KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN UZAKTAN ALGILAMA İLE TESPİTİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ: İZMİT KENTİ ÖRNEĞİ

Deniz GERÇEK[1],Neslihan TÜRKMENOĞLU BAYRAKTAR[2]

[1]Dr., Kocaeli Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 41300, Anıtpark Yerleşkesi, İzmit, Kocaeli, deniz.gercek@kocaeli.edu.tr
[2]Yrd. Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 41300, Anıtpark Yerleşkesi, İzmit, Kocaeli, nturkmenoglu@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Kentsel alanlarda yoğun yapılaşma ile birlikte yeşil alanların ve buharlaşma yüzeylerinin beton, asfalt vb. malzemelerle kapanması, yerel ve bölgesel ölçeklerde iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Kentsel Isı Adası olarak bilinen bu olgu, yoğun yerleşim bölgelerinde sıcaklığın kent saçağında kalan kırsal alanlar ve doğal peyzaj alanlarından birkaç derece yüksek olması şeklinde gözlenir. Bu fark geceleri daha belirgin hale gelmektedir. Meteorolojik koşullar, hava kirliliği, soğutmadan kaynaklanan ısı enerjisi salınımı gibi faktörlerle ilişkili olduğu kadar, kentsel yerleşim dokusu ve yapı malzemelerine de bağlı olan Kentsel Isı Adası etkisi, sağlık sorunları, enerji tüketiminde artış, hava kirliliği ve su sıkıntısı gibi olumsuzluklara sebep olmaktadır.

Kentsel Isı Adası (KIA) etkisi uzun yıllar meteorolojik yer istasyonlarından veya sabit ya da gezici araçlardan yapılan termometre ölçümlerine dayalı olarak gözlenmiştir. Ancak Uzaktan Algılama teknolojilerinin ortaya çıkışı ve yaygınlaşması, yüzey sıcaklığı ile ilgili parametrelerin mekansal dağılımının daha iyi temsil edilmesini sağlayarak KIA gözlemine yeni boyutlar ve araştırma olanakları kazandırmıştır.

Bu çalışmada son yıllarda yoğun bir yapılaşma sürecine girmiş olan İzmit kentinde KIA etkisi Uzaktan Algılama ile elde edilen verilere dayalı olarak incelenmektedir. Landsat 8 ETM ve MODIS uydu görüntülerinden faydalanılarak son yıllarda KIA'nın İzmit kentsel alanındaki uzamsal dağılımı ve değişimi analiz edilmektedir. Uydu görüntülerinin termal bantlarından çeşitli dönüşümler ile elde edilen 'Yüzey Sıcaklığı' haritasının, yüzey bitki örtüsü ve geçirmezlik parametreleri olan Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI) ve Normalize fark geçirmezlik indeksi (NDISI) ile ve güneşlenme oranı ile ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada ayrıca yüzey sıcaklığı gündüz ve gece olmak üzere MODIS uydusundan da elde edilmektedir. Özellikle geceleri belirgin olarak gözlenen KIA etkisinin MODIS gece 'yüzey sıcaklığı' verisindeki ne şekilde ortaya çıktığı gözlenmiştir. Buna göre gece görüntüsünde Yüzey sıcaklığı haritasının zirve verdiği bazı bölgelerde fazla ısınmaya sebep olan etkenler topografik ve çevresel faktörlerin yanında, kent formu, kentsel yerleşim dokusu, bina yerleşimi açısından değerlendirilmiş, Kentsel Isı Adası etkisini azaltmak üzere komşuluk ölçeğinde ve kent ölçeğinde kentsel karar mekanizmalarının alabileceği önlemlere ilişkin öneriler getirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kentsel Isı Adası, Uzaktan Algılama, Termal bant, yüzey sıcaklığı

DETECTION AND ASSESSMENT OF URBAN HEAT ISLAND EFFECT WITH REMOTE SENSING: CASE STUDY OF IZMIT

ABSTRACT

Along with the dense settlement activities, sealing of green land and evaporation surfaces by impenetrable materials such as asphalt, concrete, etc. causes climate change in local and regional scales in cities. This phenomenon, known as Urban Heat Island is observed as temperatures several degrees higher in densely urbanized areas compared to the rural landscape at the urban fringe. The difference is particularly higher at nights. Urban Heat Island effect that is related with urban form and pattern and buildingmaterials so far as it is associated with meteorological conditions, air pollution, excess heat from cooling, and it causes negative effects such as health problems, higher energy demand, air pollution, and water shortage.

