



YER YÜZEY SICAKLIĞININ BECKER VE LI-1990 ALGORİTMASINA BAĞLI HESAPLANMASI

Mehmet ŞAHİN ve Hacı Mustafa KANDIRMAZ

Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, 01330, Balcalı, Adana-Türkiye
sahanmehmet2000@yahoo.com, mkandirmaz@cu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 06. 01. 2009, Kabul Tarihi: 10. 08. 2009)

Özet: Yer yüzey sıcaklığı; dünyadaki birçok fiziksel, kimyasal, biyolojik, enerji ve su döngüsü, hava tahmini, global okyanus dolaşımı ve iklimsel değişimlerin belirlenmesi için önemli bir faktördür. Ayrıca yer yüzey sıcaklık bilgisi dünya enerji kaynaklarının yönetiminde ve çevresel çalışmalar için gereklidir. Bu amaçla çalışmada, NOAA-12,14,15/AVHRR uydu verileri kullanarak yer yüzey sıcaklığı haritaları oluşturulmuştur. Haritalarda Adana, Ankara, Antalya, Artvin, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Samsun,Sivas, Şanlıurfa, Van illeri kontrol noktaları olarak seçilmiştir. Haritalardan elde edilen değerler, yer değerleri ile karşılaştırılmış ve aylık ortalama bazda korelasyon katsayısı (r) ve hataların karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE) değerleri sırasıyla 0,989 ve 1,493 °K bulunmuştur. İllere göre korelasyon katsayısı ve RMSE değerleri sırasıyla 0,959-0,990 ve 1,589-3,332 °K arasında değişmiştir. Karşılaştırma neticesinde, NOAA-AVHRR uydu verileri kullanılarak yer yüzey sıcaklığının çok yüksek oranda doğrulukla hesaplanabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan algılama, Yer yüzey sıcaklığı, Parlaklık sıcaklığı, Yayımlılık.

CALCULATION LAND SURFACE TEMPERATURE DEPENDING ON BECKER AND LI-1990 ALGORITHM

Abstract: Land surface temperature is an important factor for determination of most physical, biological, energy and water processes and cycles, weather prediction, global ocean circulation and climatic variability in the earth. Further, knowledge of land surface temperature is necessary for management of earth energy resources and environmental studies. For these aims, land surface temperature maps were constituted by using NOAA-12,14,15/AVHRR satellite data. Cities of Adana, Ankara, and Antalya, Artvin, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Samsun, Sivas, Şanlıurfa and Van were chosen as control points on the maps. The values which were obtained from the maps produced were compared with these ground-truth values. On monthly averages of overall comparisons, the correlation coefficient (r) and root mean squared error (RMSE) value were found to be 0,989 and 1,493 °K respectively. When the separate cities were considered, correlation coefficient and RMSE values were found to change within the intervals 0,959-0,990 and 1,589-3,332 °K respectively. These show that land surface temperatures can be determined with a high accuracy by using the data from NOAA-AVHRR satellites.

Key Words: Remote sensing, Land surface temperature, Brightness temperature, Emissivity.

SEMBOLLER

R_{Li} : Lineer radyans değeri [$mW/(m^2 \cdot sr \cdot cm^{-1})$]

T(E): Parlaklık sıcaklığı değeri (°K)

NDVI: Normalize edilmiş bitki indeksi

NIR: Yakın kızılötesi bölge

RED: Kırmızı bölge

NOAA: (Amerikan) Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi

AVHRR: Yüksek çözünürlüklü radyometre

MODIS: Orta çözünürlüklü görüntü spektrometresi

V: Kanalın merkezi ters dalga boyu (cm^{-1})

ϵ : Yüzey yayımlılık değeri

ϵ_4 : 4. kanalın yayımlılığı

ϵ_5 : 5. kanalın yayımlılığı

r: Korelasyon katsayısı

RMSE: Hataların karelerinin ortalamasının karekökü

ATSR: Palet boyunca tarayıcı radyometre

GİRİŞ

Yer yüzey sıcaklığının; dünya ve onu çevreleyen atmosfer arasındaki enerji ve su alış verişinde, hava tahmininde, küresel okyanus dolaşımında, iklimsel değişimlerin belirlenmesinde önemli bir rolü vardır (Valor ve Caselles, 1996; Kant ve Badarinath, 2000). Bu nedenle dünya yüzeyindeki enerji dengesinin doğru olarak hesaplanmasında önemli bir parametredir. Yer yüzey sıcaklığını hesaplamak için her ne kadar (nokta bazında çalışan) çeşitli meteoroloji istasyonları kurulmuş olsa da gelişen teknoloji ile birlikte yer yüzey sıcaklığı, uzaktan algılama verileri yardımıyla global olarak hesaplanabilmektedir. Uzaktan algılama kavramı olarak, yeryüzünün ve yer kaynaklarının araştırılmasında, araştırılan nesnelere fiziksel bağlantı kurmadan veri elde etme ve inceleme tekniği olarak tanımlanabilir. Uzaktan algılama çalışmaları uydular, uçaklar veya balonlara takılan çok kanallı algılayıcılar, kameralar ve fotoğraf makineleri ile yapılmaktadır.

Doğal çevrenin önemli bir bölümü, dinamik yapısı nedeniyle, sürekli olarak izlenmeyi gerektirir. Bunun için de havacılık ve uzay teknolojilerinden önemli katkılar sağlanır. Uzaktan algılama yöntemleri ile yüksek irtifalardan veya uzaydan elde edilen ve geniş alanları kaplayabilen veriler, çalışmaların amacına göre yorumlanıp, bilgiye dönüştürülür. Benzer çalışmaları yerden insan gücü ile yapma olanağı da vardır. Fakat bu oldukça fazla yüksek maliyet (insan gücü, zaman ve para) gerektirir. Zaman zaman yeryüzünün fiziki yapısı ve diğer koşullar bu tür çalışmaların yerden yapılmasına bile izin vermeyebilir. Bu ve buna benzer nedenlerden dolayı uzaktan algılama çalışma ve teknikleri vazgeçilmez bir konuma yükselmiştir. Günümüzde uzaktan algılama çalışmaları genellikle uydularla yapılmaktadır. Uydular çok geniş alanları, çok kısa aralıklarla elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde tarama yapabilmektedir (Şahin, 2008).

