

Uydu Verileri Kullanılarak İzmir Şehir Merkezinin Yer Yüzey Sıcaklığının Tahmini

Mehmet ŞAHİN^{1*}, Bekir Yiğit YILDIZ², Ozan ŞENKAL², Vedat PEŞTEMALCI³

¹ Siirt Üniversitesi, Siirt Meslek Yüksekokulu, SİİRT

² Çukurova Üniversitesi, Karaisalı Meslek Yüksekokulu, ADANA

³ Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, ADANA

Alınış Tarihi:17.06.2010 Kabul Tarihi:09.02.2011

Özet: Yer Yüzey Sıcaklığı (YYŞ), dünya yüzeyi ve atmosfer arasında enerji değişimini kontrol ettiği için önemli bir parametredir. Buna ek olarak; iklimsel değişim, sayısal hava tahmini, evrensel su döngüsü, kuraklık indeksi, don gibi çoğu çevresel niceliklerin modellemelerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, YYŞ verilerini elde etmek için NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi)/AVHRR (Yüksek Çözünürlüklü Radyometre) verilerinin termal kanalları (kanal 4 ve 5) ve YYŞ algoritmaları (Price-1984, Becker ve Li-1990, Ulivieri vd.-1994) birlikte kullanılmıştır. İzmir şehri için yapılan istatistiksel çalışmaların sonunda Price-1984, Becker ve Li-1990, Ulivieri vd.-1994 algoritmalarının OKKH (Ortalama Kare Kök Hatası) değerleri sırasıyla 3,6150 °K; 2,2430 °K; 2,3905 °K bulunmuştur. Araştırma bulguları, İzmir şehri için Becker ve Li-1990, Ulivieri vd.-1994 algoritmalarının YYŞ tahmininde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: NOAA-AVHRR, Yer Yüzey Sıcaklığı, Split-Window Algoritmaları

Estimating Land Surface Temperature of İzmir's City Center by Using Satellite Data

Abstract: Land Surface Temperature (LST) is an important parameter because of controlling energy exchange between the earth's surface and atmosphere. Further more it is used developing quantity of many environment models, such as climatic variability, energy and water change, numerical weather prediction, global water circulation, drought index and frost. In this study, thermal channels (channel 4 and 5) of NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) data and LST algorithms (Price-1984, Becker and Li-1990, Ulivieri et al.-1994) were used together for getting LST values. At the end of statistical studies which were done for İzmir city, RMSE (Root Mean Squared Error) values of Price-1984, Becker and Li-1990, Ulivieri et al.-1994 algorithms were found 3,6150 °K; 2,2430 °K; 2,3905 °K respectively. The research verities pose that Becker and Li-1990, Ulivieri et al.-1994 algorithms can be used to estimate LST for İzmir city.

Keywords: NOAA-AVHRR, Land Surface Temperature, Split-Window Algorithms

Giriş

Yer yüzey sıcaklığı bir çok ekolojik modellemede önemli rol oynamaktadır. Bu rolleri; sayısal hava tahminlerinin belirlenmesi, evrensel okyanus dolaşımı (Kinter ve Shukla, 1990), global ısınma ve sıcaklık değişimleri (Hansen vd., 2006), iklimsel çeşitlilik (Valor ve Caselles, 1996), atmosfer ile yer yüzeyi arasındaki enerji ve su döngüsü, don koridorlarının ve kuraklık indeksinin belirlenmesi şeklinde sıralamak mümkündür.

Yer yüzey sıcaklığının ölçülmesinde en çok kullanılan yöntem, Devlet Meteoroloji İşleri'nin kurduğu bölgesel istasyonlardan faydalanmaktır. Meteorolojik istasyonlarda günün belirli saatlerinde yer yüzey sıcaklığı değerleri ölçülmektedir. Elde edilen değerler uzaysal konumda sadece bir noktanın veri değerini göstermektedir. Oysa iki meteoroloji istasyonu arasında kilometrelerce mesafe vardır. Söz konusu mesafe aralığında yüksek dağlar olabilir ve bu dağların farklı sıcaklık değerine sahip olması mümkündür. Yer ölçümlerine bağlı olarak yüksek dağların, yer yüzey sıcaklığını ölçme olanağı vardır. Fakat bu oldukça fazla iş yükü, zaman ve maliyet gerektirir. Zaman zaman yeryüzünün fiziki yapısı ve diğer koşullar bu tür çalışmaların yapılmasına izin vermeyebilir. Bu nedenle

yer yüzey sıcaklık değerini ölçmek için daha etkili yöntemlerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir.

Günümüzde yer yüzey sıcaklığını ölçmek için uzaktan algılama tekniğinden faydalanılmaktadır. Uzaktan algılama kavramı olarak, yeryüzünün ve yer kaynaklarının araştırılmasında, araştırılan nesnelere fiziksel bağlantı kurmadan veri elde etme ve inceleme tekniği olarak tanımlanabilir (Curran, 1985). Uzaktan algılamanın yapılabilmesi için enerji kaynağı, bu enerji kaynağından çıkan radyasyonun ilerleyeceği atmosfer, hedef ve hedeften yansıyan veya yayılan enerjileri algılamaya yarayan sensörlerin bulunması gerekmektedir. Uzaktan algılama çalışmaları iki yolla yapılmaktadır. Aktif algılama denen birinci yolda, hedef üzerine elektromanyetik dalga yollar. Hedefe çarpıp geri gelen elektromanyetik dalga enerjisi kullanılarak hedefe ait görüntüler elde edilir. Aktif algılamada enerji kaynağı kullanıcı tarafından oluşturulduğu için çalışmanın gece veya gündüz yapılması sorun oluşturmaz. Pasif algılamada, enerjinin kaynağı güneş veya dış kaynaktır. Güneşten gelen radyasyon enerjisi hedefe çarpar, hedeften geri dönen kısmı alıcı sensörler tarafından kaydedilir. Uyduların pasif algılamada enerji kaynağı genellikle güneş olduğu için algılayıcıların gündüz saatlerinde kaydettiği veriler önem kazanır (Şahin, 2008).

