

YER YÜZEY SICAKLIĞININ TERMAL UZAKTAN ALGILAMA VERİLERİLE BELİRLENMESİ : İSTANBUL ÖRNEĞİ

F. Bektaş Balçık^{a,*}, E. M. Ergene^b

^a İTÜ, İnönü Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul-bektasfi@itu.edu.tr

^b Saray Belediyesi, Tekirdağ - mujganergene@gmail.com

ANAHTAR KELİMELER: Yer yüzey sıcaklığı, Landsat 8 OLI&TIRS, İstanbul, İndeks, Regresyon, Yapay Yüzeyler

ÖZET:

Yerleşim nüfus artışı, sürekli şehirleşme ve plansız endüstrileşme, yerleşim alanlarının tahrip edilmesi ve buharlaşma yüzeylerinin beton, asfalt vb. yapay malzemelerle kaplanması, özellikle şehirlerdeki insan sağlığını, doğal alanları, ekosistemi, iklimi, enerji verimliliğini ve kent merkezindeki yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Uzaktan algılama görüntüleri ile yer yüzey sıcaklığı (YYS) belirlenmesi sürekli çevre yönetimi ve izleme için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, uydu görüntüleri yardımıyla elde edilen yer yüzey sıcaklığı verileri ile yapay alanlar arasındaki istatistiksel ilişkiyi ortaya koymak hedeflenmiştir. Bu kapsamda, çalışma bölgesi olarak seçilmiş olan İstanbul için YYS haritalarının elde edilmesinde split-window algoritmasından yararlanılarak 21 Ekim 2014 tarihli Landsat 8 OLI & TIRS verisi ile görüntü ile eş zamanlı meteorolojik istasyon verileri (sıcaklık ve nem) kullanılmıştır. Yapay alanları belirlemek için yerleşim alanı için SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index -Düzeltilmiş Toprak Bitki İndeksi), yerleşim alanları için NDBI (Normalized Difference Built up Index-Normalleştirilmiş Farklı Yerleşim Alanı İndeksi) ve Su ile kaplı alanlar için MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index- Modifiye edilmiş Normalleştirilmiş Farklı Su İndeksi) kullanılarak hesaplanan İndeks Tabanlı Yapı İndeksi (Index based built up index-IBI) ile yapay yüzeyler belirlenmiştir. Elde edilen İndeks görüntüsü ile yer yüzey sıcaklığı arasında ki istatistiksel ilişki regresyon analizi ile ortaya konmuştur. İstatistiksel sonuçlar yer yüzey sıcaklık verileri ile yapay alanlar arasında pozitif eksponansiyel bir ilişki olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuç artan yapay yüzey alanlarının İstanbul'da yer yüzey sıcaklık verilerinin artmasını hızlandıracağını ortaya koymuştur.

DETERMINATION OF LAND SURFACE TEMPERATURE USING THERMAL REMOTE SENSING DATA: ISTANBUL CASE STUDY

KEY WORDS: Land Surface Temperature, Landsat 8 OLI&TIRS, İstanbul, Index, Regression, Artificial Surfaces

ABSTRACT:

Population increases cause continuous urbanization and unplanned industrialization, destruction of green areas and evaporation surfaces such as concrete, asphalt are covered with artificial materials and these consequences affect negatively specially the human health in cities, natural areas, ecosystem, climate, energy efficiency and quality of life in the city center. Determination of land surface temperature with remote sensing images is really important for continuous environmental management and monitoring. In this study, it is aimed to reveal the statistical relation between land surface temperature values obtained with satellite images and artificial surfaces. In this context, simultaneous meteorological station data (temperature and relative humidity) and Landsat 8 OLI & TIRS data dated 21 October 2014 were used to obtain land surface temperature maps via split-window algorithm for İstanbul, which was selected as the study area. In this study, An Index Based Built-up Index (IBI) was used to derive artificial surfaces in the study area. To produce the IBI index, Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) were calculated. In addition, random samples were selected, and different regression models were applied to explore the correlation between LST and IBI index. The results show that artificial surfaces have a positive exponential relationship with LST rather than a simple linear one. This suggested that the areas with a high rate of urbanization will accelerate the rise of LST in İstanbul.

