

## **UYDU VERİLERİ İLE ARAZİ YÜZEY SICAKLIKLARININ HARİTALANMASI**

M. Dihkan <sup>a,\*</sup>, F. Karlı <sup>a</sup>, A. Güneroğlu <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon. (mdihkan, fkarli)@ktu.edu.tr

<sup>b</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, 61600, Sürmene -Trabzon. aguner@ktu.edu.tr

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Arazi Yüze Sıcaklığı, Landsat TM/ETM+, Termal Uzaktan Algılama

### **ÖZET:**

Kentsel büyüme ve gelişme dünya yüzeyinde önemli değişimlere yol açmaktadır. Kentsel gelişim sonucunda değişen arazi kullanım sınıfları yüzeydeki buharlaşma ve geçirgenlik miktarlarını da etkilemektedir. Bu durum yüzeyin termal karakteristiğini etkilemekte ve arazi yüzey sıcaklıklarının önemli değişimlere sebep olmaktadır. Kentsel bölgelerde kendisini çevreleyen kırsal bölgelere nazaran yüzey sıcaklık değerlerinde meydana gelen bu değişim yüzey kentsel ısı adası olgusunu ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde termal uzaktan algılama teknolojileri yardımı ile kentsel ısı adası etkisinin ortaya koyulması için gerekli arazi yüzey sıcaklıkları elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ekim dönemlerini kapsayan farklı yıllarda kaydedilmiş Landsat TM/ETM+ verileri kullanılarak AYS haritaları üretilmiştir. Ayrıca kentsel ve kırsal bölge üzerinden geçen üç adet kesit oluşturularak yüzey sıcaklıklarının zamansal ve konumsal değişimleri ortaya koyulmuştur.

**KEYWORDS:** Land Surface Temperature, Landsat TM/ETM+, Thermal Remote Sensing

### **ABSTRACT:**

Increasing urbanization rate has caused dramatic changes on earth's landuse/cover structure. Land surface evaporation and transmission rates were also affected by urbanization related LULC formation. These effects can be observed on thermal characteristics as changing land surface temperatures of remotely sensed objects. The temperature fraction between urban and rural regions was defined as surface urban heat island (UHIs) effect. Recently, improved thermal sensing technologies were extremely facilitated extraction of LSTs on a regional or global scale so as the modelling of UHIs for cities or countries. In this study as a preliminary work, LSTs for the periods of May, June, July and October was computed and related thematic maps indicating changes in LSTs between 1980s to 2007 were produced for İstanbul, Turkey. To extract spatial and temporal LYS changes on different LULCs structure three diagonal transect ranging from east to west and covering all the metropol area were sampled and related data were evaluated qualitatively.

## 1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve yoğun kentleşme faaliyetleri sonucu metropol kentlerde arazi örtüsü ve kullanımında meydana gelen değişimler yüzey enerji dengesini ve ışıma süreçlerini önemli oranda etkilemektedir (Muller vd., 2007; Yonghong ve Gensuo, 2010). Bu durum bölgesel iklim değişiminin en önemli göstergesi olan ve belli bir zaman periyodunda çevre kırsal bölgeden daha farklı bir sıcaklık anomalisi ile karakterize edilebilecek Kentsel Isı Adası (KIA) olgusunu ortaya çıkarmaktadır (Oke, 1982). KIA'lar kent merkezlerinin kendisini çevreleyen kırsal bölgelerden (özellikle geceleri daha yoğun olmak üzere) birkaç derece daha yüksek sıcaklık değerlerine sahip olması sonucu meydana gelmektedir. Bu durumun temel nedeni kentsel yüzeylerin ısı enerjisini tutma, yansıtım ve yayım karakteristiklerinin kırsal bölgelerdekinden farklı olmasıdır (Voogt ve Oke, 1997). KIA, etkisi uzaktan algılanmış Arazi Yüzey Sıcaklıkları (AYS) ile ortaya koyulması durumunda yüzey KIA olarak tanımlanmaktadır. Yüzey KIA etkisini ortaya koymak amacıyla yapılan analizlerde AYS oldukça önemli bir parametredir (Voogt ve Oke, 1998; Cristobal vd., 2009). AYS yersel meteorolojik *in-situ* gözlemleriyle ve Termal Uzaktan Algılama (TUA) teknikleri yardımıyla gözlemlenebilmektedir. Bununla birlikte, kentsel bölgelerde AYS değerleri kompleks ve oldukça heterojen bir dağılım göstermektedir. Bu durum geniş alanlarda eş zamanlı ve yoğun veri elde etme kabiliyeti sebebi ile TUA teknolojilerini AYS gözlemleri için güçlü bir alternatif durumuna getirmiştir. Bu amaçla geliştirilmiş çok sayıda uydu ve hava platformu (HCMM, Landsat TM/ETM+, AVHRR, MODIS, ASTER, TIMS, vb.) sayesinde termal görüntü verileri farklı spektral ve konumsal çözünürlüklerde elde edilebilmektedir. Ayrıca bu platformların birçoğu termal görüntü verisi ile eşzamanlı olarak elektromanyetik spektrumun görünür, yakın ve orta kızılötesi bölgelerinde de veri elde edebilmektedir. Bu sayede özellikle KIA etkisinin belirlenmesi sürecinde etkili bir diğer parametre olan arazi örtüsü ve kullanımı da eşzamanlı olarak elde edilebilmektedir. Arazi örtüsünü oluşturan her bir bileşen bünyesinde barındırdığı radyatif, termal, nemlilik ve aerodinamik özellikleri sayesinde eşsiz bir karakteristiğe sahiptir (Oke, 1982). Bu arazi örtüsü karakteristik özellikleri ile kentsel AYS arasında oldukça yakın bir ilişki mevcuttur (Weng vd. 2004). Yüzey KIA analizine yönelik olarak yapılacak çalışmalarda bu ilişki büyük önem taşımaktadır. Kentsel bölgelerde arazi örtüsü bileşenlerinin daha parçalı bir konumsal dağılım göstermesi sebebi ile bu ilişkinin ortaya koyulabilmesi için yeterli konumsal çözünürlüğe sahip AYS ve arazi örtüsü verisi kullanılmalıdır. Özellikle son yüzyıl içinde kent nüfuslarında meydana gelen artış sebebi ile doğrudan insan kaynaklı olarak değişen AYS zamansal değişimi büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple uzun yıllar içinde meydana gelen AYS değişimlerini ortaya koyabilecek zamansal çözünürlüğe sahip görüntü verilerinin kullanılması da oldukça önemlidir.