Uzaktan algılama çalışmaları genellikle uydularla yapılmaktadır. Uydular; çok geniş alanları, kısa zaman

*mehmetsahin80@hotmail.com

aralıklarla, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde tarama yapabilmektedir. Uzaktan algılama çalışmalarını gerçekleştirme ve meteorolojik veri elde etmek için GMS (Geosynchronous Meteorological Satellite: Yer Merkezli Meteorolojik Uydu), Meteosat, Insat, Goes ve NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration: (Amerikan) Ulusal Okyanus ve Atmosfer Yönetimi) serisi uyduları, Fengyung-1C ve D uyduları, Metop uydusu uzaya fırlatılmıştır. NOAA serisi uyduları; rüzgâr alanlarının belirlenmesi, bulutluluk, nem, yer yüzey ve deniz yüzey sıcaklıkları, sis ve don seviyelerinin belirlenmesi, buzul alanların tespiti, yağış miktarının ölçülmesi ve vejetasyon indeksi, yüzey basıncı, toplam ozon miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Şahin, 2008).

Yer yüzey sıcaklığının ölçülmesinde NOAA uydusunun AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer: Yüksek Çözünürlüklü Radyometre) algılayıcısı kullanılarak çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bunları; Price (1984), Becker ve Li (1990), Ulivieri vd. (1994) şeklinde sıralayabiliriz. İlerleyen yıllarda Czajkowski vd. (1998), Kerényi ve Putsay (2000) çalışmalarını sürdürmüşlerdir. Ouaidrari vd. (2002), Qin vd. (2004) ve Yang (2006) bu alandaki çalışmalara devam etmişlerdir. Literatürdeki bu algoritmalar kullanılarak yapılan çalışmalarda, yapılan hata aralığının 1-3,4 °K arasında değiştiği görülmüştür.

Bu çalışmada 1998, 1999, 2000, 2001 ve 2002 yılları için her aydan bir adet NOAA-12,14 veya 15 uydularının AVHRR algılayıcısından elde edilen görüntüler kullanılarak yer yüzey sıcaklığı, İzmir Meteoroloji İstasyonu (38°26'8,29"Kuzey-27°9'2,16"Doğu) baz alınarak hesaplanmıştır. Yer yüzey sıcaklığı hesaplamalarında Price (1984), Becker ve Li (1990), Ulivieri vd. (1994) geliştirdiği algoritmalar kullanılmıştır. Toplamda 180 adet yer yüzey sıcaklığı haritası elde edilerek çalışma tamamlanmıştır. Yer yüzey sıcaklığı haritalarının oluşturulmasındaki amaç daha ileri konularda, elde edilen haritaları kullanmaktır. Çünkü yer yüzey sıcaklığı; iklim değişikliği, buharlaşma, bitki yaprak gözeneklerindeki terleme, ısı ve radyasyon akışı, erime ve donma ısı, buhar basınç açıklığı, kuraklık analizleri gibi çeşitli konuların belirlenmesinde öncü rol oynamaktadır.

Materyal ve Metot

Yer yüzey sıcaklığı ölçüm değerleri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden, uydu görüntüleri ise ODTÜ'de yerleşik TÜBİTAK-BİLTEN Kurumu'ndan elde edilmişlerdir. Çalışmada Quorum -Level 1B, Idrisi Andes ve Envi 4.3 yazılımları kullanılmıştır. Çalışma

süresi olarak 1998, 1999, 2000, 2001 ve 2002 yılları seçilerek her aydan bir görüntü olmak üzere toplam 60 adet uydu görüntüsü $T_{Price-1984}$, $T_{Becker-Li-1990}$ ve $T_{Ulivieri-ark-1994}$ algoritmalarına uygulanmıştır. Algoritmalarından elde edilen yer yüzey sıcaklığı haritaları da dikkate alındığında 180 adet sıcaklık haritası kullanılmıştır.

AVHRR Algılayıcısının Termal Kanallarının Kalibrasyonu

Uyduyan elde edilen veriler ham verilerdir. Ham verilerin bir dizi işlem den geçirilmesi gereği vardır. Bu amaçla "Quorum" yazılımı kullanılır. Quorum yazılımının görevi, yer alıcı platformlarından elde edilen ham verileri, görüntü işleme programları için daha kullanışlı olan Level-1B formatına dönüştürmektir. Level-1B formatı, NOAA/NESDIS şirketi tarafından geliştirilmiş görüntü işleme paket programlarının tanıyabileceği bir dosya türüdür. Level-1B formatına dönüştürülen verilerin kullanılmasıyla, parlaklık sıcaklığı değerlerini elde etmek mümkündür. Ancak, önce NOAA-AVHRR verilerinin termal kalibrasyonu yapılmalıdır. Bu formattaki veriler, NOAA-AVHRR algılayıcısının 4. ve 5. kanalları, eşitlik(1) yardımı ile parlaklığın doğrusal bir fonksiyonu olarak düzeltilmiş parlaklık değerlerine, yani yayınan enerjiye dönüşmektedir.

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

Burada A, B ve C kanallara özel katsayılar, R_{Li} ise doğrusal yayının 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). Yayınan enerji değerlerinden parlaklık sıcaklığı değerlerine geçiş ise, Ters- Planck ışınma eşitliği diye adlandırılan eşitlik(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}), $C_1=1,1910659 \times 10^{-5} mW/(m^2-sr-cm^{-1})$ 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 düzeltilmesi uygulanmaz. NOAA-15 uydu verilerinden yer yüzey sıcaklığı hesabını yapabilmek için ise, eşitlik (2)' den elde edilen T(E) değerine aşağıda verilen eşitlik (3) yardımıyla ek bir düzeltme işlemi yapılmalıdır. Eşitlikteki K ve L katsayıları sırasıyla uydunun kanallarına göre değişen katsayılardır. Söz konusu katsayılar Çizelge 1'de verilmiştir.