Urban Heat Island (UHI) effect has long been studied by ground-based observations or fixed thermometers or thermometers mounted on vehicles. With the advent and proliferation of remote sensing technology, better representations of spatial variation of surface heat became possible which has provided new avenues for the observation capabilities and research on UHIs.

In this study, UHI effect in İzmit city that has been subject to dense settlement activities during the past years is explored based on remote sensing data. Spatial distribution and variation of UHI in İzmit in last years is analyzed using Landsat 8 ETM and MODIS images. Relationship between 'surface temperature' data derived by various transformations from thermal bands of the images and the vegetation cover and impermeability parameters; Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI), and solar insolation were analyzed. UHI in this study is also derived from MODIS data as day and night..'UHI effect that is especially observed at night was explored with surface temperature map

derived from MODIS night. Factors that cause increased temperatures where peaks in surface temperature data were observed were evaluated for their relationship with urban form, urban pattern, building locations and some recommendations are proposed to the attention of the decision makers in the neighborhood scale and urban scale as measures to be takento mitigate Urban Heat Island effect.

Keywords: Urban Heat Island, Remote Sensing, thermal band, surface temperature

1. KENTSEL ISI ADASI VE UZAKTAN ALGILAMA

Kentleşmeye bağlı olarak yoğun yerleşim bölgelerinde sıcaklık, kent saçağında kalan kırsal alanlar ve doğal peyzaj alanlarından daha yüksek olarak gözlenir. Bina malzemeleri, çatı, asfalt, beton ve kaldırım yollar güneşten diğer doğal yüzeylere göre daha fazla enerji emer. Bu enerji bir yandan da sıcaklık olarak yayılır ve yayılım geceleri de devam eder. Kentsel alanların etraftaki doğal alanlardan daha sıcak olmasına neden olan bu sıcaklık olayı Kentel Isı Adası olarak tanımlanmıştır (Oke, 1982). Bununla birlikte, geçirgen olmayan kent yüzeyleri suyun hızla drene olmasına sebep olur ve toplam buharlaşmayı (Evapotranspiration – ET) azaltır (Kim, 1992; Owen vd., 1998). Bu da ısı kaybını kısıtladığından, Kentsel Isı Adasının oluşumuna katkıda bulunur (Oke 1987). Ayrıca, insan kaynaklı faaliyetler; araç egzozları, soğutmadan kaynaklı sıcaklık salınımı vb. KIA ya katkıda bulunurken, kent formu, kent dokusu, bina malzemeleri ve termal özellikleri de KIA oluşumunda etkili olmaktadır (Taha, 1992; Yamamoto, 2006). KIA etkisi özellikle sıcak iklimlerde yaşayan insanlar için yılın belli bir döneminde yaşam konforu eşiğini aşacak seviyelere ulaşabilmektedir. Dolaylı olarak da, sağlık sorunları, soğutma için tüketilen enerji miktarında artış, hava kirliliği ve su sıkıntısı gibi olumsuzluklar ortaya çıkartmakta, hatta bölgesel ölçekte iklim değişikliklerine sebep olabilmektedir (Yang vd., 2011). Bu nedenle de tespit edilmesi, takibi ve giderilmesine yönelik iyileştirici kararların alınması anlamında kent çalışmalarında çok uzun bir zamandır gündemde olan konularından biri olmuştur (Howard, 1833). Kensel Isı Adası (KIA) etkisi uzun yıllar meteorolojik yer istasyonlarından veya sabit ya da gezici araçlardan yapılan termometre ölçümlerine dayalı olarak çalışılmıştır. Ancak Uzaktan Algılama teknolojilerinin ortaya çıkışı ve yaygınlaşması, yüzey sıcaklığı ile ilgili parametrelerin mekansal dağılımının daha iyi temsil edilmesini sağlayarak KIA gözlemine yeni boyutlar ve araştırma olanakları kazandırmıştır. KIA etkisinin Uzaktan Algılama ile tespitine ve takibine yönelik çalışmalardan Gallo vd., 1995; Lo vd., 1997; Owen vd., 1998; Voogt ve Oke, 2003; Nichol, 2005; Tiangco vd., 2008; Weng, 2009; Liu ve Zhang, 2011öne çıkanlardan bazılarıdır.