Yeryüzü sıcaklığının büyük ölçeklerde belirlenmesinde, yapay uyduların ısı (termal) kanalları kullanılarak, büyük kolaylıklar sağlanmaktadır. Bu bağlamda, yer yüzey sıcaklığını hesaplamak için NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration: (Amerikan) Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi) uydu serilerinde bulunan AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer: Çok Yüksek Çözünürlüklü Radyometre) algılayıcısı kullanılarak, yeryüzü sıcaklığını hesaplayan çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir (Price,1984; Becker 1987; Becker ve Li, 1990; Vidal ve Blad, 1991; Prata, 1993 ve 1994; Sobrino vd, 1994 ve 1996; Coll vd, 1994; Becker ve Li, 1995; Coll ve Caselles, 1997). Ayrıca ATSR (Along Track Scanning Radiometer: Palet Boyunca Tarayıcı Radyometre) ve MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: Orta Çözünürlüklü Görüntü Spektrometresi) radyometreleri için de yer yüzey sıcaklığını hesaplamak için benzer veya farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalarda elde edilen sıcaklık değerleri ile yer-gerçeği değerleri arasındaki farkın 1–3°K aralığında değiştiği

görülmektedir (Wan ve Dozier, 1996; Liang, 2001; Ma vd, 2002).

İklim sistemleri ile ilgili benzetimlerde ve diğer değerlendirmelerde, yer yüzey sıcaklığının aynı bölgede, sürekli ve yeteri sıklıkla (saatlik, gecelik, gündüzlük, günlük ortalama olarak...) hesaplanması gerekebilir. Ancak, kutupsal yörüngeli uydularla aynı bölgenin sürekli olarak gözlenmesi mümkün değildir. Yer yüzey sıcaklığı hesaplanmasında, kutupsal yörüngeli uydular yanında, yer-hemzaman (dünya ile aynı hızla dönen) uydular da kullanılmaktadır. Bunlardan GMS-5 uydusu için Prata ve Cechet (1999) tarafından; GOES-8 uydusu için de Faysash ve Smith (1999), Sun ve Pinker (2003), Sun vd (2004) gibi yazarlarca yüzey sıcaklığını hesaplayan algoritmalar geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmalarla elde edilen yer yüzey sıcaklığı değerleri, meteorolojik istasyonlardan elde edilen değerler arasında yaklaşık 2°K mertebesinde farklar (hatalar) bulunabilmektedir.

Bu çalışmamızda, 2002 yılı için her aydan bir adet NOAA-12,14 veya 15 uydularının AVHRR algılayıcısından elde edilen görüntüler kullanılarak yer yüzey sıcaklığı Adana, Ankara, Antalya, Artvin, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Samsun,Sivas, Şanlıurfa, Van illerinin merkezi meteoroloji istasyonları baz alınarak hesaplanmıştır. Böylece, 12 adet yer yüzey sıcaklığı haritası elde edilmiştir. Elde edilen haritalarda Becker ve Li (1990) algoritması kullanılmıştır.

MATERYAL VE METOD

Çalışma için gerekli olan malzeme, 12 aya ait Türkiye uydu görüntüleri ile bu görüntülerden elde edilecek sıcaklık değerlerinin kıyaslanabileceği aynı tarih ve yaklaşık saate ait yer yüzey sıcaklığı ölçüm değerleridir. Yer yüzey sıcaklığı ölçüm değerleri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden, uydu görüntüleri ise ODTÜ'de yerleşik TÜBİTAK-BİLTEN Kurumu'ndan elde edilmişlerdir. Yer yüzey sıcaklığının hesaplanmasında Adana, Ankara, Antalya, Artvin, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Samsun,Sivas, Şanlıurfa, Van illeri kontrol noktaları olarak alınmıştır. Çalışmada Becker ve Li(1990) algoritması ile toplamda 12 adet NOAA-12,14 ve 15 AVHRR algılayıcı görüntüleri kullanılarak, görüntü alma saatlerindeki yer yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır.

NOAA-AVHRR Isıl Band Kanalı Verilerinin Kalibrasyonu

Uydudan elde edilen veriler ham verilerdir. Ham verilerin bir dizi işlemle geçirilmesi gereği vardır. Bu amaçla 'Quorum' (Bu yazılım 1994 yılında NOAA uyduları için geliştirilmiştir. Amacı Quorum yer alıcı platformlarından elde edilen ham verileri, görüntü işleme programları için daha kullanışlı olan Level-1B formatına dönüştürmektir. Yazılımın telif hakkı 1990–2000 yılları arasında Delta Data Systems kuruluşuna aittir.) yazılımı yardımıyla ham veriler 'Level-1B'

denilen bir formata dönüştürülür. Level-1B formatına dönüştürülen verilerin kullanılmasıyla, yer yüzeyi parlaklık sıcaklığını değerlerini elde etmek mümkündür. Ancak, önce NOAA-AVHRR verilerinin ısı kalibrasyonu yapılmalıdır. Bu formattaki veriler, NOAA-AVHRR algılayıcısının 4. ve 5. kanalları, Denklem (1) yardımı ile parlaklığın doğrusal bir fonksiyonu olarak düzeltilmiş parlaklık değerlerine, yani yayınan enerjiye dönüşmektedir:

$$E = A \times R_{Li} + B \times R_{Li}^2 + C \quad (1)$$

Burada A, B ve C kanallara özel katsayılar, R_{Li} ise doğrusal yayınım (linear radiance) değeridir. Her uydu için değişen A, B ve C katsayıları, NOAA uydusunun resmi internet sitesinde verilmektedir (Rao, 1987; Rao ve Chen, 1995; Goodrum vd, 2005). Bizim çalışmamızda kullandığımız NOAA-15 uydusu için bu değerler Tablo 1'de özetlenmektedir. Yayınan enerji değerlerinden parlaklık sıcaklığı değerlerine geçiş ise, ters- Planck ışınma eşitliği diye adlandırılan Denklem (2) yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

$$T(E) = \frac{C_2 V}{\ln\left(1 + \frac{C_1 V^3}{E}\right)} \quad (2)$$

Burada T(E), E yayınan enerji değerine karşılık gelen 0K cinsinden sıcaklık, V ölçüm yapılan kanalın merkezi ters-dalga boyu (cm^{-1}), $C_1 = 1.1910659 \times 10^{-5} mW/(m^2 \cdot sr \cdot cm^{-1})$ ve $C_2 = 1.438833 cm^{-0}K$ olan sabitlerdir. NOAA-12 ve NOAA-14 uydusu için elde edilen bir T(E) değerine ek sıcaklık düzeltmesi uygulanmaz. NOAA-15 uydu verilerinden yer yüzey sıcaklığı hesabını yapabilmek için ise, Denklem (2)'den elde edilen T(E) değerine aşağıda verilen Denklem (3) yardımıyla ek bir düzeltme işlemi yapılmalıdır.