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

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

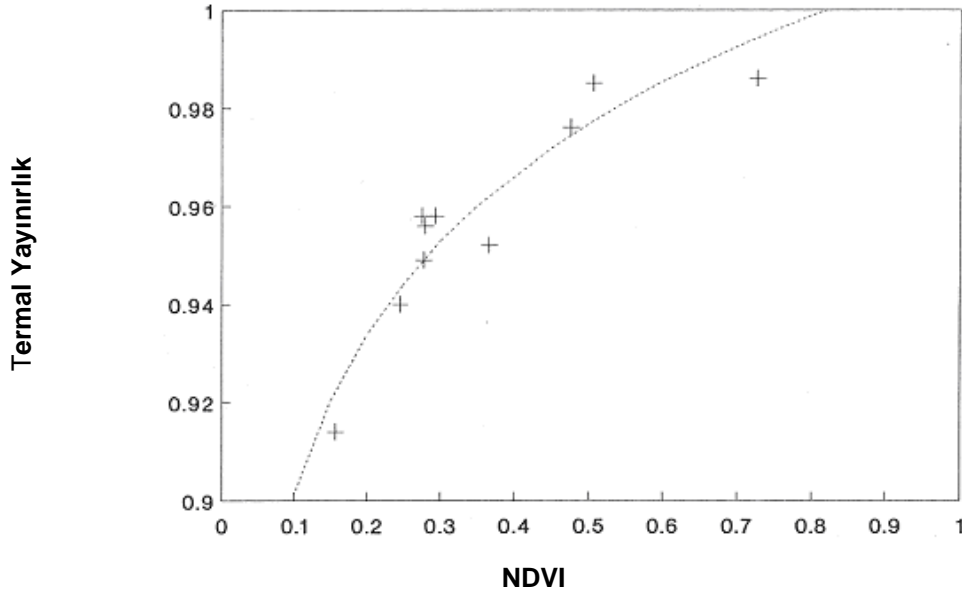
Uydu Kanalları	K	L
Kanal 4	0,337810	0,998719
Kanal 5	0,304558	0,999024

Yüzey Yayırlık Değerlerinin Belirlenmesi

Yüzey yayırlığı sembolik olarak ε ile gösterilir ve kara cisim modellemesinde olduğu gibi ısı enerjisini ışık enerjisine çevirebilme yeteneği olarak tarif edilir. Yapılan deneysel çalışmalarda NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: Normalized Edilmiş Bitki İndeksi) değerine bağlı olarak yayırlık geliştirilmiştir (Van de Griend ve Owe, 1993).

NASA (National Aeronautics and Space Administration: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) çalışanları, NDVI değerini ölçmek için NOAA-AVHRR algılayıcısındaki 0,58 μm ile 0,68 μm ve 0,73

μm ile 1,1 μm lik dalga boyu aralığında yansıyan ışınımı ölçebilecek şekilde bir alet tasarladılar. Yayırlık ölçümlerinde ise 8–14 μm aralığında ölçüm yapan başka bir aleti kullandılar. Bu aletin iç yüzeyleri yüksek yansıtma kapasitesine sahip olan alüminyum ile kaplanmıştır. Üst kısmına bir kara cisim kaynağı, alt kısmına ise termal kızılötesi bölgede çalışan bir radyometre yerleştirdiler. Aletlerde on farklı yüzey tipi incelenerek yayırlık ve NDVI ilişkisi araştırılmış ve Şekil 1’de görüldüğü gibi logaritmik fonksiyon elde edilmiştir. Yayırlık ve NDVI değerleri arasındaki sayısal değerler eşleştirilerek eşitlik(4)’ e ulaşılmıştır (Van de Griend ve Owe, 1993).



Şekil 1. Yayırlık ile NDVI değerleri arasındaki bağıntı

$$\varepsilon = a + b \log (\text{NDVI}) \quad (4)$$

Buradaki a ve b birer katsayı olup, 8 – 14 μm aralığındaki spektral bölge için değerleri sırasıyla 1,0094 ve 0,047 'dir (Van de Griend ve Owe, 1993).

Uydularla yapılan bitki örtüsü belirleme çalışmalarında, uydu kanallarının kırmızı ve yakın kızılötesi kanalları kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak NDVI değeri eşitlik (5)'teki gibi formülleştirilmiştir.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (5)$$

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 eşitlik(5) tekrar yazılırsa, eşitlik(6) elde edilmektedir (Srivastana vd., 1997).

$$\text{NDVI} = \frac{CH_2 - CH_1}{CH_2 + CH_1} \quad (6)$$

Buradaki CH_1 ve CH_2 sırasıyla AVHRR algılayıcısının 1. ve 2. kanallarının yansıma miktarı değerleridir. Bu eşitliğe 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).

Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre yüzey sıcaklığının belirlenmesinde ortalama bir yayırlık değerinin alınmasının gerektiği ve bu değer AVHRR için 0,975 olduğu, 4. ve 5. kanalların yayırlık farkının ise -0,005 olduğu tespit edilmiştir (Caselles vd., 1997; Chrysoulakis ve Cartalis, 2002). Bu durumda iki farklı eşitliği elde etmek mümkündür.

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

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

Yer Yüzey Sıcaklığının Hesaplanması

Yer yüzey sıcaklığı; yer yüzeyinin fiziksel oluşumunda, atmosfer-yer arasında meydana gelen etkileşimde ve enerji akışında anahtar parametrelerden biridir. Bu yönü ile iklim biliminden hidrolojiye, ekolojiye, fiziğe, biyolojiye kadar bir çok disiplinin ilgilendiği konulardan biri olmuştur. Örneğin, geniş ölçekli hidrolojik modellemeler oluşturulmuş, küresel temel üretim alanları belirlenmiş, sera gazı etkisi araştırılmıştır. İleri araştırmalarda, tarımsal uygulama alanındaki çalışmalar ileri sürülmüştür. Bu çalışmalar yapılırken yer yüzey sıcaklığı hesaplamaları ve yüzey sıcaklığının yüzey yayınlığı ile ilişkisini tespit etmek önemli hale gelmiştir. Son yıllarda uydu verileri kullanılarak yer yüzey sıcaklığı hesaplanabilmektedir. Bununla birlikte uzaydan doğru bir değerde yüzey sıcaklığının hesaplanması, atmosferik etki ve yüzey yayınlığı gibi temel iki sorunu beraberinde getirmiştir. Bu ve buna benzer sorunları ortadan kaldırmak için birbirinden farklı yer yüzey sıcaklığı hesaplama yöntemleri ileri sürülmüştür. Bu yöntemleri; tek kanal yöntemi, çok açı yöntemi, çok kanal yöntemi ve Split-Window yöntemi olarak sıralamak mümkündür.