1. GİRİŞ

Uydu görüntülerinin ısı (termal) bantları yerleşim alanlarında, şehir ısı adalarının belirlenmesi, arazi örtüsü ve kullanımı değişimlerinin bölgesel iklim üzerine etkilerinin belirlenmesi, iklim değişimlerinin analizinde, küresel ısınma etkilerinin analizinde, ekolojik çalışmalarında, insan sağlığı çalışmalarında, etkin enerji kullanımı çalışmalarında, vb. birçok alanda kullanılmaktadır (Eker ve diğeri, 2015).

Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS), dünya enerji dengesini yöneten çok önemli bir bileendir. Isıl bantta sahip uzaktan algılanması

görüntüler ile yer yüzey sıcaklığı elde etmek için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bölünmüş pencere (split-window) yöntemi (Sobrino ve diğeri, 1996), sıcaklık/yayınırılık ayırma (temperature/emissivity separation) yöntemi (Gillespie vd. 1998), tek pencere (mono-window) algoritması (Qin vd. 2001), tek kanal (single channel) yöntemi (Jimenez-Munoz ve Sobrino 2003) en sık kullanılan algoritmalarıdır.

Uydu görüntüleri yardımıyla arazi örtüsü/ arazi kullanımı haritaları üretilerek bu haritaların yer yüzey sıcaklığı haritaları ile ilişkilendirilmesine yönelik çok sayıda bilimsel çalışma mevcuttur (Xu ve diğeri, 2010; Bektaş Balçık, 2014; Ergene,

* Corresponding author. This is useful to know for communication with the appropriate person in cases with more than one author.

2016; Bektaş Balçık ve Ergene, 2016). Uzaktan algılanma verileri yapay yüzeyler ve bitki örtüsü gibi arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıfları ile yer yüzey sıcaklığı arasında ki ilişkinin analizi için kullanılmaktadır (Xu ve diğeri, 2010; Bektaş Balçık, 2014). Uzaktan algılanma görüntüleri ile üretilmiş yer yüzey sıcaklığı değerleri ile arazi örtüsü değerlerinin iklim koşulları üzerindeki etkilerini Coğrafi Bilgi Sistemleri ile ortaya konmasında etkin olarak kullanılmaktadır (Sun ve diğeri, 2010).

Uzaktan algılama indeksleri arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının belirlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Xu ve diğeri, 2010; Liu ve Zhang 2011). Bitki örtüsüne ait nitel ve nicel özelliklerin uzaktan algılama görüntülerinden belirlenmesi için çok sayıda bitki indeksi geliştirilmiştir (Tian ve Xiangjun 1998). Düzeltilmiş Toprak Bitki İndeksi (The Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)) heterojen şehir alanlarında yerleşim alanları tahmin etmek için kullanılmaktadır (Yuan ve Bauer 2007). Zhan ve diğeri, (2003) yapay yüzeyleri belirlemek için Normalleştirilmiş Farklı Yerleşim Alanı İndeksi (Normalized Difference Built-Up Index (NDBI)) indeksi geliştirilmiştir. Su içeriğini ortaya koymak için Normalleştirilmiş Farklı Su İndeksi (The Normalized Difference Water Index (NDWI)) geliştirilmiştir. Üç farklı indeks (SAVI, NDWI ve NDBI) kullanılarak heterojen şehir alanlarında yapay yüzeyleri (özellikle yerleşim alanlarını) yüksek doğrulukla belirlemek için indeks tabanlı yapı indeksi (Index based built up index (IBI)) geliştirilmiştir (Xu, 2008).

Bu çalışmanın amaçları, yeni nesil Landsat 8 TIRs görüntüsü ve Split-window yöntemi ile yer yüzey sıcaklığının belirlenmesi ve uzaktan algılama indekslerinden üretilen yapay yüzey sınıfının yer yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin istatistiksel yöntemle incelenmesidir. Çalışma kapsamında seçilen çalışma bölgesi İstanbul için yapay yüzeyler indeksi tabanlı yapı indeksi (Index based built up index-IBI) kullanarak belirlenmiştir. Elde edilen yer yüzey sıcaklık değerlerinin doğruluğu meteorolojik istasyonlardan elde edilen yakınyüzey sıcaklık değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapay yüzeyler ile yer yüzey sıcaklık değerleri arasında rastgele seçilen test noktaları kullanılarak regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar yapay yüzeyler ile kaplı alanların yerleşim alanları veya su yüzeylerine göre daha yüksek yer yüzey sıcaklığına sahip olduğunu göstermiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

