

İSTANBUL KENTİNDE YÜZEY KIA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

M. Dihkan^a, F. Karşlı^a, A. Güneroğlu^b, N. Güneroğlu^c

^a Harita Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon,
{ mdihkan@ktu.edu.tr, fkarşlı@ktu.edu.tr }

^b Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği, Deniz Bilimleri Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61530, Trabzon,
{ guneroglu@hotmail.com }

^c Peyzaj Mimarlığı, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon, { nayhan@ktu.edu.tr }

ANAHTAR KELİMELER: Yüzeysel KIA, İstanbul, Arazi Örtüsü/Kullanımı

ÖZET:

Kentsel büyüme ve gelişme dünya yüzeyinde önemli değişimlere yol açmaktadır. Bu durum kentsel yüzeylerin termal karakteristiğini etkilemekte ve arazi yüzey sıcaklıklarında önemli değişimlere sebep olmaktadır. Tüm bu etkileşimler sonucunda kentsel bölgelerde kendisini çevreleyen kırsal bölgelere nazaran yüzey sıcaklık değerlerinde meydana gelen bu değişim yüzey kentsel ısı adası (KIA) olgusunu ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde gelişen uzaktan algılama teknolojileri sayesinde kentsel ısı adası etkisi belirlenebilmektedir. Ayrıca arazi örtüsü/kullanımı (LULC) değişimi ile KIA arasındaki ilişki zamansal olarak incelenebilmektedir. Bu çalışmada 1984 ve 2011 yıllarına ait Landsat TM verileri kullanılarak İstanbul kenti için yüzey KIA etkisinin konumu, kapsamı ve şiddeti belirlenmiştir. Aynı zamanda ilgili bölgede yüzey KIA yoğunluk haritaları üretilmiş ve eş zamanlı LULC verisi Destek Vektör Makineleri (DVM) algoritması yardımıyla yapılmış sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilmiştir. Sonuç olarak İstanbul mega kentinin yoğun kentleşme faaliyetleri etkisi altında gelişmiş yüzey KIA karakteristiği ortaya koyulmuştur.

KEY WORDS: SUHI, İstanbul, Land Use/Cover

ABSTRACT:

Increasing urbanization rate has caused dramatic changes on earth surface. This effect can greatly alter thermal characteristics of the surface and may lead to changes in land surface temperature (LST). This phenomenon is characterized by natural temperature bias between rural and urban areas which is defined as surface urban heat island (SUHI). Thanks to developing remote sensing technologies the effect of SUHI can precisely defined. Moreover, corresponding land use/cover (LULC) change can be also modelled by optical sensors with thermal capabilities. In this study, Landsat TM images for the years 1984 and 2011 were analysed by considering spatial extent, magnitude and location of the SUHI in city of Istanbul. Satellite images were analysed for modelling SUHI effect as well as obtaining LULC structure by using support vector machine (SVM) algorithm. As a result, characteristics of SUHI for city of Istanbul was determined

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ve bölgesel ısınma süreçleri insan kaynaklı iklim değişiminin en önemli indikatörü olarak kabul edilmektedir (Muller vd., 2007; Hu ve Gia, 2010). Hızlı nüfus artışı, göç, yoğun ve plansız kentleşme faaliyetleri gibi insan kaynaklı aktiviteler sebebi ile metropol kentlerde uzun yıllar içinde arazi örtüsü ve kullanımında (LULC) önemli değişimler meydana gelebilmektedir. Bu durum aynı zamanda yüzeylerin termal karakteristiğini de değiştirerek yüzey enerji dengesini bozmaktadır (Muller vd., 2007; Hu ve Gia, 2010). İnsan kaynaklı bu etkileşim ve değişim süreçlerinin bir sonucu olarak Kentsel Isı Adası (KIA) olgusu ortaya çıkmaktadır (Oke, 1982; Oke, 1987).