Split-Window algoritmasında yer yüzey sıcaklığını hesaplamak için komşu termal kızılötesi kanalların parlaklık sıcaklıkları ve her kanalın yayınlık değerinin bilinmesi çok önemlidir. Bu düşünceden hareketle, çeşitli Split-Window (SW) teknikleri zamanla geliştirilmiştir. Bunlar; saf ampirik SW tekniği, yayınlığa bağlı SW tekniği, su buharına bağlı SW tekniği, görüş açısına bağlı SW tekniği ve bunlardan herhangi ikisinin birleştirilmesi ile oluşturulan SW tekniğidir.

Split-Window tekniği içerisinde en çok kullanılan teknik, yayınlığa bağlı olarak yer yüzeyinin sıcaklığını hesaplayan tekniktir. Süreç içerisinde bu teknik oldukça ilerlemiş ve çeşitli yüzey sıcaklığı hesaplama algoritmalarına ulaşılmıştır. Yayınlığa bağlı olarak elde edilen bu çalışmada kullanılan SW algoritmaları aşağıda yer almaktadır:

Price (1984) Algoritması

Price, bu algoritmayı ileri sürerken kara cisim ışımasını temel olarak yayınlık etkisini kullanmıştır.

$$T_{Price-1984} = \left[T_4 + A(T_4 - T_5) \right] \left(\frac{5,5 - \varepsilon_4}{4,5} \right) - 0,75T_5\Delta\varepsilon \quad (9)$$

Buradaki sıcaklıklar °K cinsinden olmak üzere $T_{Price-1984}$ algoritması ile hesaplanan yer yüzey sıcaklığı, T_4 AVHRR algılayıcısının termal kanallarından 4. kanalın parlaklık sıcaklığı, T_5 ise 5. kanalın parlaklık sıcaklığı değeri, $A=3,33$ olarak gösterilmiştir (Price, 1984).

Becker- Li (1990) Algoritması

Becker ve Li, ışın transferini baz alarak bölgesel bir SW algoritması ileri sunmuşlardır.

$$T_{Becker-Li-1990} = 1,274 + P \frac{T_4 + T_5}{2} + M \frac{T_4 - T_5}{2} \quad (10)$$

$$P = 1 + 0,15616 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} - 0,482 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \quad (11)$$

$$M = 6,26 + 3,98 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + 38,33 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \quad (12)$$

Burada P ve M katsayıları atmosferik etkilere ve bölgesel yüzey yayınlığa bağlı değerlerdir (Becker ve Li, 1990). Formüllerde kullanılan sayısal katsayılar ise LOWTRAN 6 simülasyon programı ile daha önceden bulunmuştur (Kneizys vd., 1983).

Ulivieri ve Arkadaşlarının (1994) Geliştirdiği Algoritma

Bu algoritma teorik olarak elde edilmiş SW algoritmasıdır. Katsayılar NOAA uydusunun kaydettiği yer yüzey radyans simülasyonundan elde edilmiştir. Düşey su buhar içeriği (W) < 3 g.cm⁻² olduğu kabul edilerek algoritma aşağıdaki gibi oluşturulmuştur (Ulivieri vd., 1994).

$$T_{Ulivieri-ark-1994} = T_4 + 1,8(T_4 - T_5) + 48(1 - \varepsilon) - 75\Delta\varepsilon \quad (13)$$

Uydu Verilerini Değerlendirme Çalışmaları

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, yer değeri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma yapmak için çeşitli istatistiksel kurallar geliştirilmiştir. İstatistiksel kurallar uygulanırken öncelikli olarak korelasyon katsayısına daha sonra da Ortalama Kare Kök hatasının (OKKH) değerlerine bakılmalıdır. Söz konusu değerler aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

1- $i = 1, \dots, n$, 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 (Laurent vd. 1998).

2-Lineer korelasyon katsayısı r , eşitlik (14)'deki gibi formüle edilir (Kendall ve Stuart 1963). Korelasyon katsayısı hesaplanan değerle, yer değeri arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu ilişkiye göre yeni formüller üretilebilir. Fakat hesaplamada başarının değerlendirilmesi için yeterli değildir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})(e_i - \bar{e})}{n\sigma_v\sigma_e} \quad (14)$$

3- Ortalama Kare Kök hatasının (OKKH) matematiksel ifadesine, hesaplanan değer ile yer değeri arasındaki uzaklaşmanın kesin ölçümü olarak bakılır. Aşağıdaki formülden elde edilen değer az olması, hesaplanan değer o kadar başarılı olduğunun kanıtıdır. Çalışmalarda kullanımı oldukça yaygındır (Laurent vd., 1998).

$$OKKH = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - v_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Bulgular

Yer yüzey sıcaklığı hesaplanmasında belli bir sıra takip edilerek çalışma tamamlanmıştır. İlk olarak bilgisayara kaydedilen uydu verileri, görüntü işleme programlarının tanıyabileceği formata dönüştürülmüştür. Çünkü uydudan elde edilen veriler ham verilerdir. Ham veriler Quorum yazılımı yardımıyla Level-1B formatına dönüştürülmüştür. Daha sonra Envi 4.3 görüntü işleme paket programı yardımıyla, görüntünün geometrik düzeltilmesi yapılmıştır. Geometrik düzeltme yapılırken, her görüntü üzerinde en az yirmi pikselin koordinatları elle girilmiştir. Geometrik düzeltmeleri yapılan görüntüler, sadece İzmir şehri içinde kalacak şekilde kesilmiştir.