2.1 Çalışma Alanı

Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Bölgesinde'nde yer alan dünyanın en önemli metropollerinden biri olan İstanbul çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. İstanbul tarihsel gelişimi, iki kıtayı birleştirmesi, ekonomik olanakları, sosyo-kültürel ve doğal özelliklerinden dolayı her zaman çekim merkezi olmuştur (Ergene, 2016). Avrupa ve Asya kıtalarını birbirine bağlayan özelliği ile konum olarak 40° 58' N enlemi ve 28° 50' E boylamı arasında bulunmaktadır (ekil 1).



ekil 1. Çalışma Alanı

İstanbul'un nüfus yoğunluğu 1970 yıllarında 3 milyon, 1990 yıllarında 7.4 milyon ve günümüzde yaklaşık 14 milyondur. İstanbul barındırdığı hassas ekosistemler ile çok çeşitli flora ve faunaya ev sahipliği yapmaktadır. Terkos Kasatura kıyı kumulları, Kilyos kumulları, Ömerli havzası flora ve faunası, Terkos Havzası sulak alanları ve İstanbul ormanları İstanbul sınırları içinde yer alan farklı koruma statülerine sahip hassas alanlardan sadece birkaçıdır. Özellikle son 65 yılda nüfusun hızla artması ve buna bağlı olarak sanayi alanlarının çoğalması ve çarpık kentleşmenin bir sonucu olarak arazi örtüsünün dramatik bir şekilde değişmesi iklimsel değişim, hava kirliliği ve mevsim normallerine göre yer yüzey sıcaklığındaki artışa neden olmuştur. Bu değişimlerin sebep olduğu negatif etkileri analiz etmek için, arazi örtüsü ve kullanımı sınıfları ile yer yüzey sıcaklığı arasındaki istatistiksel ilişkiyi belirlemek İstanbul'un sürdürülebilir yönetimi ve planlanması için büyük önem taşımaktadır (Ergene, 2016).

2.2 Kullanılan Veriler

2.2.1 Uydu Görüntüleri

11 Nisan 2013 yılında fırlatılan Landsat 8 uydu algılayıcısı Operasyonel Yer Görüntüleyicisi (OLI) ve termal bantları içeren (TIRs) algılayıcılarına sahiptir. OLI bantları daha önceki geleneksel bantların yanında kıyı/aerosol çalışmaları için derin mavi bant (Bant 1), sirus bulutlarının tespiti için kısa dalga kızılötesi bant (Bant 9) ve bir de kalite değerlendirme bantı (Quality Assessment/ QA) olarak adlandırılan 3 yeni bant içermektedir (Ergene, 2016). Bu bantlar Landsat 7 ETM+ ve Landsat 5 TM ile karşılaştırıldığında doğruluk ve doğruluk yoktur ve çalışma bant 9 ve QA kullanılmamıştır. OLI bantları Landsat 7 ETM+ ve Landsat 5 TM gibi mekansal çözünürlüğü 30 m ancak spektral olarak daha dar ve farklı spektral aralıkları kapsar (Tablo 1).

Isıl Kızılötesi Algılayıcılar (TIRs) ise bant 10 ve bant 11 olmak üzere iki adet ısı bandına sahiptir. Landsat 8 OLI & TIRs, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 5 TM'e kıyasla daha dar spektral bantlara, gelişmiş kalibrasyonu ve sinyal-gürültü karakteristiği ile 8 bit radyometrik çözünürlükten daha yüksek çözünürlüğe sahiptir (Dube ve Mutanga, 2015). Ürünler 16 bit radyometrik çözünürlük ile teslim edilir (URL 1).

Tablo 1. Landsat 8 OLI & TIRs özellikleri

Bantlar	Dalga Boyları	Mekansal Çözünürlük (m)
B1-Kıyı Aerasol	0.43-0.45	30
B2-Mavi	0.45-0.51	30
B3-Yeşil	0.53-0.59	30
B4-Kırmızı	0.64-0.67	30
B5-Yakın Kızılotesi	0.85-0.88	30
B6-Kısa Dalga Kızılotesi (1)	1.57-1.65	30
B7-Kısa Dalga Kızılotesi (2)	2.11-2.29	30
B8-Panitromatik	0.50-0.68	15
B9-Sivris	1.36-1.38	30
B10-Termal Yakın Kızılotesi (1)	10.60-11.19	100
B11-Termal Yakın Kızılotesi (2)	11.50-12.51	100

