetin et al., 2012; Ibrikci et al., 2015). Sunulan yaklaşım kullanılarak Jacknife yöntemi (Leave one out) ile hesaplanan ET_a değerleri ile bitki katsayısı yöntemi ile elde edilen değerler Çizelge 1'de sunulmuştur:

Çizelge 1. 22 Ocak 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-BSA (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
1	0.62	0.63
2	0.62	0.65
3	0.62	0.64
4	0.68	0.65
5	0.62	0.58
6	0.62	0.61
7	0.62	0.67
8	0.62	0.59
9	0.62	0.61
10	0.62	0.64
11	0.62	0.61
12	0.62	0.62
13	0.62	0.63
14	0.62	0.67
15	0.62	0.63
16	0.62	0.59
17	0.57	0.61
18	0.62	0.57
19	0.62	0.65
20	0.62	0.66
21	0.57	0.61
22	0.57	0.61
23	0.57	0.60

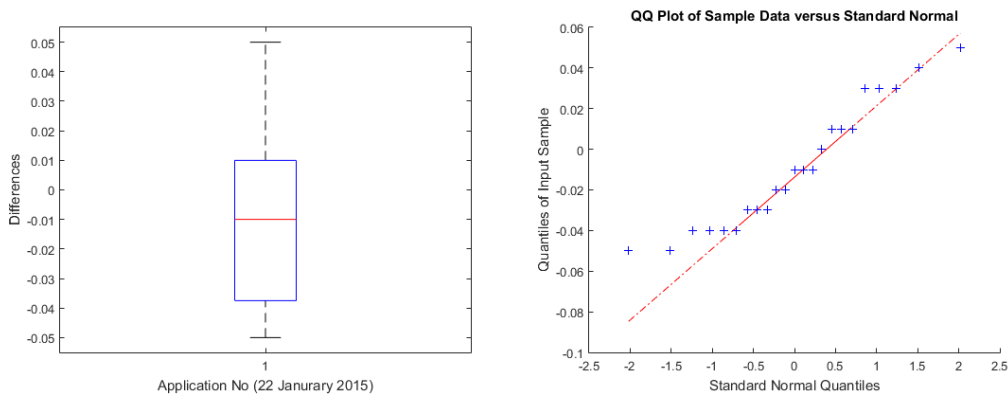
Gerçekleştirilen uygulama sonucunda ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.027 (mm/gün) ; ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.031 (mm/gün) ; ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.045 olarak hesaplanmıştır. Normallik testlerinden olan Lilliefors testine göre farkın normal dağılım göstermesi ve Şekil 2'deki kutu grafikte uyumsuz ölçü olmamasına rağmen Q-Q grafiğin yeterince doğrusallık göstermemesi hem de veri sayısının görece az olması ($23 < 30$) nedeniyle parametrik Eşlenik Örnekler T-Testi'ne ilaveten parametrik olmayan Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi de kullanılmıştır. Çizelge 2'de sunulan Eşlenik Örnekler T-Testi'ne göre P olasılık değeri 0.164 ; Çizelge 3'de sunulan Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi testine göre P olasılık değeri 0.155 olarak hesaplanmıştır. Bu testler neticesinde fark popülasyonunu ortalamasının sıfıra eşit olduğu hipotezini iddia eden H_0 reddedilmemiş; yani yer gerçeği noktalarına ait ET_a değerleri ile önerilen yaklaşımın elde ettiği değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ortaya çıkmıştır. Uygulama sonucu üretilen ET_a haritası Şekil 3'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi analizi