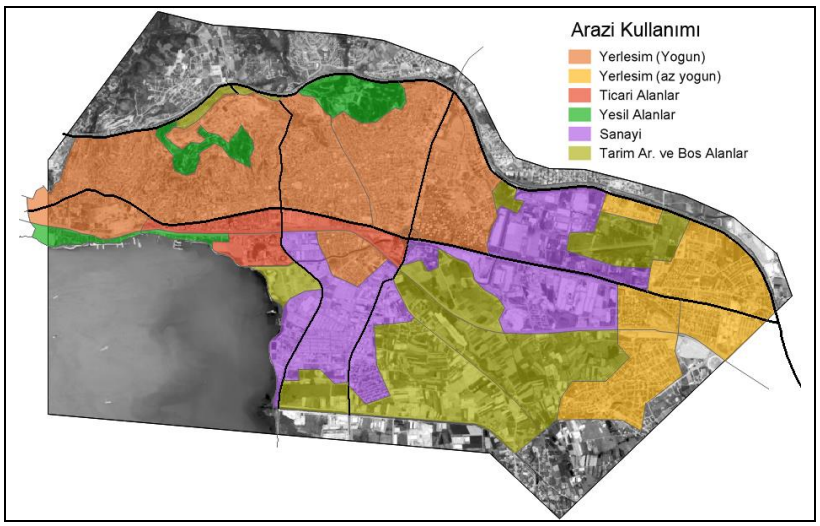
Kentsel Isı Adaları atmosferin farklı katmanları ve farklı yüzeyleri için farklı özelliklerdedir ve farklı oluşum mekanizmalarına sahiptir. Kenti etkileyen üç tip ısı adası bulunmaktadır bunlar; 1) Örtü tabakası ısı adaları (Canopy layer heat island – C-UHI), 2) Sınır tabakası ısı adaları (boundary layer heat island– BL-UHI), 3)Yüzey ısı adaları (surface heat island–S-UHI)'dır (Voogt ve Oke, 1997). Yeryüzeyinin hemen üzerinden ortalama bina yüksekliği seviyelerine kadar olan ısı adasıdır. Daha üstte yer alan ve daha üst ölçekte tanımlanan sınır tabakası ısı adasına (BL-UHI) kadar devam eder. CL-UHI standart meteoroloji istasyonlarından ve gezici istasyonlardan yerden takribi 2 m yüksekte ölçülebilirken, BL-UHI daha yüksekten, ölçüm kuleleri ve balonlarla ölçülür. Yüzey ısı adası ise (S-UHI), yüzeydeki sıcaklığın ölçümüne dayanır, yani yüzeyden yayılan termal radyans ölçülmektedir. Diğer iki ısı adası türünden farklı olarak S-UHI Uzaktan Algılama teknikleri ile ölçülebilir (Voogt ve Oke 2003). Kentsel Isı Adası denince akla Örtü tabakası ısı adası (CL-UHI) gelmelidir. Ancak CL-UHI'yi ölçmekte meteorolojik istasyonlar yetersiz kalmaktadır ve ekstra sabit veya gezici istasyonların kurulması ve işletilmesi pahalı ve zordur. Bu nedenle CL-UHI'yi direkt olarak etkileyen S-UHI'nin Uzaktan Algılama gibi mekansal dağılımın modellenebildiği etkin yöntemlerle araştırılması efektif bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Clinton ve Gong, 2013). S-UHI ile kent ölçeğinde Kentsel Isı Adası modelleri oluşturulabilse de S-UHI ve CL-UHI arasında kompleks bir ilişki vardır ve bu ilişki sabit değildir (Vogt ve Oke, 2003). Yüzey sıcaklığı, yüzey materyallerine göre değişkenlik gösterirken, hava sıcaklığı (CL-UHI) pek fazla uzamsal değişim göstermez (US EPA, 2008). CL-UHI'nin oluşumunda etken rolü olduğu kadar bina içi, ve bina dışında kent sakinleri için konforsuz bir ortam oluşturacak sıcaklık yayılımına sebep olmasından ötürü S-UHI oldukça önemlidir (Vogt ve Oke, 2003). Yüzey sıcaklığı kent iklimi ve mikrokliması ile ilgili çalışmalarda en önemli bileşeni oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Kentsel Isı Adası oluşumunun direkt aktörlerinden olan yüzey Kentsel Isı Adası (S-UHI), 'yüzey sıcaklığı' parametresi olarak Uzaktan Algılama teknikleri ile incelenmektedir. S-UHI, sıcaklığın kent yüzeyindeki uzamsal değişimi olarak haritalanmaktadır.