Radyometrik Çözünürlük= 16 bit
Zamansal Çözünürlüğü=16 gün

2.2.2 Meteorolojik stasyon Verileri

Yer yüzey sıcaklığı tahmini için kullandığımız algoritmalarda 1 mım üzerindeki atmosferik etkileri (yutulma, yayılma, emilme vs.) gidermek için atmosferik geçirgenlik, ortalama atmosferik sıcaklık parametrelerinin ve yer yüzey yayınlı mım hesaplanması gerekmektedir. Bu parametrelerin hesaplanabilmesi için yakın yüzey sıcaklığı ve nisbi nem de erlerine ihtiyaç vardır. Çalı mada kullanılmak üzere yakın yüzey sıcaklığı ve nisbi nem de erleri stanbul Büyük ehir Belediyesine ba lı Meteoroloji stasyonları ar ivinden elde edilmi tir. Elde edilen verilerden 21 Ekim 2014 tarihinde Landat 8 OLI & TIRs uydusunun stanbul üzerinden geçi zamanına denk gelen (GMT 08:45) zaman dilimi seçilerek sıcaklık ve nisbi nem verisi elde edilmi tir. On dört farklı istasyondan gelen sıcaklık ve nisbi nem verisinin ortalaması alınarak Split Window algoritmasında kullanılmı tir.

3. YÖNTEM VE BULGULAR

3.1 Görüntü Ön- leme

Görüntü ön i leme radyometrik ve geometrik düzeltme adımlarını içermektedir. Görüntü üzerinde ki radyometrik distorsiyonları gidermek için dijital numara de erleri görüntü yansıtım de erlerine dönü türülmü tür (Ergene, 2016). Geometrik düzeltme i lemini gerçekle tirmek amacıyla görüntüler üzerinde yakla ık olarak homojen da ılımı , yol keski imleri, limanlar v.b keskin ayırt edilebilen nesnelere yer kontrol noktası olarak seçilmi tir. Afın dönü üm e itlikleri kullanılarak 0.5 piksel altında karesel ortalama hatalar ile geometrik düzeltme i lemi tamamlanmı tir. En yakın kom uluk yeniden örnekleme için kullanılmı tir.

3.2 Split-Window Yöntemi ile Yüzey Sıcaklı mım Belirlenmesi

Bu çalı mada, yer yüzey sıcaklığı Sobrino ve di . tarafından 1996 yılında yayınlanmı ve Landsat 8 TIRs için yeniden uyarlanmı iki farklı ısıl bant kullanımına olanak tanıyan split-window algoritması kullanılmı tir.

Split Window algoritmasını hesaplamak için sadece 3 parametreye ihtiyaç vardır. Bu parametreler **atmosferik su buharı, parlaklık sıcaklığı ve yeryüzü yayınlı ıdır** [33]. Split-Window (Bölünmü Pencere) algoritmasının uygulanabilmesi için yapılması gereken i lem adımları :

- 1) Parlaklık de erlerinin spektral radyans de erlerine dönü türülmesi,

- 2) Spektral radyans de erlerinin parlaklık sıcaklığı de erlerine dönü türülmesi
- 3) Yer yüzey yayınlı ık hesabı
- 4) Atmosferik su buharı hesabı
- 5) Split-window yöntemi ile yer yüzey sıcaklığı hesabı

Landsat 8 TIRs algılayıcısı iki adet ısıl banta sahiptir. Bu çalı mada TIRs10 ve TIRs11 yer yüzey sıcaklığı de erlerini elde etmek için kullanılmı tir. TIRs10 ve TIRs11 piksel de erleri E itlik 1 ile önce parlaklık de erleri spektral radyans de erlerine daha sonra e itlik 2 yardımıyla parlaklık sıcaklığı na dönü türülür. E itlikler Landsat 8 Kullanıcı El Kitabından alınmı tir.

$$L = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

L = Spektral I mım (watts/mm²*srad*µm)

M_L = Hesaplanan bant için ı mım çarpımsal ölçeklendirme faktörü

A_L = Hesaplanan bant için ı mım ilave ölçeklendirme faktörü

Q_{cal} = Nicelendirilmi ve kalibre edilmi standart ürün piksel de eri (DN)

$$T = K_2 / \ln((K_1 / L) + 1) \quad (2)$$

T = Parlaklık sıcaklığı (K) (B10 ve B11 için)

L =TOA spektral ı mım (watts/mm²*srad*µm)

K₁ = K₁_katsayısı (TIRs10 ve TIRs11)

K₂ = K₂_katsayısı (TIRs10 ve TIRsB11)

Parlaklık Sıcaklığı formülünde kullanılan K₁ ve K₂ katsayıları ve M_L, A_L ölçeklendirme faktörü görüntüye ait metaveri dosyasından alınmı tir.