Üzerinde bir veya daha fazla sayıda termal sensör taşıyan platformların birçoğu meteorolojik parametrelerin gözlemlenmesi için tasarlanmıştır. Bu sebeple bu platformlar oldukça yüksek zamansal çözünürlükte (örn. günde 2 periyot) termal görüntüleme yapabilmesine rağmen konumsal olarak düşük çözünürlük (çoğu zaman 1km ve üzeri GSD) değerlerinde veri elde edebilmektedir. Özellikle yüksek düzeylerde arazi örtüsü fragmentasyonuna sahip bölgelerde değişken yüzey karakteristiklerine yönelik olarak yapılan KIA etkisi belirlenmesi gibi analizlerde yüksek konumsal çözünürlük değerlerinde veri temini ihtiyaç duyulmaktadır. Terra-ASTER ve Landsat (TM4/5, ETM+ ve LDCM) platformları tarafından elde edilen veriler yeterli konumsal çözünürlük değerlerine sahip olmasına rağmen ASTER özellikle çeşitli görüntü edinim kısıtlamaları sebebi ile yeterli global kapsam kapasitesine sahip değildir. Landsat projeleri yaklaşık 30 yılı aşan zamansal bir periyotta yeterli konumsal çözünürlükte ve global kapsam düzeyinde veri temini gerçekleştirmektedir. Termal bant içeren Landsat platformları KIA etkisini ve AYS ile arazi örtüsü/kullanımı ilişkilerini analiz edebilecek veri setlerini sunmaktadır (Rajasekar ve Weng, 2009).

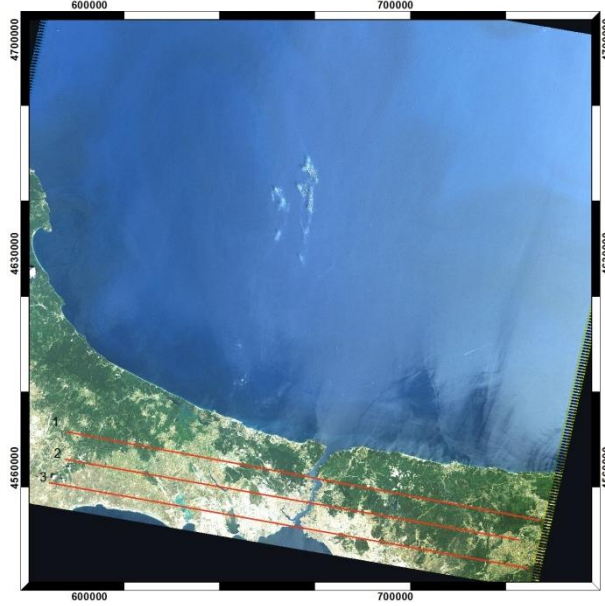
Bununla birlikte Landsat TM4/5 ve ETM+ platformlarının en önemli eksiği elektromanyetik spektrumun termal bölgesinde sadece tek banda sahip olmasıdır. Bu durum termal atmosferik düzeltme sürecini birden fazla termal bant içeren Terra-ASTER, NOAA-AVHRR gibi platformlara nazaran oldukça güçleştirmektedir. Landsat termal görüntü verileri üzerinde termal atmosferik düzeltme yapılmasına yönelik literatürde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir (Qin vd., 2001; Barsi vd., 2003; Jimenez-Munoz ve Sobrino, 2003; Li vd., 2004; Cristobal vd., 2009). Geliştirilen yaklaşımlar çoğunlukla atmosferik düzeltme metodolojilerinde atmosferik parametrelere ihtiyaç duymaktadır. Genel olarak termal kızılötesi sensörler tarafından kaydedilen TOA (top of the atmosphere) radyans değerlerinden Planck Kanununa (Dash et al., 2002) göre TOA parlaklık sıcaklıkları hesaplanmaktadır. TOA radyans değerleri; (i) yüzeyden yansıyan radyans bileşeni, (ii) yukarı yönlü atmosferik radyans bileşeni ve (iii) aşağı yönlü atmosferik radyans bileşeni olmak üzere üç farklı enerji bileşeninin kullanılması ile elde edilmektedir. Bu sebeple atmosferik etkileri bünyesinde barındıran TOA ve yüzey parlaklık sıcaklık değerleri arasında atmosferik parametrelere bağlı olarak 1 – 5 Kelvin değerlerinde farklar meydana gelebileceği ortaya koyulmuştur (Prata vd, 1995). Dolayısıyla, AYS'nın termal görüntülerden elde edilmesi sürecinde atmosferik etkilerin giderilmesi daha sağlıklı ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır (Franca ve Cracknell, 1994). Ayrıca bu işlemin ardından son aşamada yüzey yayınlık değerinden kaynaklanan etki de modellenmelidir. Yüzey yayınlık değerleri arazi yüzeyinin pürüzlülük derecesine, yüzeydeki bitki örtüsü yoğunluğuna, toprağın termal özelliklerine ve nem içeriğine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Prata, 1993). Bütün termal atmosferik düzeltme metodları yüzey yayınlık değerlerinin biliniyor olduğunu kabul ederek çözüm yaparlar. Bu sebeple yüzey yayınlık değerlerinin termal atmosferik düzeltme sürecinin öncesinde hesaplanması gerekmektedir. Literatürde yayınlık değerinin kestirimi amacıyla; referans kanal metodu (Kahle vd. 1980), normalize edilmiş yayınlık metodu (Gillespie, 1985), alfa farklar metodu (Kealy ve Gabell, 1990), termal spektral indisler metodu (Becker ve Li 1990), spektral oran metodu (Watson 1992), maksimum-minimum yayınlık farkını kullanarak sıcaklık-yayınlık ayırım algoritması (TES) (Gillespie vd., 1998) ve bitki örtüsü indislerine dayalı yayınlık kestirim metodları (Valor ve Caselles 1996) gibi birçok yaklaşım geliştirilmiş ve performansları incelenmiştir (Li vd., 1999).