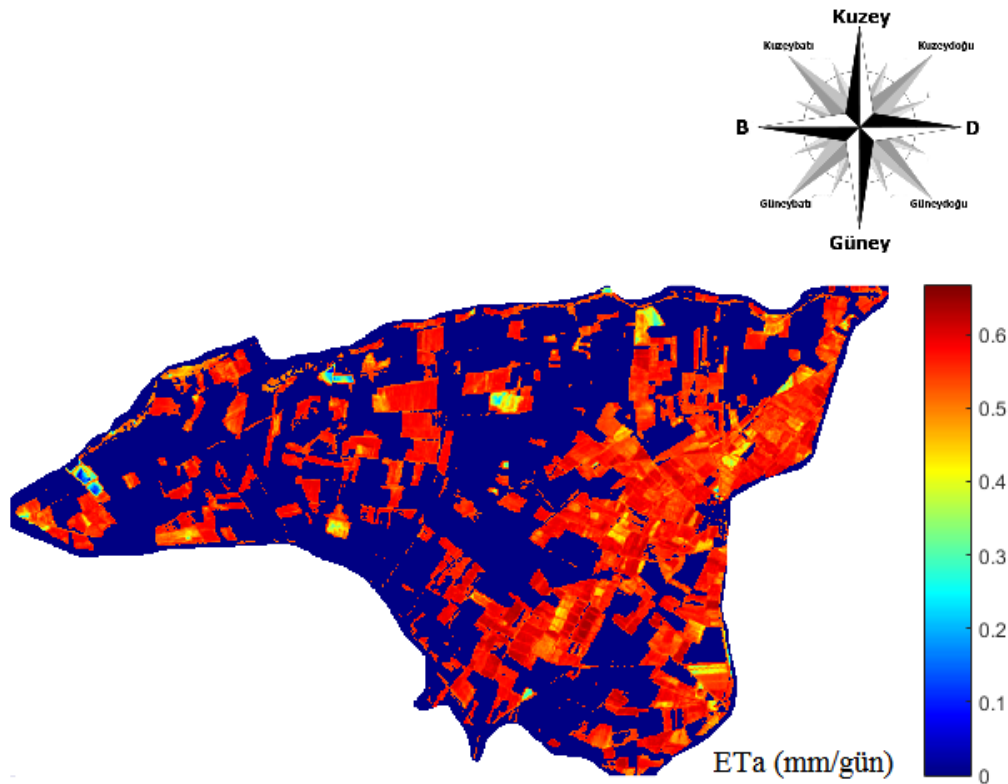
Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha=0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Model - Bitki Katsayısı Yöntemi	-0.00913	0.0304	0.00635	-1.439	22	0.164

Çizelge 3. Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi.

Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H_0 Hipotezi	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar ($\alpha=0.05$)
Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur	0.155	14	8	170	H_0 reddedilmez



Şekil 3. 22 Ocak 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği (solda) Q-Q grafiği (sağda)



Şekil 4. 22 Ocak 2015 Tarihli Uygulamanın Gerçek Evapotranspirasyon Haritası

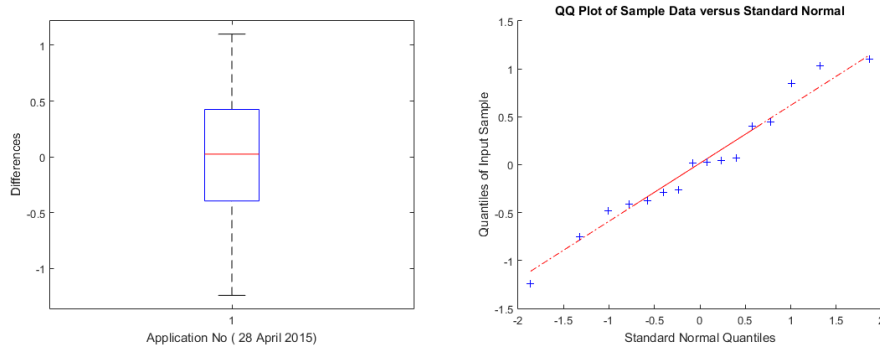
4.2.28 Nisan 2015 Tarihli Uygulama

Önerilen yaklaşımın ikinci uygulaması 28 Nisan 2015 tarihinde gerçekleştirilmiştir. 16 yer gerçeği noktasının kullanıldığı uygulamada referans evapotranspirasyon değeri 5.47 (*mm/gün*) olarak bulunmuştur. Şekil 4'deki kutu

grafikte uyuşumsuz örnek olmamasına ve Q-Q grafiğinin lineer olması rağmen yer gerçeği noktasının oldukça az sayıda olması nedeniyle istatistiksel değerlendirme için sadece Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi kullanılmıştır. Her bir yer gerçeğine ait bulgular Çizelge 4'de; istatistiksel bulgular ise Çizelge 5'de sunulmuştur. Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testine göre P olasılık değeri 0.92 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca uygulamanın ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.4875 ($mm/gün$); ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.6204 ($mm/gün$); ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.091 olarak hesaplanmıştır. Bu sayede yer gerçeği ile önerilen yaklaşımın elde ettiği değerler arasında anlamlı bir fark olmadığı söylenebilir. Önerilen yaklaşım tarafından hesaplanan ET_a haritası Şekil 5'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 28 Nisan 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri

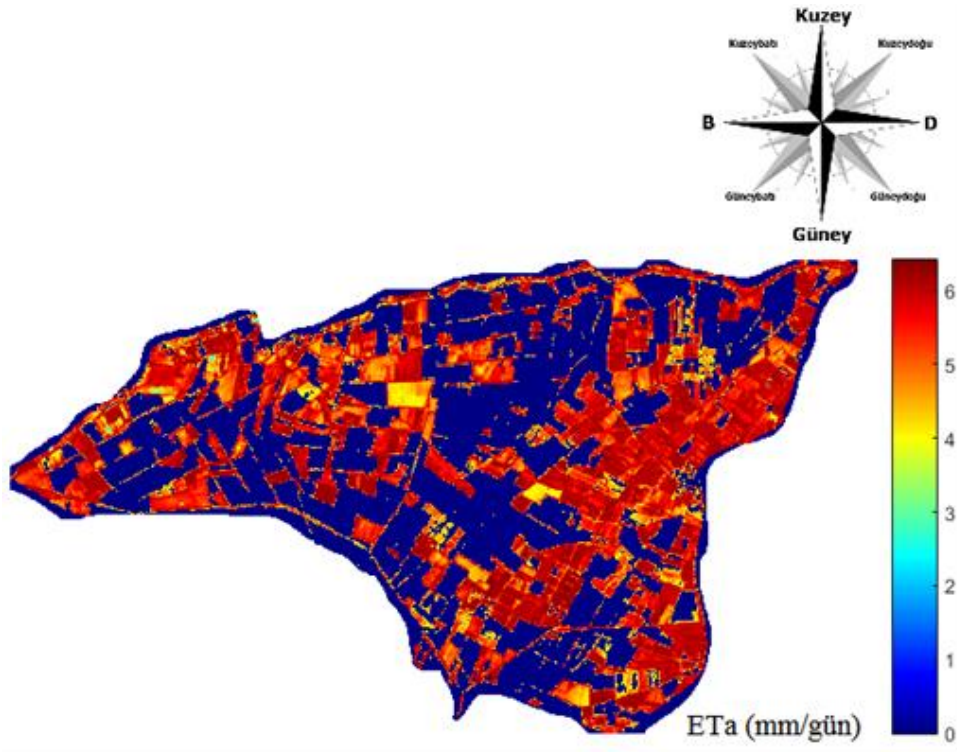
Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi ($mm/gün$)	SEBAL-BSA (Jacknife Yöntemi) ($mm/gün$)
1	5.75	6.04
2	5.47	5.07
3	5.75	4.65
4	5.75	5.73
5	4.51	5.75
6	5.47	5.02
7	4.51	5.26
8	5.47	5.95
9	5.47	5.43
10	5.47	5.40
11	5.47	5.44
12	5.75	4.72
13	5.75	4.90
14	5.75	6.01
15	5.75	6.13
16	5.75	6.16



Şekil 5. 28 Nisan 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği (solda) Q-Q grafiği (sağda)

Çizelge 5. Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların Wilcoxon eşlenik çift (işaret) testi analizi.

Bulgulara İlişkin Wilcoxon Eşlenik Çift (İşaret) Testi					
H_0 Hipotezi ($\alpha=0.05$)	P	Pozitif Farklar	Negatif Farklar	Test İstatistiği (T)	Karar
Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur	0.92	7	9	66	Kabul