Görüntülerin kesimi tamamlandıktan sonra NOAA/AVHRR verilerinin 4. ve 5. kanalları için parlaklık sıcaklık değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Quorum yazılımı yardımıyla veri seti, Level-1B formatına dönüştürüldüğü için 0–1023 arasındaki görüntüyü oluşturan piksel değerlerine sahiptir. Bu nedenle NOAA–12 ve NOAA–14 AVHRR verilerinin

her kanalına ait parlaklık sıcaklık değeri sırayla eşitlik(1) ve eşitlik(2) kullanılarak bulunmuştur. NOAA–15 uydusunun parlaklık sıcaklığı değerini bulmak için eşitlik(2)'den elde edilen değerler, eşitlik(3)'te kullanılarak gerekli düzeltme sağlandıktan sonra parlaklık sıcaklığı değerlerine ulaşılmıştır.

Çalışmada elde edilen parlaklık sıcaklığı değerleri, algoritmalarda kullanılarak yer yüzey sıcaklığını hesaplama yoluna gidilmiştir. Algoritmalarda kullanılan yer yüzey yayınlılık değeri(ϵ) 0,975 ve 4. ve 5. kanallar arasındaki yayınlılık farkı($\epsilon_4 - \epsilon_5$) ise -0,005 olarak alınmıştır (Caselles vd., 1997).

Eşitlik(9)'un kullanılmasıyla $T_{Price-1984}$ algoritması, eşitlik(10,11,12)'in kullanılmasıyla $T_{Becker-Li-1990}$ algoritması, eşitlik(13)'ün kullanılmasıyla $T_{Ulivieri-ark-1994}$ algoritması için yer yüzey sıcaklığı haritaları oluşturulmuştur. Seçilen piksellere bağlı olarak ortalama 0,3 OKKH değeri ile tüm görüntülerin geometrik düzeltmeleri yapılmıştır. Böylece yapılan geometrik düzeltmede hata payı bir pikselin altına düşürülmüştür. NOAA uydularının geometrik çözünürlüğü 1.1km x 1.1km olduğu düşünülürse, harita üzerinde yer belirlemede bir pikselin altındaki değerler için hata, maksimum düzeyde uydunun geometrik çözünürlüğü kadar olacaktır. Görüntülerin ortalama 0,3 OKKH değerinde geometrik düzeltmeleri yapıldığı için oldukça düşük hata değeri ile istenilen noktanın harita üzerinde tespiti sağlanmıştır. Elde edilen tüm haritalarda yoğunluk kesimi, Idrisi Andes görüntü işleme paket programı yardımıyla son aşamada yapılmıştır. Elde edilen sıcaklık değerleri, °K cinsindedir (Çizelge 2).

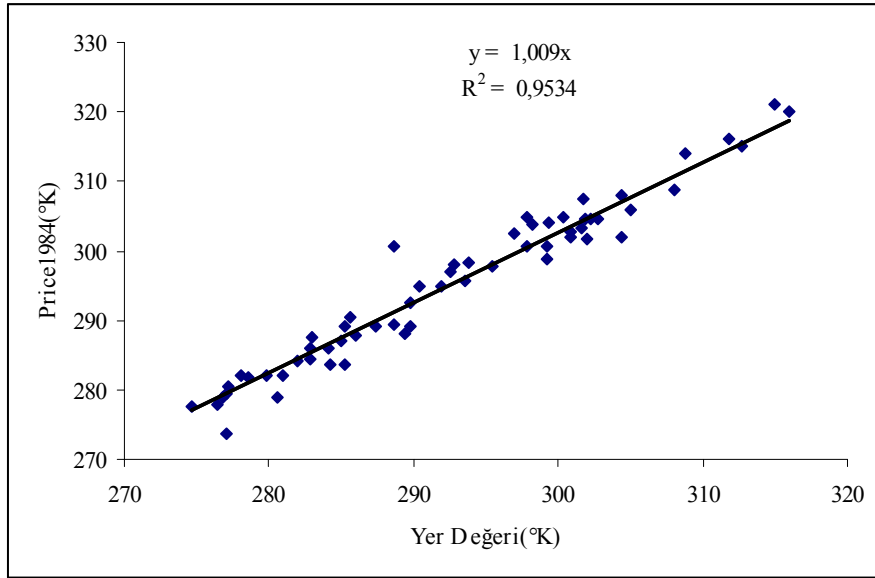
Çizelge 2. Yer yüzey sıcaklığı değerleri

Görüntünün Tarihi ve Saati	Yer Değeri(°K)	Ulivieri ve ark.-1994(°K)	Becker ve Li-1990(°K)	Price-1984(°K)
08 Ocak 1998 saat 07:25	276,80	275,16	278,34	278,85
28 Şubat 1998 saat 07:35	278,00	279,67	280,05	281,95
24 Mart 1998 saat 07:06	279,80	279,61	280,13	282,17
06 Nisan 1998 saat 14:41	301,80	302,62	304,27	307,58
28 Mayıs 1998 saat 15:12	308,80	306,43	309,33	313,91
28 Haziran 1998 saat 14:28	315,00	315,38	317,34	321,09
29 Temmuz 1998 saat 07:52	302,80	302,29	302,57	304,57
01 Ağustos 1998 saat 08:26	308,00	305,00	306,02	308,79
01 Eylül 1998 saat 14:12	312,70	310,11	311,70	315,04
01 Ekim 1998 saat 13:41	304,40	302,31	304,26	307,87
11 Kasım 1998 saat 07:42	282,00	282,68	282,64	284,16
04 Aralık 1998 saat 07:36	285,00	285,33	285,43	287,11
07 Ocak 1999 saat 08:27	277,20	279,57	279,23	280,42
28 Şubat 1999 saat 06:43	278,60	279,97	280,13	281,82
25 Mart 1999 saat 14:40	291,90	291,88	292,90	295,00
19 Nisan 1999 saat 15:02	301,90	300,84	301,89	304,63
14 Mayıs 1999 saat 08:24	288,60	297,36	298,23	300,75
20 Haziran 1999 saat 08:06	298,20	300,06	301,15	303,91
18 Temmuz 1999 saat 07:25	299,30	299,53	301,01	304,14
28 Ağustos 1999 saat 15:36	311,80	308,56	311,51	316,15
16 Eylül 1999 saat 07:16	293,80	295,62	296,12	298,28