Çalı mada yer yüzey yayınlı ık () de erlerini belirlemek için normalize edilmi bitki indeksi e ikleme methodu (Normalized Difference Vegetation Threshold- NDVI^{THM}) kullanılmı tir (Ergene, 2016).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (3)$$

NDVI^{THM} ile yer yüzey yayınlı ık () hesaplamada yakın kızıl ötesi (Near Infrared –NIR ve kırmızı –Red bantları kullanılarak hesaplanan NDVI yardımıyla (E itlik 3) fraksiyonel bitki örtüsü (Fractional Vegetation Cover / FVC) elde edilmi tir. FVC, NDVI'ın toprak ve bitki örtüsü için yeniden sınıflandırılmasıyla elde edilen NDVI_{toprak} ve NDVI_{bitki} de erleri ile E itlik 4' deki formül uygulanarak bulunmu tur. NDVI görüntüsündeki bitki örtüsü ve toprak alan piksellerinden örnekler alınarak ve NDVI histogramı incelenerek bitki örtüsü için ortalama e ik de er 0.53 ve toprak alan için ortalama e ik de er 0.19 olarak hesaplanmı tir.

$$FVC = (NDVI - NDVI_{toprak}) / (NDVI_{bitki} - NDVI_{toprak}) \quad (4)$$

Yer Yüzey Yayınlırlı () de erlerini elde etmede kullanılan denklemler ve ko ullar Tablo 2’de ve Landsat 8 Isıl kızıl ötesi bandlar (TIRs10 ve TIRs11) için kullanılan katsayılar Tablo 3’de verilmi tir.

Tablo 2. () hesaplamada kullanılan denklemler ve ko ullar

Denklemler	Ko ullar
$\alpha = a + b \cdot \text{pred}$	FVC=0
$\beta = \beta_5(1-FVC) + \beta_6 FVC$	$0 < FVC < 1$
$\beta = 0.99$	FVC=1

Tablo 3. () hesaplamada kullanılan denklemler katsayıları

Yer Örtüsü	E itlik	Bant
FVC=0	$0.979 - 0.046 \cdot \text{pred}$	TIRs10
	$0.982 - 0.027 \cdot \text{pred}$	TIRs11
$0 < FVC < 1$	$0.971(1-FVC) + 0.987 FVC$	TIRs10
	$0.977(1-FVC) + 0.989 FVC$	TIRs11
Su	0.991	TIRs10
	0.986	TIRs11
Kar/Buz	0.986	TIRs10
	0.959	TIRs11

Tablo 1 ve Tablo 2 de pred yansıtım de erleri hesaplanan band 4’ü (kırmızı bandı) temsil eder. s toprak yayınlırlık de eri TIRs10 için 0.971, TIRs11 için 0.977 kullanılmı tir. v bitki yayınlırlık de eri ise TIRs10 için 0.987, TIRs11 için 0.989 alınmı tir. “a ve b” katsayıları sırasıyla TIRs10 için 0.979 ve -0.046, TIRs11 için 0.982 ve -0.027 ‘dir.

Atmosferik su buharı () de eri Split-Window algoritmasında yer yüzey sıcaklık de erini hesaplamak için gereklidir. Meteoroloji Genel Müdürlü ü’nden alınan dakikalık sıcaklık ve nisbi nem verilerinin uydu nun geçi tarihi 21 Ekim 2014 ve saati 08:45 GMT zamanına denk gelen de erlerinin ortalamaları alınarak E itlik 5’deki formül yardımıyla atmosferik su buharı hesaplanmı tir. 14 farklı meteorolojik istasyondan elde edilen ortalama sıcaklık de eri (T₀) 17.394 C (290.544 Kelvin), ortalama nisbi nem de eri (RH) %62.052 bulunmu tur.

$$\omega_1 = 0.0981 \cdot \left(10^{0.6105} \cdot \exp \left[\frac{17.27 \cdot (T_0 - 273.15)}{273.15 + (T_0 - 273.15)} \right] \right) \cdot RH + 0.1697 \quad (5)$$

E itlik 5 ile hesaplanan atmosferik su buharı de eri (i) 0.1845 g/cm² bulunmu tur.