Şekil 6. 28 Nisan 2015 Tarihli Uygulamanın Gerçek Evapotranspirasyon Haritası

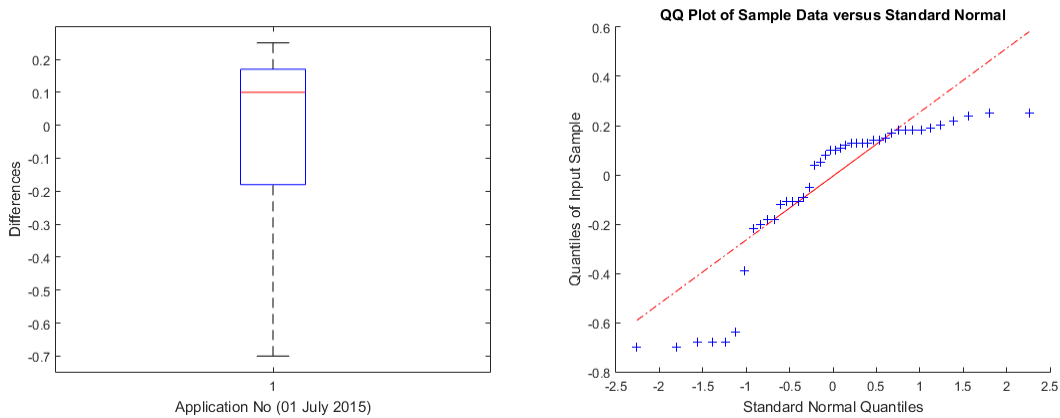
4.3.01 Temmuz 2015 Tarihli Uygulama

SEBAL-BSA ile gerçekleştirilen son uygulama için 01 Temmuz 2015 tarihli uydu görüntüsü kullanılmıştır. Uygulamanın gerçekleştiği zaman diliminde hava sıcaklığının ve yüzeye ulaşan radyasyonun oldukça fazla olması, gerçek evapotranspirasyonun artmasına; dolayısıyla su yönetim ve planlamasının çok daha önemli bir hale gelmesine neden olmaktadır. Ayrıca bu ayda, bitki çeşitliliğinin en üst seviyede olması da, önerilen yaklaşımın farklı bitkiler için etkinliğini irdeleyebilmek için bir kaynak olmuştur. Bu uygulama için toplam 42 yer gerçeği noktası belirlenmiş ve referans evapotranspirasyon değeri 5.37 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Yer gerçeği sayısının görece fazla olması ($42 > 30$); istatistiksel değerlendirme için merkezi limit teoremine göre Eşlenik örnekler T Testi kullanılmıştır. Jackknife (Leave-One-Out) tekniğine göre elde edilen bulgular Çizelge 6'da verilmiştir. Bulgulara ait kutu ve QQ grafiği ise Şekil 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için elde edilen ET_a değerleri

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-BSA (Jackknife Yöntemi) (mm/gün)
1	6.18	6.00
2	5.91	5.96
3	5.37	6.07
4	5.37	6.01
5	6.18	6.08
6	6.18	6.13
7	6.18	6.01
8	6.18	5.96
9	6.18	6.00
10	6.18	6.07
11	5.37	6.05
12	6.18	5.99
13	6.18	6.05
14	6.18	6.05
15	6.18	6.05
16	6.18	6.00
17	6.18	6.06

Nokta No	Bitki Katsayısı Yöntemi (mm/gün)	SEBAL-BSA (Jacknife Yöntemi) (mm/gün)
18	6.18	5.94
19	6.18	6.03
20	6.18	6.04
21	5.63	6.02
22	6.18	5.98
23	6.18	6.00
24	6.18	5.93
25	6.18	6.05
26	6.18	6.10
27	6.18	6.14
28	5.91	6.03
29	5.91	6.13
30	5.91	6.09
31	5.91	6.09
32	6.18	5.93
33	5.91	6.02
34	5.37	6.05
35	5.91	6.02
36	5.37	6.07
37	5.91	6.02
38	5.91	6.11
39	5.37	6.05
40	6.18	6.04
41	5.91	6.00
42	6.18	6.08