İstanbul ili zamansal AYS değerlerinin değişiminin incelendiği bu çalışmada Landsat TM 4/5 ve ETM+ verileri radyometrik ve atmosferik düzeltme süreçlerinden geçirilerek işlenmiştir. Atmosferik düzeltme aşamasında Qin vd. (2001) de önerilen tekil pencere algoritmasından faydalanılmıştır. Söz konusu yaklaşım Landsat TM ve ETM+ gibi tek termal banda sahip platformlarda başarıyla uygulanabilmektedir. Algoritma radyatif termal eşitlik tabanlı atmosferik düzeltme metodunu *in-situ* verisi bağımlılığından kurtarmak amacıyla tasarlanmıştır. Radyatif termal eşitlik için gerekli atmosferik parametreler yakın yüzey hava sıcaklığı ve

atmosferik su buharı içeriğine bağlı olarak elde edilmektedir. Bunların dışında gerekli olan yayınlık parametresi ise **Sobrin vd., (2004)** tarafından Landsat TM/ETM+ için geliştirilmiş olan kestirim algoritması kullanılarak elde edilmiştir.

## 2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİ

Son yüzyıl içinde hızla artan nüfusu ile İstanbul Türkiye'nin ve dünyanın en kalabalık metropollerinden birisi haline gelmiştir. Nispeten kısa zamanda meydana gelen bu nüfus artışı kentin arazi örtüsü/kullanımının da önemli oranda değişmesine sebep olmuş, kent merkezinde geçirimsiz yüzey miktarını önemli düzeyde arttırmış ve kentin yarı kırsal banliyölerine doğru yoğun yapılaşma faaliyetlerini tetiklemiştir. Bu özellikleri dolayı İstanbul çalışma alanı olarak seçilmiştir (**Şekil 1**).



Şekil 1. Çalışma alanı ve kesitler

**Tablo 1.** İstanbul ili uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama sıcaklık değerleri (1960 - 2012) ([URL-1](#))

°C	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık	6.5	6.5	8.3	12.7	17.5	22.1	24.4	24.2	20.9	16.4	12.2	8.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık	9.2	9.8	12.0	17.1	22.2	27.0	29.4	29.2	25.6	20.4	15.5	11.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık	4.0	4.0	5.4	9.2	13.6	18.0	20.4	20.5	17.4	13.6	9.5	6.3
En Yüksek Sıcaklık	22.4	22.1	26.8	33.3	36.4	40.6	40.6	40.1	36.6	33.5	27.0	25.0
Gerçekleşme Tarihi	01.01.2010	27.02.2004	26.03.2001	13.04.1994	19.05.1994	27.06.2007	13.07.2000	12.08.2002	01.09.2007	07.10.1992	03.11.2003	03.12.2010
En Düşük Sıcaklık	-6.8	-6.4	-5.6	0.2	4.8	9.8	13.6	14.3	7.7	3.3	-2.0	-4.2

İstanbul kenti için 1960 - 2012 periyodunda hava sıcaklığı değerleri incelendiğinde özellikle 1990'lardan sonra maksimum değerlerin kaydedildiği görülebilmektedir (**Tablo 1**). Çalışmada AYS ve arazi örtüsü/kullanımı arasındaki güçlü ilişki sayesinde hava sıcaklıklarında meydana gelen bu durumun insan kaynaklı kentsel dokuda meydana gelen değişimden kaynaklanıp kaynaklanmadığı araştırılmalıdır. Buna ek olarak AYS haritaları İstanbul kent merkezi ve yakın kırsal çevresi için incelenerek AYS değişimi analiz edilecektir.

Çalışmada bu amaçla 1984 – 2007 tarihleri arasında farklı periyotlarda kaydedilmiş Landsat verileri kullanılacaktır (**Tablo 2**). Tüm bölge tek bir Landsat çerçevesi tarafından kapsanabilmekte olup farklı zamanlarda kaydedilmiş 11 adet Landsat TM/ETM+ görüntü verisi GLCF arşivlerinden temin edilmiştir ([URL-2](#)). Görüntüler seçilirken benzer mevsimsel dönemleri kapsamalarına dikkat edilmiştir. Görüntüler geometrik olarak düzeltilmiş ve UTM sisteminde referanslandırılmıştır.