Landsat 8 TIRs uydu verisi kullanılarak hesaplanan split window (bölünmü kanal) algoritması E itlik 6 da gösterilmi tir (Sobrino ve di . 1996).

$$LST = T_{10} + C_1 \cdot (T_{10} - T_{11}) + C_2 \cdot (T_{10} - T_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4 \cdot i) \cdot (1 - ORT_{-}) + (C_5 + C_6 \cdot i) \cdot FARK_{-} \quad (6)$$

Split Window algoritmasında kullanılan C₀ = -0.268, C₁ = 1.378, C₂ = 0.183, C₃ = 54.30, C₄ = -2.238, C₅ = -129.20 ve C₆ = 16.40 Landsat 8 uydusu için belirlenen denklemin sabit katsayılarıdır (Skoković ve di . 2014). Yer yüzeyi yayınlırlıklarının ortalaması

(ORT₋) ve yer yüzey yayınlırlıklarının farkı (FARK₋) ısıllı bandlar TIRs10 ve TIRs11 için hesaplanan yayınlırlık de erleri ω_{10} ve ω_{11} kullanılarak hesaplanı.

3.3 Uzaktan Algılama ndekslerinin Hesaplanması

Uzaktan algılama görüntülerinde benzer yansıtımlardan dolayı meydana gelen “karışık piksel” problemini çözmek için kullanılan yöntemlerden biride uzaktan algılama indeksleridir. Bu indeksler görüntünün farklı bantlarının oranlanması yada bu bantlar ile aritmetik i lemlerin gerçekte tirilmesi ile ortaya çıkmı tir. Çalı mada kullanılacak olan uzaktan algılama indeksleri Tablo 4’de gösterilmi tir (Ergene, 2016). Yerle im alanı özelliklerinin hızlı bir ekilde çıkarılması (tanımlanması) için kullanılan IBI indeksi ile yer yüzey sıcaklı ı arasında ki istatistiksel ili ki ortaya konmu tur.

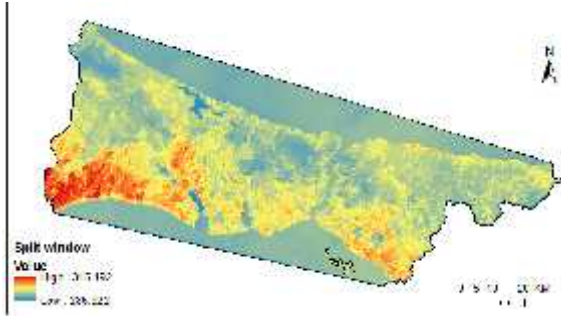
Bu çalı mada, bitki örtüsüne ait bilgi çıkarımını zenginle tirmek için SAVI indeksi kullanılmı tir. 7 numaralı e itlikte kullanılan l düzeltme faktörü bitki yo unlu una göre 0 (çok yo un) ile 1 (az yo un) arasında de er almaktadır. Bu çalı mada 0.5 de eri kullanılmı tir. Yerle im alanlarının zenginle tirilerek daha do ru ve güvenilir çıkarım için NDBI indeksinden yararlanılmı tir (E itlik 8). Yapıla manın yo un oldu u stanbul’da su içeri ninin do ru olarak sınıflandırılması için MNDWI indeksi kullanılmı tir (E itlik 9). Bu indeks ile üretilen sonuç yerle im alanlarının di er bazı sınıflar ile karıştı rını göstermi tir. Bu sebepten bitki örtüsü ve su kütlelerinin yarattı ı negatif etkinin azaltılması ve daha do ru yapay yüzey sınıflandırma i leminin gerçekte tirilmesi için üç indeks birle tirilmi tir (E itlik 10) (Ergene, 2016).

Üç temel arazi örtüsü sınıfını (su, bitki örtüsü ve yapay yüzeyler) ayırt edebilmek için oran tabanlı IBI indeksi üretilmi tir. -1 ile +1 arasında de erlere sahip IBI görüntüsünde zenginle tirilmi bilgiler pozitif ve bastı rılmı gü rültü bilgileri (bitki örtüsü ve su) genellikle negatif de erlere sahiptirler. E itli in 2 ye bölünmesinin sebebi çok küçük IBI de erlerinden kaçınılmasıdır. IBI indeksi hesaplanmadan önce SAVI, MNDWI ve NDBI indekslerine 1 eklenmesi veya 0-255 aralı na tekrar ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Bunun sebebi negatif de erlerin pozitif de erlere dönü türülmesidir. Landsat 8 TIRs görüntüsüne ait TIRs10 ve TIRs11 kanalları kullanılarak Split-Window yöntemi ile yer yüzey sıcaklı ı haritası üretilmi tir (ekil 2). Yer yüzey sıcaklı ı haritası de erlendirildi inde literatürdeki çalı malarda oldu u gibi açık alanların ve betonarme yapıların yüksek sıcaklık de erlerine sahip oldu u gözlemlenmi tir. Bitki örtüsü kaplı ve ormanlık alanların, en dü ük sıcaklık de erlerine sahip alanlar oldu u belirlenmi tir.