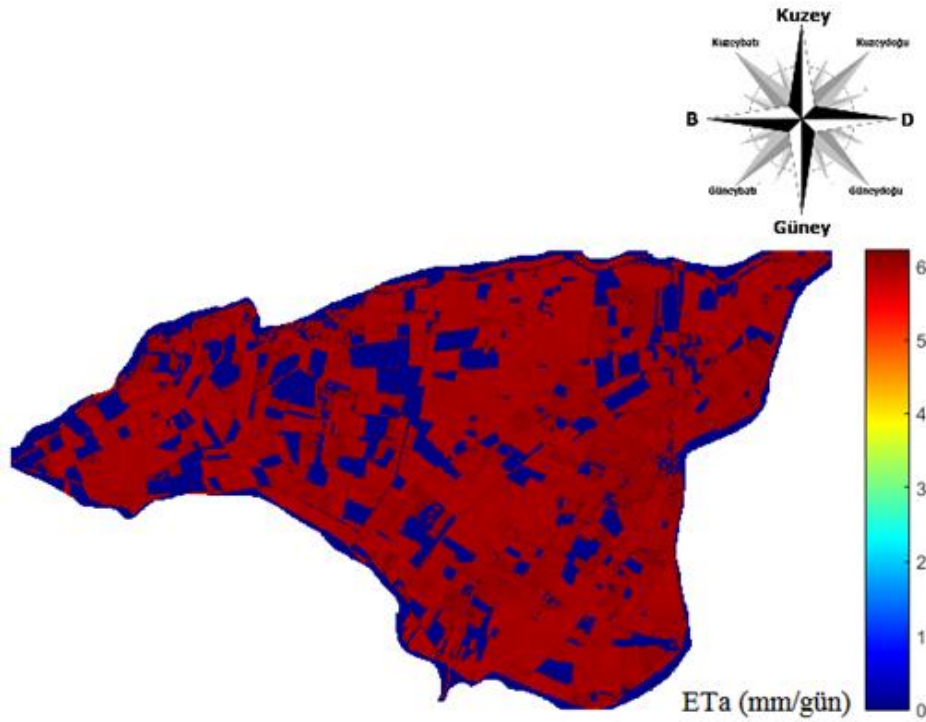


Şekil 7. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulama için kutu grafiği (solda) Q-Q grafiği (sağda)

Çizelge 7. Jacknife yöntemi ile elde edilen bulguların eşlenik örnekler t-testi analizi

Eşlenik Örnekler T-Testi						
$\alpha=0.05$	Ort.	Std. Sapma	Std. Hata Ort.	t-Değeri	S.D.	P
Model - Bitki Katsayısı Yöntemi	-0.049	0.300	0.046	-1.054	41	0.298

Uygulamanın ortalama mutlak hata değeri (MAE) 0.23 (*mm/gün*), ortalama karesel hata değerinin karekökü (RMSE) 0.300 (*mm/gün*), ortalama mutlak oransal hata değeri (MARE) 0.04 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 6 incelendiğinde hesaplanan ET_a değerleri ile yer gerçeği değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Çizelge 7'de gösterildiği gibi 0.05 anlamlılık düzeyinde yapılan Eşlenik Örnekler T-Testi sonucunda **P** değeri 0.298 olarak hesaplanmış ve H_0 Hipotezinin (Bulgular Arasında Anlamlı Bir Fark Yoktur) reddedilmediği görülmüştür. Sunulan yaklaşıma ait ET_a haritası Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 8. 01 Temmuz 2015 tarihli uygulamanın gerçek evapotranspirasyon haritası

5.SONUÇLAR

Su kaynaklarının hızla tükenmesi, su yönetimi ve planlamasını geçmişe nazaran çok daha önemli bir hale getirmiştir. Bu amaçla, uzaktan algılama ve görüntü işleme teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde geliştirilen yöntemler ile bölgesel gerçek evapotranspirasyon haritaları üretilebilmektedir. Farklı uydu sistemlerine kolay adapte edilebilmesi ve ihtiyaç duyduğu veri sayısının az olması nedeniyle evapotranspirasyon haritalama için en sık kullanılan yöntem SEBAL olmuştur. Ancak bazı uyduların kullanım ömürlerini tamamlaması, bozulmalar ve farklı uydu sistemlerinin çözünürlüklerinin düşük olması nedeniyle SEBAL tekniğinin güncel sistemlere adapte edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada SEBAL tekniği çok yeni bir uydu sistemi olan Landsat 8'e uygun hale getirilmiş ve uzmanlık bilgisi gerektiren soğuk-sıcak piksel seçim işlemi ile albedo haritalarının hesaplanması için parametre optimizasyonunu BSA ile otomatik yapabilen yeni bir yaklaşım (SEBAL-BSA) önerilmiştir. SEBAL-BSA, Türkiye'nin önemli tarım alanlarından olan Çukurova bölgesindeki Adana ili Aşağı Seyhan Ovası, Akarsu Sulama Birliği sulama sahasında Ocak, Nisan ve Temmuz aylarında test edilmiştir. Eşlenik Çift T Testi ve Wilcoxon Eşlenik Çift Testlerinin kullanıldığı istatistikî değerlendirmeler, önerilen yaklaşımın hesapladığı ET_a değerleri ile yer gerçeği noktalarına ait ET_a değerleri arasında anlamlı bir fark olmadığını ortaya koymuştur. Böylelikle önerilen yaklaşımın su yönetimi ile ilişkili kurum ve kuruluşlar için kullanılabilir bir model olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- Allen, R., Irmak, A., Trezza, R., Hendrickx, J.M.H., Bastiaanssen, W., Kjaersgaard, J., 2011. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. *Hydrological Processes* 25, 4011-4027.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO, Rome 300, 6541.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *J Irrig Drain E-Asce* 133, 380-394.
- Almhab, A., Busu, I., 2008. Estimation of Evapotranspiration with Modified SEBAL Model Using Landsat-TM and NOAA-AVHRR Images in Arid Mountains Area, *Modeling & Simulation, 2008. AICMS 08. Second Asia International Conference on*, pp. 350-355.
- Atasever, U.H., Civicioglu, P., Besdok, E., Ozkan, C., 2014. A New Unsupervised Change Detection Approach Based On DWT Image Fusion And Backtracking Search Optimization Algorithm For Optical Remote Sensing Data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XL-7, 15-18.
- Atasever, Ü.H., 2016. Uzaktan Algılama Teknolojileri ile Evapotranspirasyonun Belirlenmesi. Erciyes Üniversitesi, Kayseri, TÜRKİYE.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M., 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology* 212-213, 198-212.