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan görüntü verisi

Görüntü Alım Tarihleri			
12 Haziran 1984	20 Temmuz 1986	8 Ekim 1986	
13 Mayıs 2002	11 Haziran 1995	21 Temmuz 2001	4 Ekim 1999
11 Mayıs 2007	12 Haziran 2007	19 Temmuz 2003	7 Ekim 2003

### 3. METOD

#### 3.1. Radyometrik Kalibrasyon

Çalışmada ilk aşamada GLCF veri tabanlarında LPGS 12.1.3 yazılımı ile işlenmiş ve Level 1G düzeyinde kaydedilmiş görüntü verisi kalibre edilmiş DN değerleri güncel kalibrasyon parametreleri yardımı ile TOA radyans değerlerine dönüştürülmüştür. Bu işlemin ardından kalibre edilmiş TOA radyans değerleri TOA reflektans değerlerine dönüştürülmüştür. Bu sayede; farklı zamanlarda kayıt edilmiş görüntü verisi üzerinde farklı solar zenit açılarından kaynaklanan etki, spektral bant değişiminden kaynaklanan farklı solar irradyans değerlerindeki değişimler ve farklı görüntü kayıt tarihlerinde değişim gösteren dünya-güneş arası mesafelerden kaynaklı etkiler ortadan kaldırılmıştır. Özellikle multi-temporal ve farklı sensör verilerinin kullanılacağı uzaktan algılanmış görüntü analiz çalışmalarında bu etkiler mutlaka giderilmelidir.

#### 3.2. Atmosferik Düzeltme

Landsat TM/ETM+ platformu elektromanyetik spektrumun görünür, yakın, orta ve termal kızılötesi bölgelerinde görüntü kaydedebilmektedir. Çalışmada görünür, yakın ve orta kızılötesi bölgeler (0.45 – 2.35µm) ile termal kızılötesi bölge (10.5 – 12.5µm) için dalga boyuna bağımlı atmosferik etkileşim farklılıklarından dolayı iki aşamalı bir atmosferik düzeltme stratejisi izlenmiştir.

##### 3.2.1. Görünür, Yakın ve Orta Kızılötesi Bölgede Atmosferik Düzeltme

Bölüm 3.1. de elde edilen TOA radyans ve reflektans değerleri üzerinde atmosferin moleküler yapısından kaynaklanan saçılım ve emilim etkilerine bağlı hatalar mevcuttur. Bu etkiler giderilmeden dünya yüzeyini kesin olarak temsil edebilen yüzey reflektans değerlerine ulaşmak mümkün değildir. Özellikle farklı zamanlarda farklı atmosferik koşullar içinde kaydedilmiş görüntülerin bir arada değerlendirilmesi gerektiğinde veya yersel teknikler ile elde edilmiş veriler ile uzaktan algılama teknikleri ile üretilen sonuç ürünlerin bir arada yorumlandığı analizlerde mutlaka atmosferik etkilerden arındırılmış yüzey reflektans değerleri kullanılmalıdır. TOA reflektans değerleri üzerindeki atmosferik etkiler (1) de ifade edilmiştir.

$$\rho_{TOA} = T_g(O_3, O_2, CO_2, NO_2, CH_4) * [\rho_{R+A} + T_{R+A} T_g(H_2O) \frac{\rho_s}{1 - S_{R+A} \rho_s}] \quad (1)$$

Eşitlikte;  $\rho_s$  yüzey reflektans,  $T_g$  parantez içinde ifade edilen gazlara ilişkin geçirgenlik değerini,  $T_{R+A}$  raylight ve aerosol kaynaklı geçirgenlik değerini,  $\rho_{R+A}$  raylight ve aerosol kaynaklı atmosferik içsel reflektans değerini,  $S_{R+A}$  raylight ve aerosol kaynaklı küresel albedo değerini ifade etmektedir.

Denklem içindeki geçirgenlik, atmosferik içsel reflektans ve küresel albedo değerleri 6S radyatif transfer kodu yardımı ile hesaplanmıştır (Kotchenova vd., 2006). Eşikliğin çözümü için gerekli ozon konsantrasyonları Nimbus-7, Meteor-3 ve Earth Probe platformları üzerinde bulunan TOMS (Total Ozon Mapping Spectroradiometer) verilerinden, TOMS verisi olmayan zamansal aralıklarda NOAA tarafından elde edilmiş TOVS ozon verilerinden, raylight saçılım değerleri için sayısal topografya verisi ve NCEP yüzey basınç verilerinden faydalanılmıştır (URL-3). Çözüm esasından aerosol optik geçirgenlik (AOT) değerleri doğrudan Kaufman vd. (1997) tarafından geliştirilmiş olan DOS metodu kullanılarak hesaplanmıştır. AOT, ozon, atmosferik basınç ve su buharı parametreleri Masek vd. (2012) tarafından geliştirilen LEDAPS yazılımı yardımı ile derlenmiş ve 6S radyatif transfer kodu kullanılarak TOA reflektanslardan yüzey reflektans değerleri tüm görüntülerin ilgili bantları (TM/ETM+ Bant 1-2-3-4-5-7) için hesaplanmıştır.

##### 3.2.2. Termal Atmosferik Düzeltme

TUA verilerinden faydalanılarak AYS elde edilmesi sürecinde 1. Bölümde de ifade edildiği üzere atmosferik düzeltme aşaması oldukça önemlidir. Bununla birlikte Landsat TM/ETM+ sensörü gibi tek termal bantta görüntü algılayan sensörler için termal atmosferik düzeltme işlemi eş zamanlı atmosferik *in-situ* veri olmaksızın problemlili sonuçlar doğurabilmekte ve bu durum da hatalı AYS ürünlerinin elde edilmesine sebep olmaktadır. Son yıllarda çeşitli kestirim algoritmaları ile bu konuda önemli başarılar elde edilmiş ve tek termal bantlı sensörler için az sayıda atmosferik parametre ile çözüm yapabilen yaklaşımlar geliştirilmiştir (Qin vd., 2001; Jimenez-Munoz ve Sobrino, 2003; Jimenez-Munoz vd., 2009). Bu çalışmada Qin vd. (2001) tarafından geliştirilen ve radyans değerleri üzerindeki atmosferik etkiler ile yüzeyin spektral yayınlılık etkisini radyatif transfer eşitliğinden hareketle modelleyebilen tekil pencere algoritması kullanılmıştır. Algoritmada ilk aşamada TOA radyans değerleri Planck kanunundan hareketle blackbody kabulüne göre Landsat sensörleri için (2) eşitliği yardımıyla sensör tarafından kaydedilen TOA sıcaklık değerlerine ( $T_{sen}$ ) dönüştürülmektedir (Chander ve Markham, 2003).