$$T = [T(E) - K] / L \quad (3)$$

Eşitlikteki K ve L katsayıları sırasıyla uydunun kanallarına göre değişen katsayılardır. Söz konusu değerler Tablo (1)'de verilmiştir.

Tablo 1. NOAA-15 AVHRR algılayıcısı için sıcaklık düzeltme katsayıları (Goodrum vd, 2005)

| Uydu Kanalları | K | L |
|----------------|----------|----------|
| Kanal 4 | 0,337810 | 0,998719 |
| Kanal 5 | 0,304558 | 0,999024 |

Yüzey Yayınlılık Değerlerinin Belirlenmesi

Normalize Bitki İndisi (normalized difference vegetation index) NDVI, incelenen bölgenin yeşil bitki örtüsü yoğunluğunun uzaktan algılama yöntemi ile sayısallaştırılarak ölçülmesinden ibaret olan basit bir

yöntemdir. Yeşil yapraklı bitkiler, kendileri için hayati öneme sahip güneş ışınlarını fotosentez yoluyla soğururlar. Bitki hücreleri gelen güneş ışınları yardımıyla kendilerini geliştirerek büyümekte ve daha fazla yeşil bitki hücreleri oluşturmaktadır. Bitkilerde bu düzeyde gelişimi sağlayan, yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının yaklaşık olarak % 50 kadarını oluşturan yakın kızılötesi spektral ışın bölgesidir. Çünkü organik moleküllerin sentezinde bundan daha düşük enerji ile gelen foton yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle yeşil yapraklı bitkiler, ortamın aydınlığına bağlı olarak, yakın kızılötesi bölgedeki fotonları kullanarak fotosenteze başlamaktadır. Karanlık ortamlarda ise fotosentez süreci tersine işlemektedir (Gates, 1980).

Uydularla yapılan bitki örtüsü belirleme çalışmalarında, uydu kanallarının kırmızı ve yakın kızılötesi kanalları kullanılır. Alınan veriler incelendiğinde kırmızı ve yakın kızılötesi kanalların bitkilerdeki yansımaları arasında uzaysal çözünürlüğe bağlı olarak aralarında büyük fark olduğu gözlenmiştir. Buna bağlı olarak NDVI değeri Denklem (4)'teki gibi formüleleştirilmiştir:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

Buradaki NDVI, normalize edilmiş bitki indeksi, NIR ve RED sırasıyla yakın kızılötesi ve kırmızı bölgelerdeki spektral yansıma ölçüleridir. NOAA uydularının AVHRR algılayıcılarından alınan kanal ölçü değerine göre Denklem (4) tekrar yazılırsa, Denklem (5) elde edilir (Srivastana vd, 1997):

$$NDVI = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} \quad (5)$$

Buradaki CH_1 ve CH_2 sırasıyla AVHRR algılayıcısının 1. ve 2. kanallarının yansıma miktarı değerleridir. Bu denkleme göre NDVI ancak -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Söz konusu değerlerin miktarı tamamen bitki örtüsünün enerji soğurmasına ve fotosentez kapasitesine bağlı olarak doğrudan değişmektedir (Sellers, 1985; Myneni vd, 1995).

Yeşil bitki örtüsüyle kaplı alanların NDVI değeri daima pozitifdir. Su ile kaplı örtülerde (okyanus, deniz, göl ve ırmak) her iki spektral kanaldaki yansımalar oldukça düşüktür. Bu nedenle NDVI çok düşük veya negatif değerler almaktadır. Çıplak toprak ise yakın kızılötesi kanal (CH_2), kırmızı kanala (CH_1) göre daha fazla yansıma meydana getirmektedir. Bu nedenle toprak için NDVI oldukça küçük, fakat pozitif (0,1 ile 0,2 arasında değişen) değerler alır. Bu değerlerin elde edilmesinde ortaya çıkan ve değerlerin sayısal miktarını etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar arasında, kısaca atmosferde yer alan su buharını, aerosolü ve bulutları sayabiliriz. Atmosferdeki bu oluşumlar radyometre tarafından alınan sinyallerin değişmesine (bozulmasına) neden olmaktadır. Bozuk sinyaller neticesinde elde edilen görüntü de bozuk olacak ve NDVI değeri farklı

çıkacaktır (Holben, 1986). Diğer taraftan toprağın nem yapısına ve ölçüm yapılan andaki bitki örtüsü üzerinde meydana gelmiş olan yağış miktarına bağlı olarak ta yayırlık değeri, (NDVI ile de bağlantılı olarak) şu şekilde değişmektedir:

$$\varepsilon = a + b \log(\text{NDVI}) \quad (6)$$

Burada ε yayırlık olmak üzere, a ve b bağıntı sabitleri, 8 – 14 μm aralığındaki spektral bölge için belirlenmiştir ve değerleri sırasıyla 1,0094 ve 0,047’ dir (Van de Griend ve Owe, 1993).Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre yüzey sıcaklığının belirlenmesinde ortalama bir yayırlık değerinin alınmasının gerektiği ve bu değer 0,975 olduğu, 4. ve 5. kanalların yayırlık farkının ise -0,005 olduğu tespit edilmiştir (Caselles vd, 1997; Chrysoulakis ve Cartalis, 2002). Bu durumda şu iki farklı eşitliği elde etmek mümkündür:

$$\varepsilon = (\varepsilon_4 + \varepsilon_5) / 2 = 0,975 \quad (7)$$

$$\Delta\varepsilon = (\varepsilon_4 - \varepsilon_5) = -0,005 \quad (8)$$

Yukarıdaki eşitliklerdeki ε_4 ve ε_5 , sırasıyla, 4. ve 5. kanalın yayırlık değerleri olmak üzere, eşitlik çözüldüğünde $\varepsilon_4=0,9725$ ve $\varepsilon_5=0,9775$ olarak bulunmaktadır.