Literatürde KIA etkisinin belirlenmesi amacıyla veri edinim şekline bağlı olarak iki farklı metodolojiden faydalanılmaktadır. Bunlardan ilki yersel tabanlı sabit istasyon ağlarından veya çeşitli vasıtalar ile transekt geçişlerden elde edilen in-situ veriler yardımı ile yapılan çalışmalardır (Ackerman, 1985; Tayanç ve Toros, 1997; Magee vd., 1999; Montavez vd., 2000; Wilby, 2003; Brazel vd., 2007; He vd., 2007). Bu tür çalışmalarda in-

situ verinin yüksek zamansal çözünürlüğü bir avantaj olmakla birlikte, konumsal çözünürlüğünün oldukça düşük olması

kentteki KIA etkisinin konumsal kapsam ve dağılımı gibi karakteristik özelliklerinin belirlenmesi amaçlandığında yeterli olamamaktadır. KIA yoğunluk ve konumsal dağılımının tespiti amacıyla kullanılan bir diğer yöntem ise, termal uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen arazi yüzey sıcaklıklarından (AYS) faydalanarak yapılan hesaplamalardır. Literatürde KIA etkisi, bu yöntemle ortaya koyulması durumunda yüzey KIA etkisi olarak da tanımlanmaktadır (Voogt ve Oke, 1998). Bu çalışmada yüzey KIA etkisi üzerinde durulacaktır.

Günümüzde uzaktan algılama teknolojileri sayesinde elektromanyetik spektrumun uzun dalga kızılötesi (far-infrared) ve termal kızılötesi bölgelerinde yer yüzeyinden yansıyan ışınlar kaydedilebilmekte ve hızla büyüyen kentsel alanlara ilişkin termal ortam başarılı bir biçimde gözlemlenebilmektedir (Doussset ve Gourmelon, 2003). Son yıllarda literatürde birçok araştırmada uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yüzey KIA etkisinin varlığı, yoğunluğu, konumsal yayılımı ve arazi örtüsü

karakteri ile arasındaki ilişki düzeyi irdelenmiştir (Roth vd., 1989; Aniello, 1995; Weng, 2001; Voogt ve Oke, 2003; Stathopoulou ve Cartalis, 2007; Sobrino vd., 2013).

30 yılı aşan zamansal bir periyotta bu amaç için yeterli konumsal çözünürlükte ve global kapsam düzeyinde veri temini gerçekleştirmekte olan Landsat platformları yüzey KIA etkisini ortaya koyabilecek ve LULC ile ilişkisini analiz edebilecek veri setlerini sunmaktadır (Rajasekar ve Weng, 2009). Bu sebeple çalışmada yüzey KIA etkisinin tespiti ve karakterizasyonu amacı ile Landsat TM platformunca elde edilmiş veri setlerinden faydalanılmıştır.

Yüzey KIA etkisi altındaki bir kentte kentsel bölge ve onu sarmalayan kırsal bölge arasında sıcaklık farklılığı mevcut olup bu farklılık konuma bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte bu farklılık ve konuma dayalı değişimi yüzey KIA varlığını temsil edebilmesi için belli bir karakteristik yapıda olması gereklidir. Bu aşamada yüzey KIA etkisinin doğası gereği kırsaldan kentsel bölgeye doğru konuma bağlı AYS değişiminin gauss fonksiyonu ile temsil edilmesi beklenmektedir (Streuter, 2002). Bu çalışmada gerçekleştirilen analizler de Streuter (2002) tarafından önerilen yaklaşıma uygun olarak gerçekleştirilmiş ve İstanbul kenti için 1984 ve 2011 yıllarındaki yüzey KIA varlığı incelenmiştir.

1.1 Çalışma Alanı ve Veri

Kıyasal metropol kentler kendilerine has ticari, ekonomik, sosyo-kültürel ve çevresel özellikleri sebebiyle önemli göç çekim merkezleridir. İstanbul kenti Asya'ya Avrupa'ya bağlayan ve coğrafi olarak en uzun kıyı şeridinde sahip yarımada karakteristiği ile bu tür kıyasal metropollerin eşsiz örneklerindedir. Özellikle son yüzyılda hızla artan nüfusu ile İstanbul, Türkiye'nin ve dünyanın en kalabalık metropollerinden birisi haline gelmiştir. Nispeten kısa zamanda meydana gelen bu hızlı nüfus artışı beraberinde kentin LULC yapısının da insan kaynaklı olarak önemli oranda değişmesine sebep olmuş ve kent merkezinde geçirimsiz yüzey miktarını önemli düzeyde arttırmıştır. Söz konusu nüfus artışı kentin konumsal alanı da hesaba katılarak değerlendirildiğinde kentleşme yoğunluğunun oldukça yüksek boyutlara vardığı anlaşılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, İstanbul metropolü kıyasal kentlerde KIA karakterinin ortaya koyulması ve bunun LULC değişimi ile ilişkisinin irdelenmesi yönleriyle eşsiz bir örnektir (Şekil. 1). Çalışmada bu amaçla kıyasal İstanbul metropolü çalışma alanı olarak seçilmiş ve kent üzerindeki yüzey KIA etkisi tespit edilerek modellenmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanı

Bu sebeple çalışmada Landsat TM uydusu tarafından kaydedilmiş görüntü verilerinden faydalanılmıştır. Söz konusu veri setleri UTM projeksiyonunda, WGS84 Datumunda, WGS84 referans elipsoidi kullanılarak rektifiye edilmiş olarak GLCF arşivlerinden temin edilmiştir. Bu aşamada Landsat TM platformunun 1984 – 2011 yılları arasında kapsayan yüksek zamansal çözünürlükteki veri arşivi incelenerek yüzey KIA etkisinin zamansal analizi için en uygun görüntü periyotları belirlenmiştir (Tablo 1). Yüzey KIA oluşumu üzerindeki mevsimsel etkileri minimize etmek adına Haziran döneminde alınmış birbirine en yakın tarihli görüntülerden faydalanılmıştır.

Görüntü Alım Tarihi / Saati (GMT)
12 Haziran 1984 / 08:13
05 Haziran 1987 / 08:09
14 Haziran 2002 / 08:21
12 Haziran 2007 / 08:39
17 Haziran 2009 / 08:33
23 Haziran 2011 / 08:34

Tablo 1. Görüntü periyotları

2. METODOLOJİ

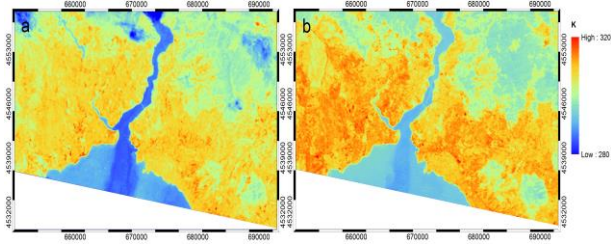
2.1 Radyometrik ve Atmosferik Düzeltmeler

Çalışmada ilk aşamada GLCF veri tabanlarında LPGA 12.1.3 yazılımı ile işlenmiş ve Level 1G düzeyinde kaydedilmiş görüntü verisine ait DN değerleri güncel kalibrasyon parametreleri yardımı ile (Top of the Atmosphere) TOA radyans değerlerine dönüştürülmüştür (Chander vd., 2009). Bu işlemin ardından kalibre edilmiş TOA radyans değerleri görünür, yakın ve orta kızılötesi bantlar için TOA reflektans değerlerine dönüştürülmüştür.

Farklı sensör veya aynı sensör tarafından kaydedilmiş multi zamansal veriler ile çalışıldığında daha doğru sonuçlar elde etmek için atmosferik düzeltme bu çalışma için öngörülmüştür. Atmosferde meydana gelen etkileşimlerin dalga boyuna bağlı olarak önemli farklılıklar göstermesi sebebiyle görünür, yakın ve orta kızılötesi bölgelerde (0.45 – 2.35µm) kaydedilen bantlar için ayrı, termal kızılötesi bölgede (10.5 – 12.5µm) kaydedilmiş bant için ayrı olmak üzere iki aşamalı bir atmosferik düzeltme stratejisi uygulanmıştır.

AYS'nın termal görüntülerden elde edilmesi sürecinde atmosferik etkilerin giderilmesi daha sağlıklı ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır (Franca ve Cracknell, 1994).

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. Sonuç olarak atmosferik düzeltme işlemi için gerekli olan tüm değişkenler kullanılarak çözüm gerçekleştirilmiş ve AYS değerleri hesaplanmıştır. Şekil. 2'de 1984 ve 2011 periyotlarına ilişkin AYS haritaları görülebilmektedir.