$$T_{sen} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{sen}} + 1\right)} \quad (2)$$

Eşitlikte;  $T_{sen}$  TOA parlaklık sıcaklıkları,  $L_{sen}$  = TOA radyans değeri, L4B6 için  $K_1 = 671.62$ ,  $K_2 = 1284.30$ , L5B6 için  $K_1 = 607.76$ ,  $K_2 = 1260.56$  ve L7B6 için  $K_1 = 666.09$ ,  $K_2 = 1282.71$  ( $K_1$  Kelvin,  $K_2$   $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$  birimindedir) olarak kullanılacaktır.

Çalışmada öncelikle tüm görüntüler üzerinden TM/ETM+ 6 bandı için  $T_{sen}$  TOA parlaklık sıcaklıkları hesaplanmıştır. Bu işlemin ardından;

$$T_s = [a_6(1 - C_6 - D_6) + (b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6)T_{sen} - D_6T_a] / C_6 \quad (3)$$

$$C_6 = \varepsilon * \tau_6 \quad (4)$$

$$D_6 = (1 - \tau_6) * (1 + (1 - \varepsilon) * \tau_6) \quad (5)$$

(3), (4) ve (5) Eşitliklerinde;  $T_s$  AYS değerini,  $a_6 = 67.355351$ ,  $b_6 = 0.458606$  sabitlerini,  $T_a$  efektif ortalama atmosferik sıcaklık değerini,  $\tau_6$  bant 6 için atmosferik geçirgenlik değerini,  $\varepsilon$  yüzeye ilişkin spektral yayınlılık değerini ifade etmektedir.

$\tau_6$  ve  $T_a$  değişkenleri [Qin vd. \(2001\)](#) tarafından geliştirilen lineer kestirim denklemleri kullanılarak atmosferik su buharı içeriğine ve  $T_0$  yakın yüzey hava sıcaklığı değerlerine bağlı olarak ilgili atmosfer türleri için hesaplanmaktadır. Çalışmada bu aşamada kullanılan su buharı parametresi Bölüm 3.2.2 de 6S radyatif transfer kodu yardımıyla elde edilmiştir.  $T_0$  yakın yüzey hava sıcaklığı değeri görüntü kayıt tarihi ve saati için DMİ veritabanlarından elde edilmiştir. Termal atmosferik düzeltme ve AYS çıkarılması sürecinde gerekli bir diğer parametre olan  $\varepsilon$  değerlerinin her piksel için görüntü üzerinden elde edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte Landsat platformlarının Bölüm 1 de detaylı olarak ifade edilmiş olan termal bölgede tek banda sahip olması kısıtlayıcılığı sebebi ile TES metodu gibi ([Gillespie vd., 1998](#)) yoğun kabul gören ve uygulanan yaklaşımların kullanılması mümkün değildir. Bu sebeple çalışmada tek termal bantlı uydular için alternatif olarak geliştirilmiş olan NDVI eşikler metodundan ( $NDVI^{THM}$ ) faydalanılmıştır ([Sobrino vd. 2004](#)). Metotta farklı NDVI aşağıda eşiklerine göre yayınlılık değerleri elde edilebilmektedir.

Algoritmada;

$$NDVI < 0.2 \text{ ise } \varepsilon = \varepsilon_s \quad (6)$$

$$NDVI > 0.5 \text{ ise } \varepsilon = \varepsilon_v \quad (7)$$

$$0.2 \leq NDVI \leq 0.5 \text{ ise } \varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon \quad (8)$$

Eşitliklerde;  $\varepsilon_v$  bitki örtüsü için yayınlılığı,  $\varepsilon_s$  toprak için yayınlılığı,  $d\varepsilon$  doğal yüzeylerin geometrisinden kaynaklanan etkileri ve içsel reflektansı,  $P_v$  [Carlson ve Ripley, \(1997\)](#) tarafından önerilen yaklaşıma göre hesaplanan bitki örtüsü oranını ifade etmektedir. Yaklaşımda  $d\varepsilon$  parametresi düzgün yüzeyler için önemsenmemektedir.

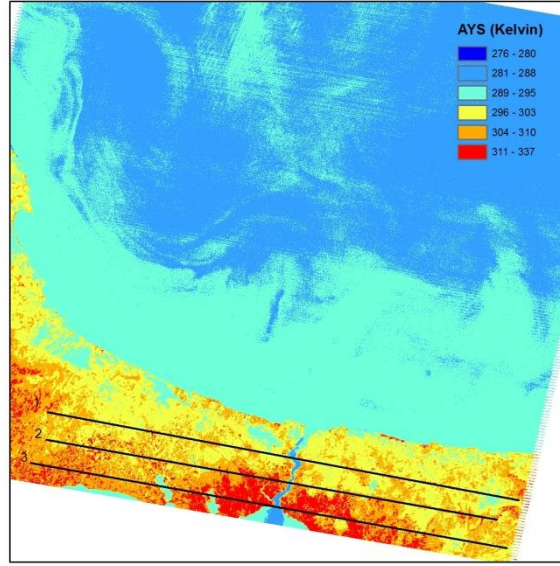
$$NDVI = \left[ \frac{\rho_{s4} - \rho_{s3}}{\rho_{s4} + \rho_{s3}} \right] \quad (9)$$

$$P_v = \left[ \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^2 \quad (10)$$

Eşitlikte;  $NDVI_{max} = 0.5$ ,  $NDVI_{min} = 0.2$  olarak seçilmiş, toprak ve bitki örtüsü için yayınlılık değerleri sırasıyla 0.97 ve 0.99 olarak belirlenmiştir ([Sobrino vd., 2004](#)).