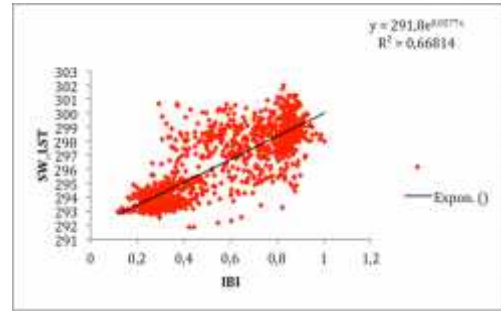
Split Window algoritması ile elde edilen yüzey sıcaklık verileri 14 farklı meteorolojik istasyon sıcaklık verisi ile karıla tı rılmı tir ve aralarında ki korelasyon hesaplanmı tir. Meteorolojik istasyonların sıcaklık verilerine karılı k gelen görüntülerdeki sıcaklık de erleri meteorolojik istasyonların UTM projeksiyonunda WGS84 datumundaki (Zone 35) enlem i lenerek bulunmu tur. Do ruluk de erlendirmesi için elde edilen sıcaklık sonuçları ile istasyonların sıcaklık de erleri arasındaki korelasyon 0.77 olarak hesaplanmı tir.

Tablo 3: Kullanılan uzaktan algılama indeksleri NIR (near infrared/ yakın kızılötesi), RED, GREEN ve MIR (middle infrared/orta kızılötesi) Landsat 8 OLI uydu görüntüsünün B5, B4, B3 ve B6 yansımaları ile ifadelerini ifade etmektedir.

Kısaltma	Ad	İndeks	Denklemlik	Kaynak
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{(NIR - RED)(1 + L)}{NIR + RED + L}$	(7)	Huete, 1988
NDBI	Normalized Difference Built Up Index	$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR}$	(8)	Zha et al., 2003
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index	$MNDWI = \frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR}$	(9)	Xu, 2006
IBI	Index-Based Built-Up Index	$IBI = \frac{[NDBI - \frac{SAVI + MNDWI}{2}]}{[NDBI + \frac{SAVI + MNDWI}{2}]}$	(10)	Xu, 2008

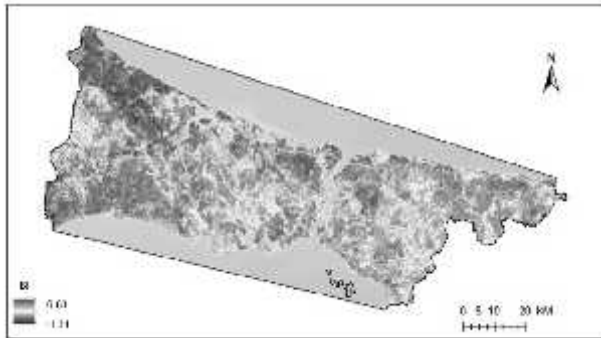


ekil 2. Split-Window algoritması ile elde edilen yer yüzeyi sıcaklık görüntüsü.



ekil 4. Yer yüzey sıcaklığı ile IBI arasındaki ilişki

Hesaplanan SAVI, MNDWI ve NDBI indeks görüntüleri kullanılarak IBI indeks görüntüsü elde edilmiştir (ekil 3). Bu indekslerle IBI indeksini hesaplamak için yerleşim alanları yine pozitif değerlerle tanımlanması gerekir dolayısıyla IBI indeksi hesaplanmadan önce SAVI, MNDWI ve NDBI görüntüleri normalize edilerek negatif değerler 0 ile 1 aralığında pozitif değerlere dönüştürülmüştür.



ekil 3. IBI indeks görüntüsü

Görüntü üzerinden rastgele seçilen 1200 piksel için tüm indekslerden bu piksellere karşılık gelen değerler çıkartılarak yer yüzey sıcaklığı görüntüsü ile regresyon grafiği oluşturulmuştur (ekil 4).