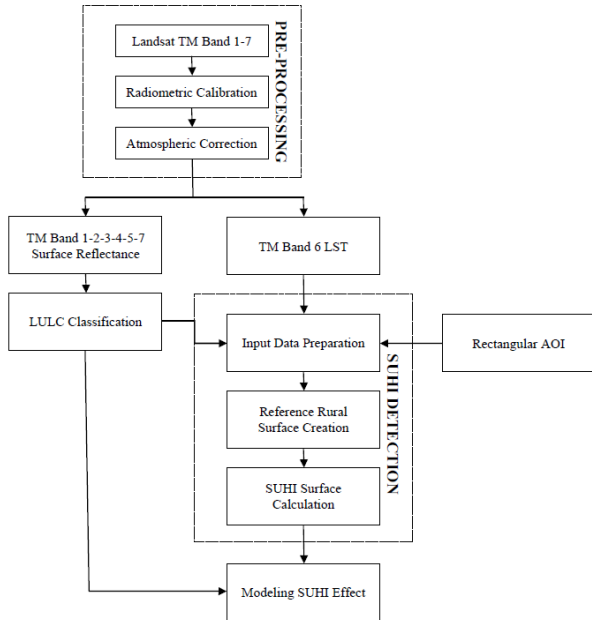


Şekil 2. (a) 1984 ve (b) 2011 periyotlarına ilişkin üretilen AYS haritaları

2.2 Sınıflandırma

Çalışmada LULC veri setlerinin üretilmesi sürecinde CORINE tanımlamaları dikkate alınarak kentsel geçirimsiz yüzeY, bitki örtüsü, çıplak toprak ve tarımsal bölgeler ve su olmak üzere 4 temel arazi örtüsü kullanım sınıfı belirlenmiştir. Tüm veri setleri için Section 3.2.1 de elde edilmiş çok boyutlu yüzeY reflektansları veri setleri DVM sınıflandırma algoritması yardımıyla kontrollü olarak sınıflandırılmış ve LULC verileri üretilmiştir. Yakın dönemlerde DVM yaklaşımı sınıflandırma probleminin çözümünde olduğu gibi, çoğunlukla doğrusal olarak ayrılmayan uzaktan algılanmış veri setlerinin sınıflandırılması amacıyla da başarıyla kullanılmaktadır (Pal ve Mather, 2005). Şekil 2'de 1984 ve 2011 periyotları için üretilmiş LULC haritaları görülebilmektedir. Bu aşamada özellikle ilerleyen adımlarda yüzeY KIA tespit ve modellenmesi prosedürü içinde kullanılmak üzere üretilen LULC veri seti ayrı katmanlar ikili görüntü formatında kaydedilmiştir.

Bu çalışmada Streutker (2002) yaklaşımı temel alınarak yüzeY KIA tespiti ve konumsal yoğunluk haritaları elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemleri ve gerekli girdi paramterelerini gösteren akış şeması aşağıdaki gibidir (Şekil 3)



Şekil 3. Akış Diyagramı

2.3. YüzeY KIA YüzeYinin Hesaplanması

Kentsel ortam AYS (T) bileşenleri Streutker (2003) tarafından matematiksel olarak (1) eşitliğinde ifade edilmiştir. Eşitlikte

KIA etkisi altındaki bir kentte AYS, kırsal referans sıcaklık yüzeYü $T_{KIRSAL}(x,y)$ ve yüzeY KIA sıcaklık yüzeYinin $T_{YüzeY KIA}(x,y)$ kendisi olmak üzere iki temel bileşene ayrılmaktadır.

$$T(x,y) = T_{RURAL}(x,y) + T_{SUHI}(x,y) \quad (1)$$

Önerilen yaklaşımda (1) genel eşitliğinde $T_{YüzeY KIA}$ bileşeni Gauss yüzeY modeli (2) ile ifade edilen yüzeY KIA etkisini içermektedir.

$$T_{KIA}(x,y) = a_0 \exp \left[-\frac{((x-x_0)\cos\phi + (y-y_0)\sin\phi)^2}{0.5a_x^2} - \frac{((y-y_0)\cos\phi - (x-x_0)\sin\phi)^2}{0.5a_y^2} \right] \quad (2)$$

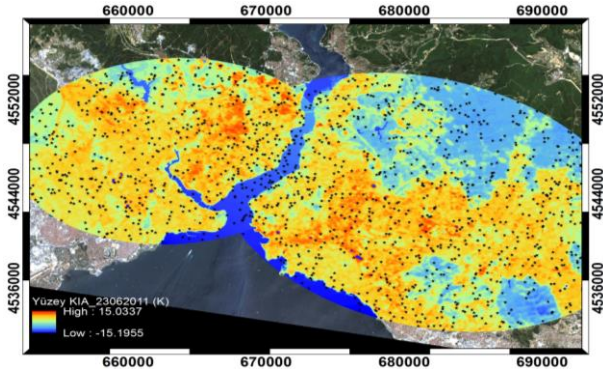
Eşitlikte; a_0 kentsel ısı adasına ilişkin genlik değerini, x_0 ve y_0 merkez konumunu, a_x ve a_y x ve y yönünde konumsal yayılımını, ϕ yönelim açısını ifade etmektedir.