Çalışmada öncelikle Bölüm 3.2.1 de elde edilmiş olan  $\rho_{s4}$  ve  $\rho_{s5}$  yüzey reflektansları kullanılarak (9) eşitliği yardımıyla NDVI görüntüsü elde edilmiştir. Ardından (3) termal atmosferik düzeltme için gerekli parametreler (4), (5), (6), (7), (8) ve (10) eşitlikleri yardımı ile hesaplanmış ve  $T_s$  AYS haritaları elde edilmiştir. 11 Mayıs 2007 için örnek AYS haritası şekil 2 de görülmektedir.





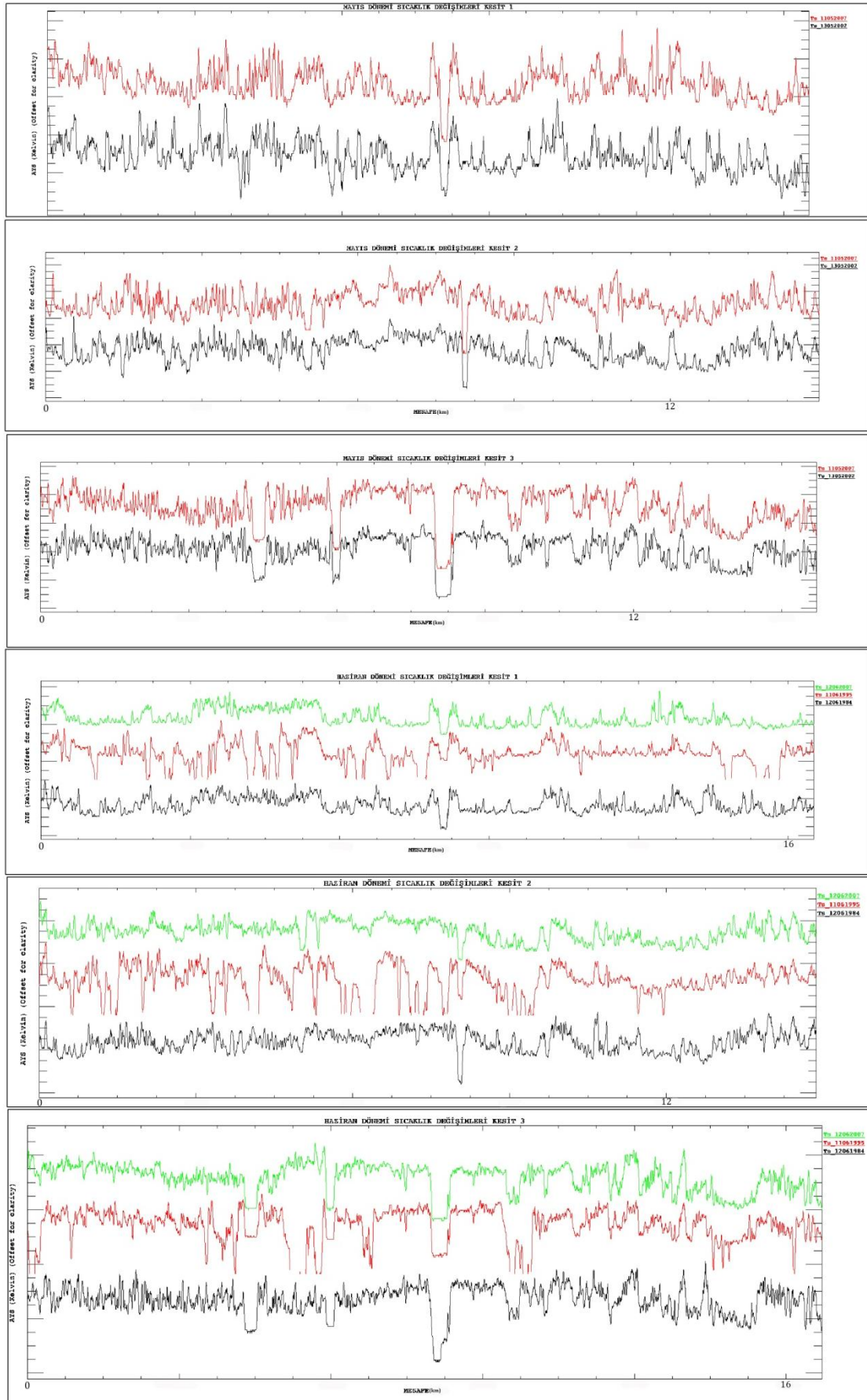
Şekil 2. 11 Mayıs 2007 tarihi için AYS haritası