Yer Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi

Denklem 9’da tanımlanan Becker ve Li (1990) algoritması, ışınımın transferini temel alarak bölgesel olarak geliştirilmiş bir algoritmadır:

$$T_{\text{Becker-Li-1990}} = 1.274 + P \frac{T_4 + T_5}{2} + M \frac{T_4 - T_5}{2}$$

$$P = 1 + 0.15616 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} - 0.482 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \quad (9)$$

$$M = 6.26 + 3.98 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + 38.33 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}$$

Buradaki P ve M katsayıları atmosferik etkilere ve bölgesel yüzey yayırlığa bağlı sabitler, T_4 AVHRR algılayıcısının termal kanallarından 4. kanalın parlaklık sıcaklığı, T_5 ise 5. kanalın parlaklık sıcaklığı değeridir. Formüllerde kullanılan sayısal katsayılar ise Lowtran 6 simülasyon programı ile daha önceden bulunmuştur (Kneizys vd, 1983).

Geometrik Düzeltme Çalışmaları

Geometrik düzeltmeler uyduların hareketli yapısından dolayı gereklidir. Uydu hareket halindeyken görüntü alır. Alınan görüntü analiz işlemlerinde kullanılabilmesi

için, harita formuna sokularak istenilen noktanın belirlenmesinde harita üzerinde koordinatların yerleştirilmesi gereklidir. İlk aşamada görüntü üzerinde herhangi bir projeksiyona bağlı olarak koordinatlama yapıldıktan sonra görüntü bulunduğu koordinat sisteminden başka bir koordinat sistemine taşınabilir. İkinci aşamada görüntünün geometrik düzeltme işlemleri için görüntü üzerine iyi dağılmış yer kontrol noktaları belirlenir. Bu noktalar harita koordinatları yardımıyla işlenir. Diğer bir yol da koordinatlanmış olan görüntüden faydalanılarak geometrik düzeltme yapmaktır. Buna ‘görüntüden görüntüye kayıt’ denir (Mather, 2004).

Bozuk görüntünün geometrik düzeltmesi için, ‘yeniden örnekleme’ adı verilen bir işlem yapılır. Bu işlem, düzeltilmiş görüntüde yeni piksellerin sayısal değerlerini belirlemede kullanılır. ‘Yeniden örnekleme’ metodunda, bozuk görüntüdeki orijinal sayısal piksel değerlerinden yeni piksel değerleri hesaplanır.

Radyometrik Düzeltme Çalışmaları

Bir görüntüdeki bozukluk veya düzensizlikler, ya verinin alınması ya da kaydı ve veri iletimi esnasında meydana gelen olaylardan kaynaklanabilir. Bozuklukların ortak nedeni, sistematik kayıplar veya bant kaydı sırasındaki kayıplardır. Kayıp hatlar bant kaydı esnasındaki değişim ve sürüklenmeden dolayı meydana gelir. Kayıp hatlar normal olarak, hattın altında ya da üstündeki değerlerle ya da her ikisinin ortalaması ile oluşturulacak yeni bir hatla düzeltilir (Altuntaş ve Çorumluoğlu, 2002).

Uydu Verilerini Değerlendirme Çalışmaları

Hesaplanan her büyüklük, temel alındığı bir birimin kaç katı olduğuna göre ifade edilerek sayısal özellik kazanır. Hesaplanan değerlerin, standart ölçütlere göre kritiği yapılarak değerlendirmeleri yapılır. Değerlendirme neticesine göre hesaplanan değerlerin, ölçüm yapılan disiplinin niteliğine göre istenilen amaca ulaşım ulaşıldığının kararına varılır.

Uydu çalışmalarında, uydudan elde edilen görüntüler çalışmanın özelliğine göre ön düzeltme çalışması yapıldıktan sonra çeşitli matematiksel algoritmalarla veya formülasyondan geçirilir. Formül kullanılarak elde edilen görüntünün değeri hesaplanan değerdir. Hesaplanan değer, denetleme ve doğrulama amaçlı olarak, yer değeri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma yapmak için çeşitli istatistiksel kurallar geliştirilmiştir. Bu kuralları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

1. $i = 1 \dots \dots \dots n$, olmak üzere v_i yer değerlerinin, e_i hesaplanan değerlerin oluşturduğu küme, \bar{v} yer ve \bar{e} hesaplanan değerlerin ortalaması, σ_v yer ve σ_e hesaplanan değerlerin standart sapmaları olmak üzere \bar{v} ile \bar{e} arasındaki fark ‘eğilim’ (bias) olarak adlandırılır. Kısaca

hesaplanan değerle yer değeri arasındaki farktır (Laurent vd, 1998).

- Doğrusal İlişkinlik Katsayısı (linear correlation coefficient) r , Denklem (10)'deki gibi verilir (Kendall ve Stuart, 1963).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(e_i - \bar{e})}{n\sigma_v\sigma_e} \quad (10)$$

r , hesaplanan değerle, yer değeri arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu ilişkiye göre yeni formüller üretilebilir. Fakat bunlar hesaplamada başarının değerlendirilmesi için yeterli değildir. Çünkü birinci hesaplamada elde edilen hata oranı oldukça yüksek olsa da, diğer hesaplamalarda da benzer hata oranı ile karşılaşılıyorsa, korelasyon katsayısı oldukça başarılı sonuç verir.