Algoritmada ilk aşamada $NT = T - T_{RURAL}$ ifadesi yardımı ile sıcaklık anomalileri elde edilmektedir. NT değerlerine Gauss yüzeYinin en küçük kareler algoritmasına göre fit edilmesi sonucu yüzeY KIA oluşumuna yönelik tüm parametreler elde edilebilmektedir. Bu aşamada NT yüzeYinin Gauss yüzeY modeline uygunluk düzeyi (R^2) aynı zamanda kentteki yüzeY KIA etkisinin varlığının, konumsal kapsamının ve şiddetinin tespitinde önemli oranda etkilidir. Kentsel bölge karmaşık heterojen arazi örtüsü sebebi ile gerçekçi olmayan ve sürekli bir yapıda temsil edilemeyen lokal ve geçici aşırı yüksek NT değerlerine sahip olabilmektedir. Bu gürültüler fit işlemini olumsuz yönde etkilemekte ve R^2 değerini düşürmektedir. Oysaki yüzeY KIA karakteristiği tüm kentsel yüzeYde kırsaldan kentsel ve daha yoğun kentsel bölgelere doğru gauss modelinde bir süreklilik ifade eden bir yapıda olmalıdır. Bu aşamada Streutker (2003) çalışmasında bu etkileri göz önünde bulundurmadan doğrudan fit işlemini uygulamıştır. Bu elde edilen KIA parametrelerinin temsil gücünü azaltmaktadır. Önerilen yaklaşımda bu olumsuzluğun önüne geçmek için NT yüzeYine σ ve R^2 değerlerine bağlı olarak iteratif gauss alçak geçirgen konumsal filtre ile yumuşatma ve eş zamanlı en küçük kareler yüzeY fit işlemi uygulanmaktadır. Bu aşamada algoritmada iterasyon öncesinde NT yüzeYine (2) modeli fit edilmekte ve R^2 düzeyi incelenmektedir. 0.7 R^2 değerinden küçük eşleşme düzeyi var ise iterasyon süreci başlamaktadır. İterasyona başlamadan başlangıç değeri olarak NT için σ hesaplanmakta ve bu değere bağlı $s=4\sigma$ olacak şekilde uygulanacak simetrik Gauss alçak geçirgen konumsal filtre parametreleri türetilmektedir. Buradan hareketle gauss kernel fonksiyonu $[2s \times 2s]$ boyutunda ve s standart sapma değeri ile oluşturulmakta ve NT yüzeYine konvole edilmektedir. Konumsal filtre yardımıyla yumuşatılmış NT yüzeYi için tekrar σ değeri hesaplanmakta ve bu yüzeYe en küçük kareler tekniği ile (2) modeli fit edilmektedir. Elde edilen yeni R^2 değeri 0.7 değerine eşit veya büyükse ve aynı zamanda filtrelenmiş yüzeY için yeniden hesaplanan σ değeri 0.5 değerinden küçükse iterasyon bitirilmekte ve nihai yüzeY KIA modeli elde edilmektedir. Bu şartlar sağlanmadığı takdirde iki R^2 değeri arası fark pozitif ve 0.01 den büyükse $s=1.5s$ olarak hesaplanıp iterasyon bu değer ile optimum durum sağlanıncaya kadar devam etmektedir. Bu sayede gauss yüzeY modeline uygun olarak yüzeY KIA varlığı irdelenebilmekte ve konumsal parametreleri tespit edilebilmektedir.