### 3.3. Kesitler Üzerinden Zamansal AYS Değişim Analizi

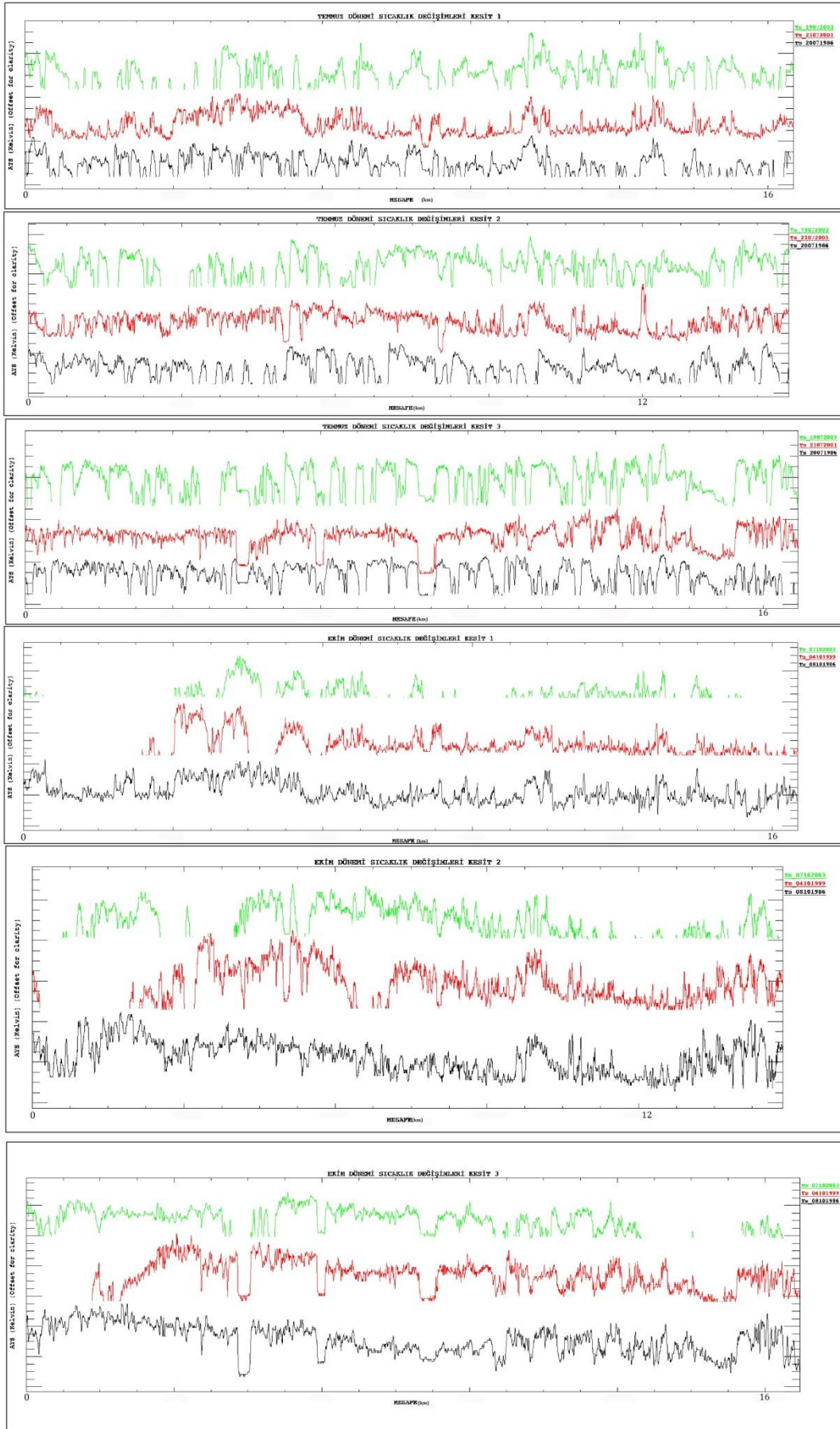
Çalışmanın son aşamasında kırsal ve kentsel bölgeler üzerinden geçen üç adet kesit oluşturulmuştur. Eşit aralıklı ve eşit uzunlukta çizilen kesitler vektör veri formatında referanslı olarak kaydedilmiştir. Ardından AYS sıcaklık haritaları ve vektör formdaki kesitler yardımıyla arazi örtüsünün ve AYS değerlerinin konumsal değişimlerine ilişkin grafikler elde edilmiştir. Grafikler Mayıs, Haziran (Şekil 3), Temmuz ve Ekim (Şekil 4) dönemleri için oluşturulmuştur.

## 4. SONUÇLAR

Çalışmada İstanbul ilini temsil eden 11 adet Landsat TM/ETM görüntüsü kullanılmış ve 1984-2007 periyodu için AYS değerleri İstanbul'un güney (kesit 3), orta (kesit 2) ve kuzey (kesit 1) kesimlerini doğu-batı doğrultusunda kesen doğrular ile örneklenmiştir. Buna göre İstanbul için elde edilen ve Şekil 2 de gösterilen AYS haritası kalitatif olarak incelendiğinde ilin daha çok güney bölgesinde yoğunluğu artan yerleşim alanlarının orta ve kuzey bölgelere göre daha yüksek sıcaklık dereceleri ile temsil edildiği saptanmıştır. Benzer şekilde orta kısmı temsil eden kesit 2 doğrularındaki sıcaklık değerlerinin de kuzey bölgelerindeki ortalama sıcaklık değerlerinden daha yüksek değerler gösterdiği bulunmuştur. Buna göre alanın vejetasyon yoğun bölgelerinde AYS sıcaklıklarının genel olarak düşük, yerleşim yoğun bölgelerinde ise AYS değerlerinin yüksek değerler ile temsil edildiği söylenebilir. Bu durum ileride KIA ları belirlemek amacı ile kullanılacak kantitatif yaklaşımlar için önemli bir çıkarımdır. Genel olarak irdelendiğinde mayıs, haziran, temmuz ve ekim aylarındaki mevsimsel farklılıkların da görüntü işleme sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılması ile yüksek doğrulukta elde edildiği ve bunun daha sonraki çalışmalarda referans olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Çalışma sırasında zamansal periyodun mayıs ve ekim gibi göreceli olarak yüksek bulutluluk olasılığının görülebileceği dilimi içermesi çalışmada kullanılan 11 farklı görüntünün bazılarında yüksek bulutluluk oranından kaynaklanan bazı hatalı arazi yüzey sıcaklıklarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Çalışma alanı ve seçilen zamansal aralık için elde edilen bindirilmiş sıcaklık anaomalilerine ait veriler aşağıda şekil 3 ve 4 de verilmiştir. Bulutluktan kaynaklanan yanıltıcı sıcaklık değerlerinin ileriki çalışmalarda uygun filtreleme ve maskeleyme yöntemleri ile giderilmesi düşünülmektedir.