1.1 Çalışma Alanı

Çalışmada ele alınan İzmit kenti, İstanbul'a yakınlığı, deniz ve karayolu- demir yolu ulaşım potansiyeli, iklimsel ve topografik imkânlarının sağladığı avantajlarla değişime uğrayıp 1960'lı yıllardan itibaren sanayi kimliği ile ön plana çıkmıştır. Sanayileşme ile birlikte kent nüfusu da artış göstermiş, günümüzün sanayi, barınma, ticaret gibi işlevleri barındıran yoğun kent dokusu oluşmuştur. İl bazında nüfus artışı son nüfus sayımının yapıldığı 2011 yılı için Türkiye ortalamasının 2 katıdır (Url-1). Kent nüfusundaki artıştaki en önemli faktörün sanayiye bağlı göç, ikincil

faktörün ise üniversite öğrencilerinin barınma ihtiyaçları olduğu düşünülmektedir. Kent çeperlerinde ve içinde iklim yapısına bağlı olarak geçmişte yeşil bir dokuya sahip olan İzmit'in yerleşim, sanayi, ticaret, kamusal alanların yoğunlaştığı özellikle yeni yerleşime açılan alanlarında da aktif ve pasif yeşil oranının azaldığı elde edilen yeşil yoğunluğu haritalarında görülmektedir. Kocaeli ağır sanayi nedeniyle hava kirliliğinin büyük miktarda yaşandığı bir kentimizdir. Kocaeli ili genelinde özellikle Sakarya-İzmit –Gebze hattındaki yoğun sanayi faaliyetine bağlı hava kirliliği beraberinde sera etkisi adı verilen normal koşullarda olması gerekenin biraz daha üzerinde sıcaklıkların gözlenmesine neden olabilmektedir. İzmit kenti 40^0 41' K, $30^0$31' koordinatlarında, Marmara körfezi kıyısında kent merkezi ve yakın çevresi deniz seviyesinde olmak üzere kuzeye doğru yükselen bir coğrafyada konumlanmıştır (Şekil 1). Genel olarak ılıman, yazları ise sıcak iklime sahiptir. Ortalama en düşük sıcaklık 3.2^0C ile Ocak ayında, Ortalama en yüksek sıcaklık 29.5 ^{0}C ile Temmuz ve Ağustos aylarında görülmektedir (Url-2). Rüzgarlar kışın kuzey ve kuzeydoğudan, yazları ise kuzeydoğudan eser (Url-3).



Şekil 1. İzmit Kenti Arazi kullanım haritası (Landsat Pankromatik bandı üzerinde)

1.2 Veriler ve Materyaller

Çalışmada Uzaktan Algılama ile elde edilen üç temel veri kullanılmıştır: Bunlardan ilki Landsat serisinin son uydusu olan Landsat 8 ETM'dir (Url-4). Landsat uydusu bilinen en uzun misyonlu orta çözünürlüklü multispektral yer gözlem uydusudur. Görünür, kızılötesi ve termal olmak üzere çeşitli bant aralıklarında periyodik (16 günde bir) görüntü sağlamaktadır. Çalışmada kullanılan Landsat 8 ETM ise önceki serilere göre veri kalitesi, bant sayısı vb. üstünlüklere sahiptir ve Şubat 2013 tarihinden itibaren görüntü sağlamaktadır. Bu görüntüden yüzey sıcaklığı verisi, bitki ve geçirmezlik indeksleri elde edilmiştir. İkinci veri olan MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)'den (Url-5) ise daha sık (1-2 günde bir) fakat düşük çözünürlükte görüntü sağlamaktadır. Bu uydunun MODA11 setinden gündüz/gece düşük çözünürlüklü yüzey sıcaklığı elde edilmiştir. Ayrıca yüzey sıcaklığı ile yakın ilişkisi olduğu düşünülen güneşlenme miktarını temsil etmek amacıyla gerek duyulan eğim ve bakı verilerinin elde edilmesinde kullanılan uydu kaynaklı SRTM'den (Shuttle Topographic Terrain Mission) (Url-6) üçüncü veri seti olarak yararlanılmıştır.