Bu aşamada elde edilmiş olan Gauss yüzeyi 1K eşğine göre değerlendirilerek yüzey KIA etkisi altındaki bölgenin dış sınırları elde edilmiştir. Kullanılan 1K eşik metodu Streutker (2002), (2003) ve Anniballe vd., (2014) tarafından önerilmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Bu işlemin ardından yüzey KIA etkisi altındaki bölgeyi ifade eden yüzey KIA maskesi otomatik olarak üretilmekte ve bu bölgedeki NT yüzey KIA yoğunluk değerleri ile birlikte kaydedilmektedir. Ayrıca eş zamanlı olarak tespit edilen yüzey KIA'ya ilişkin yüzey KIA parametreleri de meta veri olarak kaydedilmektedir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada İstanbul kıyasal metropolü için önerilen metod yardımıyla yüzey KIA varlığı araştırılmış ve kantitatif olarak ortaya koyulmuştur. İstanbul kentinin boğaz geçişinden kaynaklanan kendine has coğrafi karakteristiği ve yoğunluğu sebebi ile kentte Avrupa ve Anadolu bölgeleri olmak üzere iki ayrı yüzey KIA analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu elde edilen yüzey KIA parametreleri Tablo 2 de, yüzey KIA yoğunluk haritaları şekil 4'de ortaya koyulmuştur.



Şekil 4. Yüzey KIA yoğunluk haritaları ve regresyon analizine ilişkin piksel konumlarını gösteren noktalar

Bölge	İSTANBUL (ASYA)	
Periyot	12.06.1984	23.06.2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	---	5.37
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	---	681630, 4543000
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) ⁰	---	17.2469
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	---	30991, 21298
R^2	---	0.53
Bölge	İSTANBUL (AVRUPA)	
Periyot	12.06.1984	23.06.2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	---	4.96
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	---	663132, 4547598
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) ⁰	---	15.8499
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	---	23676, 16094
R^2	---	0.57

Tablo 2. Yüzey KIA parametreleri

Tablo 2 incelendiğinde 1984 – 2011 yılları arasında yüzey KIA şiddetinde önemli oranda artış meydana geldiği görülmektedir.

Bununla birlikte 1984 periyodunda her iki bölgede de yüzey KIA varlığı tespit edilemezken 2011 yılında hem Avrupa hem de Asya bölgesinde yüzey KIA tespit edilmiştir.

Bununla birlikte İstanbul kıyasal metropolünde uzun yıllar boyunca meydana gelmiş olan LULC değişimi ile yüzey KIA oluşumu arasındaki etkileşim düzeyini ortaya koyabilmek amacıyla OLS (Ordinary Least Square) çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar ortaya koyulmuştur. Bu amaçla öncelikle Bölüm 2.3'de elde edilmiş olan yüzey KIA yoğunlukları, yüzey KIA etkisi altındaki bölgeyi ifade eden yüzey KIA maskesi ve LULC veri setleri GIS ortamında kurulan veritabanına ilave edilmiştir. İstatistiksel analiz sürecinde kullanılmak üzere tüm veri setleri 210m GSD boyutuna çıkarılmıştır. Bir sonraki aşamada yüzey KIA yoğunluk değerleri bağımlı değişken dört LULC yoğunlukları bağımsız değişken olarak seçilmiş ve yüzey KIA varlığı tespit edilmiş olan tüm periyotlarda OLS çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Kurulan regresyon modelleri için elde edilen R^2 düzeyleri genel olarak değerlendirildiğinde 1984 yılında herhangi bir yüzey KIA varlığı tespit edilemediği için karşılaştırmalar 2011 yılı için yapılmış ve katsayılar Tablo 3'de verilmiştir. Sonuç olarak kurulan tüm regresyon modellerinde yüzey KIA etkisi LULC değişkenlerine dayalı olarak başarıyla modellenenmiş ve oldukça yüksek ilişki düzeyleri ortaya koyulabilmiştir. Özellikle yüzey KIA etkisinin ortaya çıktığı 2011 yılı için değişen LULC karakteri ile birlikte artan geçirimsiz yüzey miktarlarının ve azalan vejetasyon oranının yüzey KIA oluşumu üzerinde doğrudan etkisi olduğu ortaya koyulmuş ve bu durum kantitatif olarak modellenmiştir.