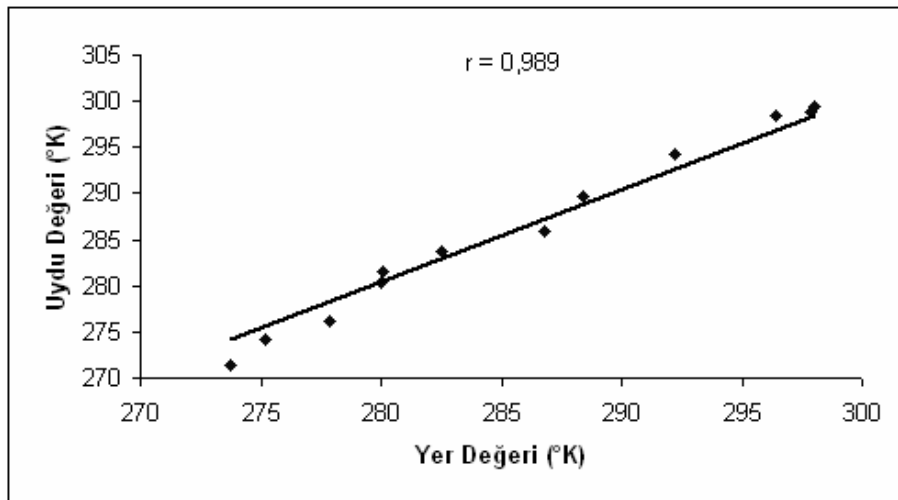
- Hataların karelerinin ortalamasının karekökü (RMSE), Denklem 11'de verilen matematiksel ifadesine, hesaplanan değer ile yer değeri arasındaki farklılaşmanın kesin ölçümü olarak bakılır. Aşağıdaki formülde elde edilen değer küçük olması hesaplanan değer doğruluğunun ve başarısının kanıtıdır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - v_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

UYGULAMA

Bilgisayara kaydedilen uydu verileri 'Quorum' yazılımı yardımıyla Level-1B formatına dönüştürülmüş, daha sonra görüntü işleyen paket programlar yardımıyla, görüntünün radyometrik ve geometrik düzeltilmesi yapılmıştır. Uydu tarafından sağlanan her görüntü oldukça büyük bir alanı kapsadığından dolayı tüm

Türkiye'yi içine alacak şekilde görüntünün kesimi gerekmiştir. NOAA/AVHRR verilerininin 4. ve 5. kanalları için parlaklık sıcaklığı değerleri Denklem (1) ve (2) kullanılarak elde edilmiştir. NOAA-15 uydusunun parlaklık sıcaklığı değerleri için, Denklem (2)'den elde edilen rakamlar, Denklem (3)' te kullanılarak parlaklık sıcaklığı değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen parlaklık sıcaklık değerleri, Denklemler (7) ve (8) de kullanılarak, yer yüzey sıcaklığı değerleri Denklem (9) yardımıyla hesaplanmıştır. Uydu algoritması ile hesaplanan yer yüzey sıcaklığının değerleri, Adana, Ankara, Antalya, Artvin, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Malatya, Samsun, Sivas, Şanlıurfa ve Van illerindeki kontrol noktaları değerleri ile birlikte alınarak Tablo 2'de gösterilmiştir. Bu tablodaki değerlerin görüntü üzerinden aylık ortalamaları alındığında Denklem (10)'un kullanılmasıyla, yer ve uydu değerleri arasındaki ilişkinlik katsayısı (r) hesaplanmıştır. Aylık ortalama değerleri üzerinden hesaplanan katsayısı $\langle r \rangle = 0,989$ olarak bulunmuştur. Bulunan bu katsayı, hesaplanan uydu değerleri ve ölçülen yer değerleri arasında Şekil 1'de görüldüğü gibi güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Yer ve uydu değeri arasındaki hesaplanan $\langle r \rangle$ katsayısı aralarındaki ilişkiyi belirtmede yeterli değildir. Hesaplanan değer, yeryüzünde ölçülen değeri temsil eden meteorolojik ölçüm değerinden ne kadar farklı olduğunu belirtmek için, kareler farklarının ortalamasının karekökü olan RMSE değerinin hesaplanması gerekmektedir. Denklem (11)'in kullanılmasıyla aylık ortalama olarak, RMSE değeri hesaplanmış ve 1,493 °K olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer, aylık ortalamalarda 1,493 °K miktarında hata yapıldığını göstermektedir. Benzer şekilde, ele aldığımız kentler (il merkezleri) temelinde, her bir kent için, ilişkinlik (korelasyon) katsayısı ve RMSE değeri hesaplanarak Tablo 3 elde edilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, ilişkinlik katsayılarının 1'e çok yakın oldukları, yani yüksek düzeyde ilişkinliğe işaret ettikleri görülmektedir.



Şekil 1. Aylık ortalamalar temelinde, yeryüzü sıcaklığı ve Becker ve Li(1990) algoritması ile elde edilen yer yüzey sıcaklığı değerleri arasındaki ilişki $r=0,989$, iki parametre arasındaki yüksek düzeydeki güçlü ilişkinliği göstermektedir.

Tablo 2. Yer yüzey sıcaklığının uydu ve yer değerleri.