İzmit kentini kapsayan çalışma alanına ait görüntüler 11.07.2014 tarihinde ait yerel saatle 11:40' da alınmış Landsat görüntüsü ve bu görüntü ile zamansal olarak örtüşen 11.07.2014 tarihli MODIS gündüz ve gece görüntüleridir. Ayrıca çalışmada değerlendirme ve karşılaştırma amaçlı meteorolojik verilerden faydalanılmıştır. Bunlar 11.07.2014 tarihine ait Marmara Hava İzleme İstasyonundan ve logger termometre yerel istasyondan elde edilmiş olan saatlik sıcaklık ölçümleridir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, uydu görüntülerinin termal bantlarından faydalanılarak yüzey sıcaklığı temel veri olarak elde edilecektir. Yüzey sıcaklığının bitki yoğunluğunu temsil eden ve uydu görüntülerinin görünür ve kızılötesi bantlarından elde edilen bitki indeksi (NDVI) ile olan ilişkisi, yüzey geçirmezlik indeksi (NDISI) ile olan ilişkisi korelasyon analizi ile ortaya konmuştur. Yüzey sıcaklığının güneşlenme oranı ile ilişkisi incelenmiş, ayrıca yüzey sıcaklığının kentsel kullanımlara göre farklılık gösterip göstermediği araştırılmıştır. Özellikle MODIS uydusundan gece elde edilen yüzey sıcaklığının zirve yaptığı bölgeler tespit edilerek bu bölgelerde KIA'ya neden olabilecek faktörler; kent formu, kent dokusu vb. özellikleri değerlendirilmiştir.

2.1 Yüzey Sıcaklığı

2.1.1 Gündüz yüzey sıcaklığı (orta çözünürlük)

Yüzey sıcaklığını verisinin oluşturulmasında 11.07.2014, 11:40'da elde edilmiş olan Landsat 8 ETM 100 x100 m çözünürlüklü termal bantlar temel olarak kullanılmıştır. Yüzey sıcaklığı verisi üç aşamalı olarak hesaplanmıştır.

1. DN değerlerinin Radyans değerlerine (L_λ) dönüşümü

Uydu görüntülerine ait piksel değerlerinin (DigitalNumber-DN) uydu tarafından ölçülen spektral radyans değerlerine dönüştürülmesi işlemi Eşitlik 1 ve 2'deki gibidir.

$$L_\lambda = \text{'gain'} * DN + \text{'bias'} \quad (1)$$

Yani;

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Buna göre;
L_λ = spectral radyans(Watts/(m2 * srad * μm))
M_L = Banda özelölçeklemeçarpanfaktörü
A_L = Banda özelölçeklemetoplamafaktörü
Q_{cal} = Kuantizevekalibreedilmişstandartpikseldeğerleri (DN)

Radyans ölçekleme faktörleri 'gain' ve bias' indirilen Landsat 8 ETM uyduları ile birlikte gelen metadata dosyasındaki kayıtlardan elde edilmiştir (M_L -3.3420E-04, A_L - 0.01)

2. Radyans değerlerinin Parlaklık Sıcaklığına (T) dönüştürülmesi

Uydu sensörüne atmosferden geçerek gelen radyans değerlerinin uyduya ulaşan parlaklık sıcaklığına dönüştürülmesi için radyans değerleri ve termal dönüşüm katsayılarının kullanıldığı Eşitlik 3'den yararlanılır (Url-7).

$$T = K_2 / ln \frac{K_1}{L_\lambda + 1} \quad (3)$$

Buna göre;
T = uyduya ulaşan parlaklık sıcaklığı(K)
L_λ = spektral radyans (Watts/(m2 * srad * μm))
K_1 = Banda özel termal dönüşüm sabiti
K_2 = Banda özel termal dönüşüm sabiti

Termaldönüşümsabitleriindirilen Landsat 8 ETM uyduları ile birlikte gelen metadata dosyasındaki kayıtlardan elde edilmiştir (K_1 -774.89, K_2 - 1321.08).