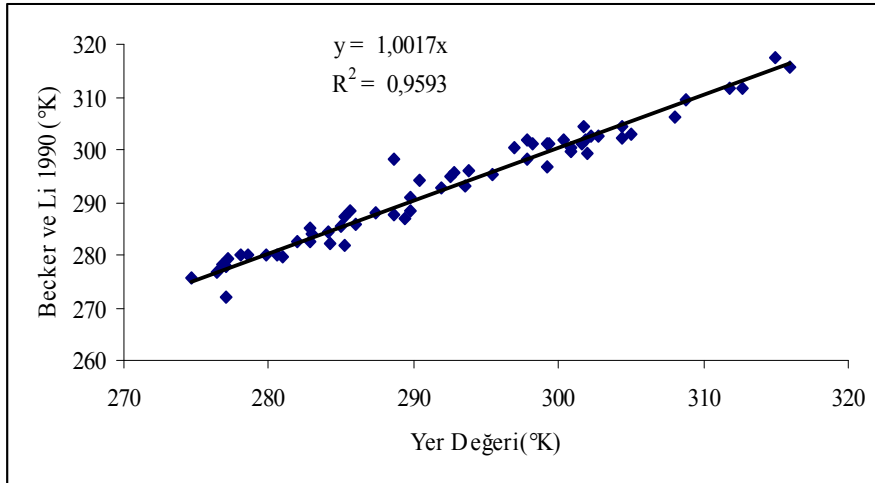
26 Ekim 1999 saat 14:30	297,80	297,25	298,14	300,68
04 Kasım 1999 saat 07:29	284,10	284,48	284,43	285,96
08 Aralık 1999 saat 08:14	284,20	282,37	282,26	283,70
03 Ocak 2000 saat 08:35	277,10	277,89	277,92	279,46
07 Şubat 2000 saat 14:51	285,60	287,83	288,35	290,47
23 Mart 2000 saat 07:12	276,40	276,91	276,67	277,95
10 Nisan 2000 saat 07:10	285,20	281,26	281,66	283,61
28 Mayıs 2000 saat 07:34	297,80	300,68	301,96	304,91
20 Haziran 2000 saat 07:18	295,50	294,58	295,31	297,69
14 Temmuz 2000 saat 08:19	302,20	301,82	302,37	304,64
22 Ağustos 2000 saat 15:24	316,00	313,15	315,69	319,97
03 Eylül 2000 saat 06:42	299,20	296,04	296,59	298,80
02 Ekim 2000 saat 15:47	305,00	301,61	302,89	305,85
17 Kasım 2000 saat 15:10	293,60	292,24	293,19	295,65
02 Aralık 2000 saat 15:33	288,60	287,50	287,67	289,44
26 Ocak 2001 saat 15:57	283,00	283,69	284,18	287,56
17 Şubat 2001 saat 15:50	286,00	285,48	285,82	287,73
10 Mart 2001 saat 06:26	282,80	282,30	282,60	284,44
22 Nisan 2001 saat 16:10	300,40	300,24	301,69	304,80
18 Mayıs 2001 saat 07:14	292,80	294,74	295,62	298,13
10 Haziran 2001 saat 08:30	297,00	299,87	300,29	302,40
08 Temmuz 2001 saat 07:52	301,60	300,83	301,20	303,27
06 ağustos 2001 saat 08:31	300,80	300,31	300,31	302,03
09 Eylül 2001 saat 07:54	292,60	294,62	294,94	296,91
02 Ekim 2001 saat 16:19	302,00	299,00	299,11	301,70
06 Kasım 2001 saat 08:26	285,20	286,57	287,11	289,22
15 Aralık 2001 saat 06:06	274,60	275,37	275,78	277,67
31 Ocak 2002 saat 07:09	280,60	278,00	280,12	279,00
17 Şubat 2002 saat 15:31	289,40	286,45	286,93	288,00
06 Mart 2002 saat 18:43	289,80	284,56	288,36	289,00
10 Nisan 2002 saat 07:13	282,80	284,21	284,94	286,00
05 Mayıs 2002 saat 07:32	290,40	294,00	294,07	295,00
30 Haziran 2002 saat 07:31	300,80	300,13	299,72	302,66
06 Temmuz 2002 saat 06:51	299,20	298,49	300,93	300,69
12 ağustos 2002 saat 07:31	304,40	301,18	302,02	302,00
20 Eylül 2002 saat 07:21	289,80	292,78	291,00	292,56
17 Ekim 2002 saat 06:52	287,40	288,18	288,00	289,21
14 Kasım 2002 saat 07:10	281,00	285,81	279,73	282,00
27 Aralık 2002 saat 07:31	277,00	274,00	272,00	273,79

Uydu verileri kullanılarak Split-Window algoritmalarına bağlı olarak elde edilen yer yüzey sıcaklığı değerleri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen yer ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Split-Window algoritmalarından elde edilen yer yüzey sıcaklığı değerleri ile Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen

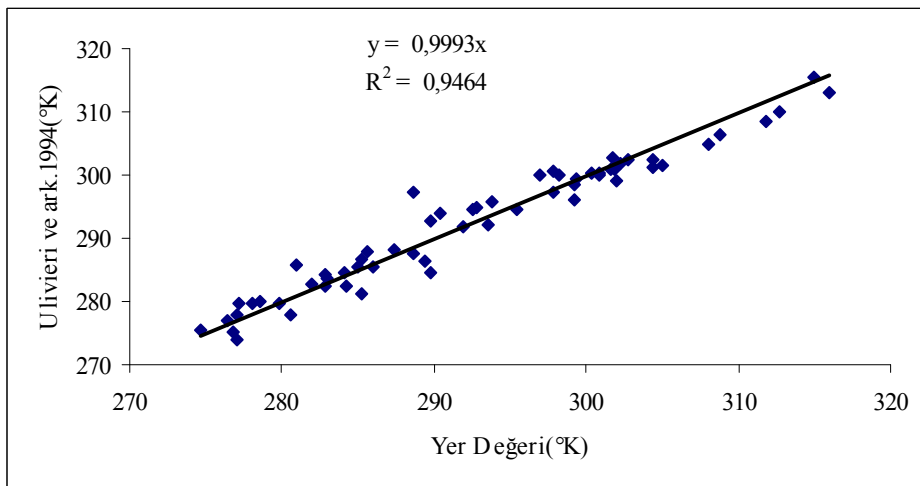
yer yüzey sıcaklığı değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiyi tespit etmek için eşitlik (14) kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde yer gerçekleriyle çalışmada kullanılan algoritmaların kıyaslamaları yapılmıştır ve Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 elde edilmiştir. Şekillerde de görüldüğü gibi regresyon eşitliğinde kesişim değeri, ölçülen iki özellik (yer yüzey sıcaklığı) aynı olduğu için sıfır alınmıştır.



Şekil 2. Yer değeri ile Price(1984) algoritması arasındaki ilişki



Şekil 3. Yer değeri ile Becker ve Li(1990) algoritması arasındaki ilişki



Şekil 4. Yer değeri ile Ulivieri vd.(1994) geliştirdiği algoritma arasındaki ilişki

Ayrıca şekillerdeki R^2 ifadesi korelasyon katsayılarının kare değeridir. R^2 ifadesinin karekökünün alınmasıyla r korelasyon katsayısı oluşturulmuştur ve Çizelge 3’de gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde Price(1984) algoritmasının korelasyon katsayısı 0,9764; Becker ve Li (1990) algoritmasının korelasyon katsayısı 0,9794; Ulivieri vd. (1994) geliştirdiği algoritmanın korelasyon katsayısı 0,9728 olarak hesaplanmıştır. Her üç algoritma ile yer değerleri arasındaki korelasyon

ilişkisi oldukça yüksek çıkmıştır. Fakat korelasyon ilişkisi bir ölçümün doğruluğunun sınırlanmasında yeterli ve güvenli bir metot değildir. Çünkü ölçümler arasındaki hata oranı sabit kalmak şartıyla, yapılan birden fazla ölçüme bağlı olarak korelasyon katsayısı hesapladığı takdirde, katsayı oldukça yüksek çıkmaktadır. Korelasyon katsayısı yüksek değerlerde olmasına rağmen hata değeri de büyük olabilmektedir. Bu nedenle ilave bir değerlendirme ölçütü kullanılmalıdır.

Çizelge 3. Split-Window algoritmalarının korelasyon katsayıları

Algoritmalar	R^2	r
Price(1984)	0,9534	0,9764
Becker ve Li(1990)	0,9593	0,9794
Ulivieri ve ark(1994)	0,9464	0,9728

Yapılan ölçümlerde, hata aralıklarını belirlemede en çok kullanılan metot; OKKH değerinin tespit edilmesidir. OKKH değeri, eşitlik(15)’in kullanılmasıyla elde edilir. Eşitlik her algoritma için yer değerine bağlı olarak hesaplanmalıdır. Çalışmada kullanılan algoritmalar için OKKH değerleri, eşitlik(15) kullanılarak elde edilmiştir ve Çizelge 4’te gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde Price (1984) algoritmasının OKKH değeri 3,6150°K; Becker ve Li (1990) algoritmasının OKKH değeri 2,2430°K;

Ulivieri vd. (1994) geliştirdiği algoritmanın OKKH değeri 2,3905°K olarak hesaplanmıştır. En düşük OKKH değerinin Becker ve Li (1990)’nin geliştirdiği Split-Window algoritmasına ait olduğu görülmektedir. Yapılan hata hesaplamalarında en düşük OKKH değerine sahip olan algoritma en başarılı algoritma olarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, İzmir’in yer yüzey sıcaklığının hesaplanmasında en iyi Split-Window algoritmasının Becker ve Li (1990)’nin geliştirdiği algoritma olduğu, istatistiksel açıdan belirlenmiştir.

Çizelge 4. Split-Window algoritmalarının OKKH değerleri

Algoritmalar	OKKH Değeri(°K)
Price(1984)	3,6150
Becker ve Li(1990)	2,2430
Ulivieri ve ark.(1994)	2,3905

Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada, İzmir’in yer yüzey sıcaklığı NOAA-AVHRR uydu verilerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Yer yüzey sıcaklığının hesaplanmasında yayınlığa bağlı Split-Window algoritmaları kullanılmıştır. Algoritmalarından elde edilen değerlerin, yer değerlerine bağlı olarak korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Yer değerine bağlı olarak $T_{Price-1984}$ algoritması için korelasyon katsayısı 0,9764; $T_{Becker-Li-1990}$ algoritması için 0,9794; $T_{Ulivieri-ark-1994}$ algoritması için 0,9728 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerlerin yüksek çıkması, yer ve algoritmaların arasında oldukça yüksek korelasyon ilişkisinin olduğunu göstermektedir. Fakat en iyi algoritmanın belirlenmesinde yeterli değildir.

Yer yüzey sıcaklığının hesaplamalarında yer değerine bağlı olarak yapılan hata miktarını tespit etmek amacıyla OKKH değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre yer değerine bağlı olarak $T_{Price-1984}$ algoritması için OKKH değerleri 3,6150°K;

$T_{Becker-Li-1990}$ algoritması için 2,2430°K; $T_{Ulivieri-ark-1994}$ algoritması için 2,3905°K olarak bulunmuştur. OKKH değeri hata miktarının büyüklüğünü ifade ettiği için OKKH değerinin az olması o algoritmanın başarı şansını artırmaktadır. Bu düşünceden hareketle, İzmir için yer yüzey sıcaklığını hesaplamada en başarılı algoritma, $T_{Becker-Li-1990}$ algoritması olmuştur.