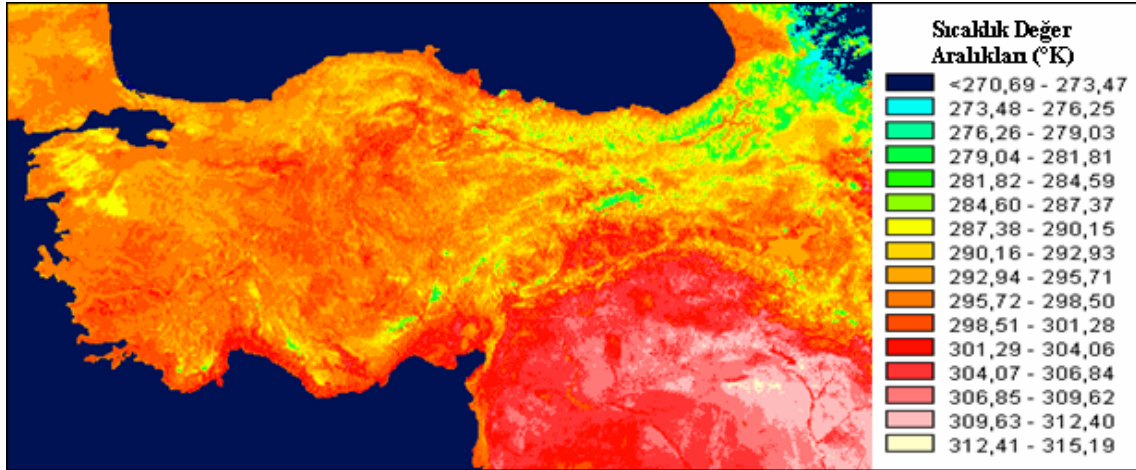
| İller | Ocak | | Şubat | | Mart | | Nisan | | Mayıs | | Haziran | |
|-----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) |
| Adana | 279,40 | 278,25 | 289,20 | 290,20 | 284,00 | 285,82 | 285,80 | 286,97 | 305,80 | 305,74 | 302,60 | 303,12 |
| Ankara | 272,80 | 269,86 | 277,90 | 283,49 | 282,40 | 281,71 | 276,20 | 277,41 | 296,00 | 296,95 | 292,00 | 297,98 |
| İzmir | 280,60 | 280,12 | 289,40 | 286,93 | 289,80 | 288,36 | 282,80 | 284,94 | 290,40 | 294,07 | 300,80 | 299,72 |
| Şanlıurfa | 277,60 | 275,36 | 285,10 | 285,01 | 286,60 | 283,78 | 284,00 | 282,95 | 304,30 | 307,34 | 302,10 | 304,68 |
| Antalya | 277,40 | 280,21 | 291,00 | 293,79 | 287,40 | 289,58 | 283,20 | 287,57 | 289,60 | 293,39 | 302,40 | 304,11 |
| Kayseri | 271,40 | 269,69 | 273,60 | 276,06 | 277,30 | 275,58 | 277,20 | 277,05 | 283,50 | 287,00 | 293,30 | 297,00 |
| Samsun | 282,60 | 283,82 | 281,60 | 285,29 | 280,20 | 281,92 | 280,20 | 283,55 | 286,80 | 290,00 | 296,60 | 296,67 |
| Van | 269,80 | 268,39 | 273,40 | 275,00 | 270,40 | 273,60 | 276,60 | 280,00 | 281,00 | 283,79 | 290,40 | 295,00 |
| Malatya | 273,00 | 270,00 | 285,00 | 283,87 | 276,50 | 277,00 | 277,40 | 280,00 | 287,60 | 292,00 | 297,80 | 299,00 |
| Konya | 271,80 | 268,41 | 283,80 | 284,72 | 278,20 | 279,85 | 276,00 | 279,19 | 303,00 | 303,00 | 295,00 | 299,00 |
| Artvin | 272,30 | 269,77 | 281,80 | 281,92 | 273,70 | 271,12 | 282,30 | 279,00 | 301,80 | 299,56 | 290,40 | 287,00 |
| İstanbul | 275,60 | 278,00 | 288,30 | 286,18 | 279,00 | 280,40 | 283,80 | 287,53 | 287,20 | 288,00 | 296,60 | 300,00 |
| Sivas | 272,70 | 273,29 | 272,70 | 275,00 | 274,10 | 274,45 | 275,40 | 274,56 | 281,40 | 284,00 | 293,20 | 297,23 |
| İller | Temmuz | | Ağustos | | Eylül | | Ekim | | Kasım | | Aralık | |
| | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) | Yer(°K) | Uydu(°K) |
| Adana | 303,20 | 302,84 | 303,80 | 304,30 | 294,60 | 296,97 | 292,00 | 290,00 | 284,00 | 281,00 | 282,00 | 280,41 |
| Ankara | 293,60 | 297,00 | 296,00 | 296,67 | 285,10 | 284,36 | 283,80 | 282,90 | 275,60 | 271,96 | 270,40 | 269,86 |
| İzmir | 301,80 | 298,54 | 304,40 | 302,02 | 289,80 | 291,00 | 287,40 | 288,00 | 281,00 | 279,73 | 277,00 | 272,00 |
| Şanlıurfa | 303,30 | 307,78 | 304,00 | 305,95 | 295,80 | 296,75 | 290,00 | 290,99 | 282,30 | 278,87 | 274,00 | 272,49 |
| Antalya | 302,60 | 302,70 | 303,60 | 303,62 | 291,60 | 293,66 | 290,20 | 290,02 | 282,00 | 282,67 | 279,00 | 273,00 |
| Kayseri | 294,80 | 296,91 | 294,30 | 298,83 | 286,60 | 285,25 | 285,30 | 283,00 | 275,00 | 272,44 | 267,00 | 265,00 |
| Samsun | 299,70 | 301,46 | 296,20 | 300,19 | 290,20 | 292,52 | 289,00 | 288,97 | 280,70 | 280,13 | 274,20 | 274,88 |
| Van | 293,20 | 294,00 | 294,60 | 295,15 | 290,00 | 291,48 | 281,20 | 276,21 | 272,40 | 271,00 | 271,40 | 272,00 |
| Malatya | 298,00 | 299,74 | 297,40 | 300,00 | 288,40 | 292,89 | 284,40 | 286,42 | 274,40 | 270,06 | 273,20 | 266,70 |
| Konya | 295,40 | 298,00 | 293,60 | 298,00 | 282,00 | 284,00 | 283,20 | 284,10 | 272,20 | 272,56 | 268,60 | 269,75 |
| Artvin | 294,50 | 293,06 | 296,60 | 293,22 | 285,20 | 285,00 | 287,70 | 285,35 | 276,30 | 275,91 | 273,40 | 269,00 |
| İstanbul | 299,50 | 298,17 | 296,50 | 300,00 | 286,90 | 289,00 | 291,00 | 289,00 | 282,20 | 283,75 | 278,60 | 278,15 |
| Sivas | 293,00 | 293,83 | 293,60 | 295,91 | 283,40 | 284,22 | 283,20 | 282,19 | 274,30 | 269,58 | 269,4 | 265,6 |

Tablo 3. Ele alınan kentler (İl Merkezleri) temelinde r ve RMSE değerleri.