4. SONUÇLAR

Çalışma bölgesi olarak seçilen İstanbul'da yapay yüzeyler ile kaplı alanların yer yüzey sıcaklığı değerlerinin yerleşim alanları ve orman alanlarına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada yer yüzey sıcaklığı değerleri ile yapay yüzeylere ait değerler arasında farklı regresyon modelleri (lineer, eksponansiyel, üstel) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. İkisi arasında ki istatistiksel ilişkinin lineer değil eksponansiyel olduğu gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen en önemli sonuçlardan biri özellikle IBI ile yer yüzey sıcaklığı arasında eksponansiyel bir ilişki olduğu ortaya konmasıdır. İstatistiksel sonuçlar yer yüzey sıcaklığı artışının en önemli sebeplerinden birinin yerleşim alanlarında ki artış olduğunu kanıtlamıştır. Bitki ve su ile kaplı alanların azalması şehir ısı alanlarının oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Gelecek için yerleşim alanlarının sürdürülebilir planlanması ve yönetiminin şehir alanları için önemi bu çalışmada bir kez daha ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

Bektaş Balçık, F., 2014. Determining the impact of urban components on land surface temperature in Istanbul by using remote sensing indices. *Environmental Monitoring Assessment*, 186, pp. 859-872.

- Bekta Balçık, F., 2014. Evaluation of Land Surface Temperature Effect in Istanbul Using Thermal Remote Sensing, *Fresenius Environmental Bulletin*, 23, 12a, pp. 3117-3122
- Bekta Balçık, F., Ergene E. M., 2016. Determining the Impacts of Land Cover/Use Categories on Land Surface Temperature Using Landsat 8 OLI, ISPRS, Prag, 2016.
- Dube, T., Mutanga, O., 2015. 'Evaluating the utility of the medium-spatial resolution Landsat 8 multispectral sensor in quantifying aboveground biomass in uMgeni catchment, South Africa' *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, pp. 36–46
- Ergene, E. M., 2016. LANDSAT 8 Uydu Görüntüsü Kullanılarak Yeryüzü Sıcaklıklarının Uzaktan Algılama Tekniği ile Belirlenmesi : İstanbul Örneği, TÜ FBE Yüksek Lisans Tezi
- Gillespie, A. R., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J. S., Hook, S. J., & Kahle, A. B. A., 1998. Temperature and emissivity separation algorithm for advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, pp. 1113–1126.
- Huete, A. R., 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), pp. 295-309.
- Jimenez-Munoz, J. C., & Sobrino, J. A., 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research*, 108, pp. 4688–4694.
- Liu, L., & Zhang, Y., 2011. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3, pp. 1535–1552.
- Qin, Z., Zhang, M., Amon, K., & Pedro, B., 2001. Monowindow algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM 6 data. *Acta Geographica Sinica*, 56, pp. 456 – 466.
- Skokovi, D., Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Soria, G., Julien, Y., Mattar, C., Cristóbal J., (2014). Calibration and Validation of land surface temperature for Landsat8-TIRS sensors. LPVE (Land Product Validation and Evolution, ESA/ESRIN Frascati (Italy). 28-30.
- Sobrino, J. A., Li, Z. L., Stoll, M. P., & Becker, F., 1996. Multichannel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *International Journal of Remote Sensing*, 17, pp. 2089–2114.
- Sun, Q., Tan, J., & Xu, Y., 2010. An ERDAS image processing method for retrieving LST and describing urban heat evolution: A case study in the Pearl River Delta Region in South China. *Environmental Earth Science*, 59, pp. 1047– 1055.
- ekertekin. A. ., Kuto lu, . H., Kaya, ., 2013. Uzaktan Algılama Verileri Yardımıyla Yer Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 14. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Tian, Q., & Xiangjun, M., 1998. Advances in study on vegetation indices. *Advances in Earth Sciences*, 13(4), pp. 327–333.
- URL 1 < <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>> erişim tarihi : 02.12.2015.
- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), pp.3025–3033.
- Xu, H., 2007. Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73, pp.1381–1391.
- Xu, H., 2008. A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29, pp.4269–4276.
- Xu, H., Ding, F., & Wen, X., 2010. Urban expansion and heat island dynamics in the Quanzhou Region, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2(2), pp.74–79.
- Yuan, F., & Bauer, M. E., 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106, pp.375–386.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S., 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24, pp. 583–594.