Literatürdeki yapılan çalışmalarda, yer yüzey sıcaklığı hesaplanmasında yapılan hata aralığının 1–3,4 °K arasında değiştiği görülmüştür. Bu çalışmada hata aralığı 2,2430–3,650°K arasında değişmektedir. $T_{Becker-Li-1990}$ ve $T_{Ulivieri-ark-1994}$ algoritmalarındaki başarı, literatürdeki çalışmalara uygun olarak elde edilmiştir. $T_{Price-1984}$ algoritmasındaki hata aralığı, literatürdeki çalışmalardan farklı çıkmıştır. Fakat bu fark büyük miktarda değildir.

Bundan sonra yapılabilecek yer yüzey sıcaklığının gerekli olduğu çalışmalarda (sayısal hava tahminlerinin belirlenmesi, evrensel okyanus dolaşımı, küresel ısınma ve sıcaklık değişimleri, iklimsel çeşitlilik, atmosfer ile yer yüzeyi arasındaki enerji ve su döngüsü, don koridorlarının

ve kuraklık indeksinin belirlenmesi) NOAA/AVHRR verilerini kullanmak mümkündür. Söz konusu verileri kullanırken İzmir için en uygun yayınlırlığa bağlı Split-Window algoritmalarını seçmek gereklidir. Yapılan çalışma, yer yüzey sıcaklığının hesaplamasında $T_{Becker-Li-1990}$ ve $T_{Ulivieri-ark-1994}$ algoritmalarının oldukça doğru sonuç verdiğini göstermiştir. Fakat en başarılı algoritma, $T_{Becker-Li-1990}$ algoritması olduğu için yer yüzey sıcaklığının gerekli olduğu ileri düzeydeki çalışmalarda, $T_{Becker-Li-1990}$ algoritmasının kullanılması önerilmektedir.

Teşekkür

Uydu verilerini temininde her türlü kolaylığı sağlayan ODTÜ Tübitak-Bilten Kurumu çalışanlarına ve meteorolojik verilerin elde edilmesinde yardımcı olan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü çalışanlarına, yaptıkları yardımlardan dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Becker, F., Li, Z.L. 1990. Towards A Local Split Window Method over Land Surface. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 369 – 393.
- Caselles, V., Coll, C., Valor, E. 1997 .Land Surface Emissivity and Temperature Determination in the Whole Hapex- Sahel Area from AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 1009- 1027.
- Chrysoulakis, N., Cartalis, C. 2002. 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.
- Curran, P.J. 1985. *Principle of Remote Sensing*. Longman Group Limited, London,282pp.
- Czajkowski, K.P., Goward, S.N., Ouaidrari, H. 1998. Impact of AVHRR Filter Functions on Surface Temperature Estimation from the Split Window Approach. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 2007- 2012.
- Goodrum, G., Kidwell, K.B., Winston, W. 2005. NOAA KLM User's Guide Section 7.1. <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c7/sec7-1.htm>(Erişim Tarihi: 11.12.2008).
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D.W., Elizade, M.M. 2006. Global Temperature Change. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*,103, 14288-14293.

- Kendall, M.A., Stuart, A., 1963. *The Advanced Theory of Statistics*. Griffin (Ed.),London, 1730pp.
- Kerenyi, J., Putsay, M. 2000. Investigation of Land Surface Temperature Algorithms Using NOAA AVHRR Images. *Advances in Space Research*, 26,1077–1080.
- Kinter, J.L., Shukla, J. 1990. The Global Hydrologic and Energy Cycle: Suggestions for Studies in the Pre-Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX) Period. *Bulletin American Meteorological Society*, 71,181-189.
- Kneizys, F.X., Shettle, E.P., Gallery, W.O., Chetwynd Jr, J.H., Abreu, L.W. 1983. *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.
- Laurent, H., Jobard, I., Toma, A. 1998. Validation of Satellite and Ground-Based Estimates of Precipitation over the Sahel. *Atmospheric Research*, 47-48, 651-670.
- Myneni, R.B., Hall, F.G., Sellers, P.J., Marshak, A.L. 1995. The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33,481-486.
- Ouaidrari, H., Goward, S.N., Czajkowski, K.P., Sobrino, J.A., Vermote, E. 2002. Land Surface Temperature Estimation from AVHRR Thermal Infrared Measurements-An Assessment for the AVHRR Land Pathfinder II Data Set. *Remote Sensing of Environment*, 81,114-128.
- Price, J.C. 1984. 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.
- Qin, Z., Xu, B., Zhang, W., Li, W., Chen, Z., Zhang , H. 2004. Comparison of Split Window Algorithms for Land Surface Temperature Retrieval From NOAA-AVHRR Data. *IEEE International Geosciences and Remote Sensing Symposium*,VI: September 20–24, Anchorage, Alaska, USA, 3740–3743.
- Rao, C.R.N. 1987. Pre-Launch Calibration of Channels 1 and 2 of the Advanced Very High Resolution Radiometer, NOAA Technical Report NESDIS 36, Department of Commerce, Washington.
- Rao, C.R.N., Chen, J. 1995. 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.

- Sellers, P.J. 1985. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1335-1372.
- Srivastava, S.K., Jayaraman, V., Rao, P.P.N., Manikiam, B., Chandrasekhar, M.G. 1997. Interlinkages of NOAA/AVHRR Derived Integrated NDVI to Seasonal Precipitation and Transpiration in Dryland Tropics. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2931-2952.
- Şahin, M. 2008. Yer Yüzey Sıcaklığı, Atmosferik Nem Açıklığı ve Yağış Miktarının Uydu Verileri Kullanılarak Belirlenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 153s.
- Ulivieri, C., Castronuovo, M.M., Francioni, R., Cardillo, A. 1994. A Split-Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature Satellites. *Advances in Space Research*, 14,59-65.
- Valor, E., Caselles, V. 1996. Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. *Remote Sensing of Environment*, 57, 167-184.
- Van de Griend, A.A., Owe, M. 1993. On the Relationship Between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for National Surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1119-1131.
- Yang, H., Yang, Z. 2006. A Modified Land Surface Temperature Split Window Retrieval Algorithm and its Applications over China. *Global and Planetary Change*, 52, 207-215.