| İller | r | RMSE(°K) |
|-----------|-------|----------|
| Adana | 0,987 | 1,589 |
| Ankara | 0,961 | 2,964 |
| İzmir | 0,963 | 2,455 |
| Şanlıurfa | 0,982 | 2,411 |
| Antalya | 0,960 | 2,851 |
| Kayseri | 0,972 | 2,591 |
| Samsun | 0,982 | 2,322 |
| Van | 0,966 | 2,672 |
| Malatya | 0,959 | 3,332 |
| Konya | 0,985 | 2,477 |
| Artvin | 0,990 | 2,568 |
| İstanbul | 0,962 | 2,298 |
| Sivas | 0,970 | 2,487 |

Her aydan bir görüntü olmak üzere toplamda 12 adet uydu görüntüsünden elde edilen yer yüzey sıcaklığı haritalarından biri olan 06.07.2002 tarihli ve yerel saat

TST 06:51'deki görüntü Şekil 2'de verilmiştir. Becker ve Li(1990) algoritmasına göre elde edilen görüntünün belli sıcaklık değer aralıkları renklendirilmiştir.



Şekil 2.Türkiye üzerinde Becker ve Li(1990) algoritması ile elde edilen tipik bir yer yüzey sıcaklığı değerleri haritası (görüntü tarihi 6 Temmuz 2002 ve saati: 06:51 TST).

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

İlişkinlik katsayılarının ortalamasının ve tek tek kent temelindeki değerlerinin 1'e yakın çıkması, Becker ve Li(1990) algoritmasına göre hesaplanan yer yüzey sıcaklığı ile Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen yer sıcaklığı değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğunun delilidir. Tablo 3'te verilen RMSE değerleri ise 1,589 °K ile 3,332°K arasında değişmektedir. Tablo 2 incelendiğinde en düşük ölçülen sayısal değer 265°K olduğu görülmektedir. Bu mertebedeki sıcaklıklar için RMSE <3°K düzeyindeki hatalar, oran olarak, %1 civarındadır ve uydu verileri ile usulüne uygun algoritmalarla kolayca ulaşılan geniş alan sıcaklık değerlerinin birçok pratik amaç için yeterli doğruluklar taşıdığı görülmektedir.

Görüleceği gibi, kentler temelinde hesaplanan RMSE değerleri 1,589 ile 3,332 °K arasında değişmektedir. Tablo 3'e göre, en düşük RMSE değeri Adana'ya, en yüksek RMSE değeri ise Malatya'ya aittir. Yer yüzey sıcaklığının hesaplanmasında kullanılan Becker ve Li(1990) algoritması, Adana il merkezinde en başarılı

sonucu vermiştir. Ankara, Antalya, Artvin, İstanbul, İzmir, Kayseri, Konya, Samsun,Sivas, Şanlıurfa, Van il merkezlerindeki sapmalar da literatürde verilenlerle uyum halindedir. Fazla sayıda araştırmacının (Örneğin, Price,1984; Becker 1987; Becker ve Li, 1990; Vidal ve Blad, 1991; Prata, 1993 ve 1994; Sobrino ve ark., 1994 ve 1996; Coll ve ark., 1994; Becker ve Li, 1995;Coll ve Caselles, 1997) NOAA-AVHRR algılayıcı ile hesapladıkları yer yüzey sıcaklığı değerlerindeki hatalar 1-3 °K aralığında değişmektedir. Sadece Malatya 'da hata değeri bu sınırları az miktarda aşmaktadır Bu da hata sınırları içinde kabul edilebilir. Söz konusu çalışma 13 kent merkezindeki meteoroloji istasyonları baz alınarak gerçekleştirilmiştir. İleriki çalışmalarda, en az 30 veya 50 istasyona bağlı olarak çalışma yapılması daha sağlıklı sonuçların elde edilmesinde etkili olacaktır.

TEŞEKKÜR

Uydu verilerini temininde her türlü kolaylığı sağlayan ODTÜ TÜBİTAK-BİLTEN yönetici ve araştırmacılarına

ve meteorolojik verilerin elde edilmesinde yardımcı olan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü çalışanlarına, yaptıkları yardımlardan dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Altuntaş, C. ve Çorumluoğlu, Ö., Uzaktan Algılama Görüntülerinde Digital Görüntü İşleme ve Rsimage Yazılımı. *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, Konya, 434-442, 2002.

Becker, F., The Impact of Spectral Emissivity on the Measurement of Land Surface Temperature, *International Journal of Remote Sensing*, 8, 1509 – 1522, 1987.

Becker, F. and Li, Z. L., Towards a Local Split Window Method over Land Surface, *International Journal of Remote Sensing*, 11,369 – 393, 1990.

Becker, F. and Li, Z. L., Surface Temperature and Emissivity at Various Scales: Definition, Measurement and Related Problems, *Remote Sensing Reviews*, 12, 225- 253, 1995.

Caselles, V., Coll, C. and Valor, E., Land Surface Emissivity and Temperature Determination in the Whole Hapex- Sahel Area from AVHRR Data, *International Journal of Remote Sensing* 18, 1009-1027, 1997.

Chrysoulakis, N. and Cartalis, C., Improving the Estimation of Land Surface Temperature for the Region of Greece: Adjustment of a Split Window Algorithm to Account for the Distribution of Precipitable Water. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 871–880, 2002.

Coll, C. and Caselles, V., A Split-Window Algorithm for Land Surface Temperature from Advanced Very High-Resolution Radiometer Data: Validation and Algorithm Comparison, *Journal of Geophysical Research*, 102, 16697–16713, 1997.

Coll, C., Caselles, V., Sobrino, J. A. and Valor, E., On the Atmospheric Dependence of the Split-Window Equation for Land Surface Temperature, *International Journal of Remote Sensing*, 15, 105-122, 1994.

Faysash, D. A. and Smith, E. A., Simultaneous Land Surface Temperature-Emissivity Retrieved in the Infrared Split-Window, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 16,1673-1689, 1999.

Gates, D., M., *Biophysical Ecology*, Springer-Verlag, New York, 1980.