- Bastiaanssen, W.G.M., Molden, D.J., Makin, I.W., 2000.** Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management* 46, 137-155.
- Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P., Allen, R.G., 2005.** SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *J Irrig Drain E-Asce* 131, 85-93.
- Bastiaanssen, W.G.M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J.F., Roerink, G.J., van der Wal, T., 1998b.** A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2: Validation. *Journal of Hydrology* 212-213, 213-229.
- Chatterjee, S., 2010.** Estimating evapotranspiration using remote sensing: A hybrid approach between MODIS derived enhanced vegetation index, Bowen ratio system, and ground based micro-meteorological data. *Wright State University, Ann Arbor*, p. 193.
- Chen, T.S., Ohring, G., 1984.** On the Relationship between Clear-Sky Planetary and Surface Albedos. *J Atmos Sci* 41, 156-158.
- Civicioglu, P., 2012.** Transforming geocentric cartesian coordinates to geodetic coordinates by using differential search algorithm. *Comput Geosci-Uk* 46, 229-247.
- Civicioglu, P., 2013.** Backtracking Search Optimization Algorithm for numerical optimization problems. *Applied Mathematics and Computation* 219, 8121-8144.
- Civicioglu, P., Besdok, E., 2011.** A conceptual comparison of the Cuckoo-search, particle swarm optimization, differential evolution and artificial bee colony algorithms. *Artificial Intelligence Review* 39, 315-346.
- Çetin, M., İbrikçi, H., Berberoğlu, S., Gültekin, U., Karnez, E., Selek, B., 2012.** Yarı Kurak İklimli Akdeniz Bölgesi Tarım Alanlarında Tuzluluk Etkisini Azaltmak İçin Sulama Randımanlarının Analiz ve Optimizasyonu (Medsalin). TÜBİTAK-BMBF Destekli Proje Sonuç Raporu, 182.
- Goyal M. R., H.E.W., 2014.** *Evapotranspiration: Principles and Applications for Water Management* Apple Academic Press, Canada.
- İbrikci, H., Cetin, M., Karnez, E., Flügel, W.A., Tilkici, B., Bulbul, Y., Ryan, J., 2015.** Irrigation-induced nitrate losses assessed in a Mediterranean irrigation district. *Agricultural Water Management* 148, 223-231.
- Kiptala, J.K., Mohamed, Y., Mul, M.L., Van der Zaag, P., 2013.** Mapping evapotranspiration trends using MODIS and SEBAL model in a data scarce and heterogeneous landscape in Eastern Africa. *Water Resour Res* 49, 8495-8510.
- Kramber, W.J., Morse, A., Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Wright, J.L., 2002.** Developing surrogate pixels for comparing SEBAL ET with lysimeter ET measurements, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS '02. 2002 IEEE International*, pp. 119-121 vol.111.
- Liang, S.L., 2001.** Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. *Remote Sensing of Environment* 76, 213-238.
- Singh, R.K., Irmak, A., Irmak, S., Martin, D.L., 2008.** Application of SEBAL Model for Mapping Evapotranspiration and Estimating Surface Energy Fluxes in South-Central Nebraska. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 134, 273-285.
- Tasumi, M., 2003.** Progression in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. *University of Idaho, Idaho, USA*.
- Teixeira, A.H.d.C., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., Bos, M.G., 2009.** Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil: Part B: Application to the regional scale. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 477-490.
- USGS, 2015.** *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. 1.0 ed. United States Geological Survey, USA.
- Valiantzas, J.D., 2013.** Simple ET₀ Forms of Penman's Equation without Wind and/or Humidity Data. I: Theoretical Development. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 139, 1-8.
- Vandegriend, A.A., Owe, M., 1993.** On the Relationship between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Surfaces. *Int J Remote Sens* 14, 1119-1131.