Şekil 3. Mayıs ve Haziran dönemleri kesit 1, 2 ve 3 için AYS değişimleri



Şekil 4. Temmuz ve Ekim dönemleri kesit 1, 2 ve 3 için AYS değişimleri



**Katkı:**

Bu çalışma TÜBİTAK 112Y038 nolu proje ile desteklenmiştir.

**KAYNAKLAR**

- Barsi, J.A, Barker, J.L., Schott, J.R., 2003. An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument, in Proc. IEEE IGARSS, Toulouse, France, pp. 3014–3016.
- Becker, F., Li, Z., 1990. Towards a local split window method over land surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 369-393.
- Carlson, T.N., Ripley, D.A., 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62, 241-252.
- Chander, G., Markham, B., 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41(11), 2674-2677.
- Cristobal, J., Jimenez-Munoz, J.C., Sobrino, J. A., Ninyerola, M., Pons, X., 2009. Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature. *J. Geophys. Res.*, 114, D08103, doi:10.1029/2008JD010616.
- Dash, P., Gottsche, F.M., Olesen, F.S., Fischer, H., 2002. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2563-2594.
- Franca, G.B., Cracknell, A.P., 1994. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA-11 AVHRR data in north-eastern Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 1695-1712.
- Gillespie, A.R., 1985. Lithologic mapping of silicate rocks using TIMS. In: TIMS data users' workshop. JPL Publication, vol. 86-38 (pp. 29– 44). Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory.
- Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J.S., Hook, S., Kahle, A.B., 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1113-1126.
- Jimenez-Munoz, J.C., Sobrino, J.A., 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *J. Geophys. Res.*, 108(D22), 4688, doi:10.1029/2003JD003480.
- Jiménez-Muñoz, J.C., Cristóbal, J., Sobrino, J.A. Soria, G., Ninyerola, M., Pons, X. 2009. Revision of the Single-Channel Algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, 47(1).
- Kahle, A.B., Madura, D.P., Soha, J.M., 1980. Middle infrared Multispectral aircraft scanner data: Analysis for geological application. *Applied Optics*, 19, 2279–2290.
- Kaufman, Y.J., Wald, A.E., Remer, L.A. et al., 1997. The MODIS 2.1-micron channel OE correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 35(5), 1286-1298.
- Kealy, P.S., Gabell, A.R., 1990. Estimation of emissivity and temperature using alpha coefficients. In: Proc. 2nd TIMS workshop. JPL Publication, vol. 90-55 ( pp. 11 – 15). Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory.
- Kotchenova, S.Y., Vermote, E.F., Matarrese, R., Klemm, F., 2006. Validation of a new vector version of the 6S radiative transfer code for atmospheric correction of MODIS data: Part I – Path Radiance. *Applied Optics*, 45(26), 6762-6774.
- Li, Z., Becker, F., Stoll, M.P., Wan, Z., 1999. Evaluation of six methods for extracting relative emissivity spectra from thermal infrared images. *Remote Sensing of Environment*, 69, 197-214.
- Li, F., Jackson, T.J., Kustas, W.P., Schmugge, T.J., French, A.N., Cosh, M.H., Bindlish, R., 2004. Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX. *Remote Sens. Environ.*, 92(4), 521-534.
- Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, F., Gao, F., Kutler, J., Lim, T.K., 2012. LEDAPS Landsat Calibration, Reflectance, Atmospheric Correction Preprocessing Code. Model product. Available on-line [http://daac.ornl.gov] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1080.
- Muller, C., Eickhout, B., Zaehle, S., Bondeau, A., Cramer, W., Lucht, W., 2007. Effects of changes in CO<sub>2</sub>, climate, and land use on the carbon balance of the land biosphere during the 21st century. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 112: G02032, DOI:10.1029/2006jg000388.
- Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of Royal Meteorology Society*, 108, 1 – 24.
- Prata, A.J., 1993. Land surface temperatures derived from the advanced very high resolution radiometer and the along-track scanning radiometer: 1. Theory. *Journal of Geophysical Research*, 98, 16689-16702.
- Prata, A.J., Caselles, V., Coll, C., Sobrino, J.A., Otle, C., 1995. Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: Current status and future prospects. *Remote Sensing Reviews*, 12, 175–224.
- Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P., 2001. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18), 3719-3746.
- Rajasekar, U., Weng, Q., 2009. Spatio-temporal modelling and analysis of urban heat islands by using Landsat TM and ETM+ imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(13), 3531-3548.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM5. *Remote Sens. Environ.*, 90(4), 434-440.
- 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.
- Voogt, J.A, Oke, T.R., 1997. Complete urban surface temperatures. *J. Appl. Met.*, 36, 1117-1132.
- Voogt, J.A., Oke, T.R. 1998. Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 895-920.

- Watson, K., 1992. Spectral ratio method for measuring emissivity. *Remote Sensing of Environment*, 42, 113-116.
- Weng, Q., Lu, D., Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89, 467-483.
- Yonghong, H., Gensuo, J., 2010. Influence of land use change on urban heat island derived from multi-sensor data. *International Journal of Climatology*, 30, 1382-1395.
- URL-1. <http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISTANBUL#sfB>.
- URL-2. <http://earthexplorer.usgs.gov/> .
- URL-3. <http://rda.ucar.edu/>.