Bölge	Örnek Nokta Sayısı	R^2	Regresyon Katsayıları ($p < 0.05$)			
			Sabit	Geçirimsiz Yüzey	Vejetasyon	Çıplak Toprak Tarım Alanı
İst. Asya	893	0.91	-9.584591	0.191038	0.075939	0.168623
İst. Avr.	513	0.89	-11.713797	0.185852	0.111208	0.154157

Tablo 3. 2011 periyodunda LULC değişkenlerine ilişkin regresyon katsayıları

Çalışmada 2011 yılında tespit edilen yüzey KIA'nın kentlerde rastlanılan aşırı ve plansız kentleşme ile doğru orantılı olduğu düşünülmektedir. Bu konu kentsel planlama ve dönüşüm projelerinde dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Bunun yanında tespit edilen yüzey KIA'nın plansız kentleşme için bir indikatör olarak kullanılabilmesi de düşünülmektedir. Son olarak yüzey KIA etkisinin azaltılması amacı ile kentlerde yeşil altyapının artırılması ve hava koridorlarının açık bırakılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 112Y033 numaralı bilimsel araştırma projesi olanakları kullanılarak yürütülmüştür.

KAYNAKLAR

- Moons, T., 1997. Report on the Joint ISPRS Commission III/IV Workshop "3D Reconstruction and Modelling of Topographic Objects", Stuttgart, Germany <http://www.radiig.informatik.tu-muenchen.de/ISPRS/WG-III4-IV2-Report.html> (28 Sep. 1999).
- Ackerman, B., 1985. Temporal March of the Chicago heat island. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 24, 547-554.
- Aniello, C., Morgan, K., Busbey, A., Newland, L., 1995. Mapping micro urban heat islands using Landsat TM and a GIS. *Comparative Geoscience* 21, 965-969.
- Anniballe, R., Bonafoni, S., Pichierri, M., 2014. Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 150, 163-171.
- Brazel, A., Gober, P., Lee, S.J., Grossman-Clarke, S., Zehnder, J., Hedquist, B., Comparri, E., 2007. Determinants of changes in the regional urban heat island in metropolitan Phoenix (Arizona, USA) between 1990 and 2004. *Clim Res* 33:171-182. doi:10.3354/cr033171.
- Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L., 2009. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors, *Remote Sensing of Environment* 113, 893-903.
- Dousset, B., Gourmelon, F., 2003. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and land cover. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58, 43-54.
- 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.
- He, J.F., Liu, J.Y., Zhuang, D.F., Zhang, W., Liu, M.L., 2007. Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity. *Theoretical and Applied Climatology* 90, 217-222.
- Hu, Y., Jia, G., 2010. Influence of Land-Use Change on Urban Heat Island Derived from Multi-Sensor Data. *International Journal of Climatology* 30: 1382-1395.
- 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.
- Magee, N., Curtis, J., Wendler, G., 1999. The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theor. Appl. Climatol.* 64, 39-47.
- Montávez, J.P., Rodriguez, A., Jiménez, J.I., 2000. A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology* 20: 899-911.
- Muller, C., Eickhout, B., Zaehle, S., Bondeau, A., Cramer, W., Lucht, W. 2007. Effects of changes in CO₂, 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.
- Oke, T.R., 1987. *Boundary Layer Climates*, 2nd edn. Routledge, London, New York, 288 - 294.
- Pal, M., Mather, P.M., 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 26(5), 1007-1011.
- 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.
- Roth, M., Oke, T.R., Emery, W.J., 1989. Satellite-derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing* 10, 1699 - 1720.
- Sobrino, J.A., Oltra-Carió, R., Sòria, G., Jiménez-Muñoz, J.C., Franch, B., Hidalgo, V., Mattar, C., Julien, Y., Cuenca, J., Romaguera, M., Gómez, J.A., Miguel, E., Bianchi, R., Paganini, M., 2013. Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of Madrid by thermal remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 34(9-10), 3177-3192.
- Stathopoulou, M., Cartalis, C., 2007. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy* 81, 358-368.
- Streutker, D.R., 2002. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas, *International Journal of Remote Sensing* 23(13), 2595-2608.
- Streutker, D.R., 2003. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing of Environments* 85(3), 282-289.
- Tayanc, M., Toros, H. 1997. Urbanization Effects on Regional Climate Change in the Case of Four Large Cities of Turkey. *Climatic Change* 35: 501-524.
- 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.
- Voogt, J.A., Oke, T.R., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86, 370-384.
- Weng, Q., 2001. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing* 22(10), 1999-2014.
- Wilby, R.L., 2003. Past and projected trends in London's urban heat island. *Weather* 58, 251-260.