Goodrum, G., Kidwell, K. B. and Winston, W. (14 Eylül 2005). *NOAA KLM User's Guide Section 7.1.*

<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c7/sec7-1.htm> (Erişim tarihi:11 Aralık 2008).

Holben, B. N., Characteristics of Maximum-Value Composite Images from Temporal AVHRR Data, *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1417-1434, 1986.

Kant, Y. and Badarinath, K. V. S., Studies on Land Surface Temperature over Heterogeneous Areas Using AVHRR Data, *Int. J. Remote Sensing*, 21, 1749–1756, 2000.

Kendall, M. G. and Stuart, A., *The Advanced Theory of Statistics*, (Griffin Pres), London, 1963.

Kneizys, F. X., Shettle, E. P., Gallery, W. O., Chetwynd Jr, J. H. and Abreu, L. W., Atmospheric Transmittance / Radiance: Computer Code LOWTRAN 6, *Technical Report AFGL - Tr -83-0187, Optical Physics Division , U.S. Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom Air Force Base, Massachusetts,U.S.A.*, 1983.

Laurent, H., Jobard, I. and Toma, A., Validation of Satellite and Ground-Based Estimates of Precipitation over the Sahel, *Atmospheric Research*, 47-48,651-670, 1998.

Liang, S., An Optimization Algorithm for Separating Land Surface Temperature and Emissivity from Multispectral Thermal Infrared Imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39,264-274, 2001.

Ma, X. L., Wan, Z., Moeller, C. C., Menzel, W. P. and Gumley, L. E., Simultaneous Retrieval of Atmospheric Profiles, Land Surface Temperature and Surface Emissivity from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Thermal Infrared Data: Extension of a Two-Step Physical Algorithm, *Appl. Opt.*, 41, 909-924, 2002.

Mather, P. M., *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*, (3rd Edition), University of Nottingham, England , 2004.

Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J. and Marshak A. L., The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33,481-486, 1995.

Prata, A. J. and Cechet, R. P., An Assessment of the Accuracy of Land Surface Temperature Determination from the GMS-5 VISSR, *Remote Sensing of Environment*, 67, 1–14, 1999.

Prata, A. J., Land Surface Temperature Derived from the Advanced Very High Resolution Radiometer and the Along-Track Scanning Radiometer.I:Theory, *Journal of Geophysical Research*, 98,16689-16702, 1993.

Prata, A. J., Land Surface Temperature Derived from the Advanced Very High Resolution Radiometer and the Along-Track Scanning Radiometer.II.Experimental Results and Validation of AVHRR Algorithms, *Journal of Geophysical Research*, 99 (D6), 13025-13058, 1994.

Price, J. C., Land Surface Temperature Measurements from the Split Window Channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer, *Journal of Geophysical Research*, 89,7231-7237, 1984.

Rao,C. R. N., Pre-Launch Calibration of Channels 1 and 2 of the Advanced Very High Resolution Radiometer, *NOAA Technical Report NESDIS 36, Department of Commerce, Washington D.C.*, 1987.

Rao, C. R. N., Chen, J., Inter-Satellite Calibration Linkages For the Visible and Near-Infrared Channels of The Advanced Very High Resolution Radiometer on NOAA-7, -9 And -11 Spacecraft, *International Journal of Remote Sensing*, 16, 1931-1942, 1995.

Sellers, P. J., Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration, *International Journal of Remote Sensing* 6, 1335-1372, 1985.

Sobrino, J. A., Li, Z. L., Stoll, Z. P. and Becker, F., Improvements in the Split-Window Technique for Land Surface Temperature Determination, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32, 243 – 253,1994.

Sobrino, J. A., Li, Z. L., Stoll, Z. P. and Becker, F., Multi-channel and Multi-Angle Algorithms for Estimating Sea and Land Surface Temperature with ATSR Data, *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2089-2114, 1996.

Srivastava, S. K., Jayaraman,V., Rao, P. P. N., Manikiam, B. and Chandrasekhar, M. G., Interlinkages of NOAA/AVHRR Derived Integrated NDVI to

Seasonal Precipitation and Transpiration in Dryland Tropics, *International Journal of Remote Sensing*, 18,2931-2952, 1997.

Sun, D. and Pinker, R. T., Estimation Land Surface Temperature from a Geostationary Operational Environment Satellite (GOES-8), *J. Geophys. Res*, 108, 4326, doi:10.1029/2002JD002442, 2003.

Sun, D., Pinker, R. T. and Basara, J. B., Land Surface Temperature Estimation from the Next Generation of Geostationary Operational Environmental Satellite: GOES M-Q, *Journal of Applied meteorology*, 43,363-372, 2004.

Şahin, M., *Yer Yüzey Sıcaklığı, Atmosferik Nem Açıklığı ve Yağış Miktarının Uydu Verileri Kullanılarak Belirlenmesi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 2008.

Valor, E. and Caselles, V., Mapping land surface emissivity from NDVI:Application to European, African, and South American Areas, *Remote Sensing of Environment*, 57, 167-184,1996.

Van de Griend, A. A. and Owe, M., On the Relationship Between Thermal Emissivity and The Normalized Difference Vegetation Index for National Surfaces, *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1119-1131, 1993.

Vidal, R. C. and Blad, B. L., Atmospheric and Emissivity Correction of Land Surface Temperature Measured from Satellite Using Ground Measurements or Satellite Data, *International Journal of Remote Sensing*,12,2449-2460, 1991.

Wan, Z. and Dozier, J., A Generalized Split-Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature from Space, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34,892-905, 1996.



Mehmet ŞAHİN, 1975 yılında Osmaniye’de doğdu.1997 yılında Selçuk Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimini ve 2008 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde doktora eğitimini tamamladı.



Hacı Mustafa KANDIRMAZ, 1963 yılında Adana’da doğdu. 1989 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 1991 yılında yüksek lisans ve 1999 yılında doktora eğitimini Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamladı. Çalışma hayatına 1992 yılında araştırma görevlisi olarak Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde başladı.1992–2000 yılları arasında araştırma görevlisi,2000–2009 yılları arasında yardımcı doçent olarak çalıştı.2009 tarihinde itibaren doçent doktor olarak görevine devam etmektedir.