3. Parlaklık Sıcaklığının Yüzey Sıcaklığına (T_s)Dönüştürülmesi

Uyduya erişen sıcaklık değerleri atmosferik geçirgenlik, yayım kabiliyeti (emissivite), ışığın kırınım özellikleri vb. etkilendiğinden yer yüzeyindeki gerçek sıcaklık değerlerinden farklıdır. Uyduya erişen sıcaklık değerlerini yüzey sıcaklığına (Ts) dönüştürmek için Eşitlik 4 'te verilen Planck sabitinin kullanıldığı emissiviteye göre düzeltilmiş dönüşüm formülünden yararlanılmıştır (Artis ve Carnahan, 1982).

$$Ts = T/1 + \frac{I*T}{a} * ln(e) \quad (4)$$

Yayılan radyansın merkez dalga boyu Landsat 8 ETM teknik özelliklerinden elde edilmiştir, bant 10 için I= 10.8 μm)

a = h*c/K (1.438´ 10-2 mK = 14380 μm),
h = Planck'ssabiti (6.26´ 10^{-34}J.sec),
c = ışık hızı (2.998´ 10^8 m/sec),
K = Stefan Bolzmann sabiti (1.38´ 10-23 J/K).

e = yayım kabiliyeti (emissivite) yüzeyin nemliliğine göre değişim göstermektedir bu nedenle sabit bir değer yerine uzamsal değişkenliğinin hesaplanması gerekir. Emissivitenin yüzey örtüsüne göre farklı değerler aldığı bilinmektedir, bu anlamda bitki indekslerinin, ör. NDVI emissivite ile ilişkilendirilmesi mümkündür (Vande Griend ve Owe, 1993, Brunsell ve Gilles, 2002). Bir sonraki bölümde bahsedilen NDVI bitki indeksi emissivite elde etmek üzere kullanılmıştır. Buna göre;

-0.185 $\geq NDVI$ ise bu yüzeyler su kütleleridir ve yüksek nemliliğe sahiptir,
e= 0.995

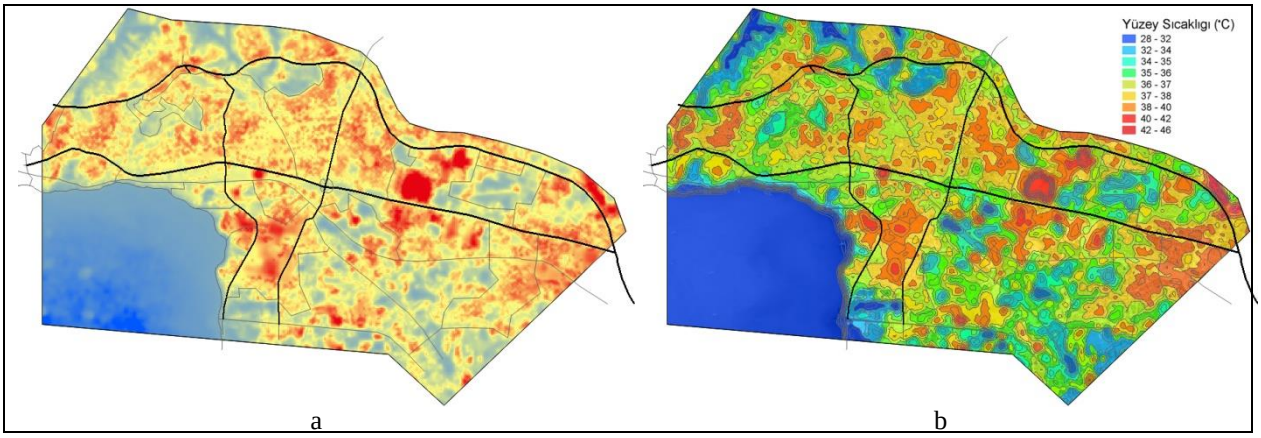
-0.185 $\leq NDVI <$ 0.157 ise bu yüzeyler toprak, kaya veya yapay yüzeylerdir,
e=0.970

0.157 $\leq NDVI <$ 0.727 ise bu yüzeyler karışımlıdır, e hesaplaması Eşitlik 5'deki gibidir (Sobrino et al., 2008).

$$e = 1.0098+0.047* ln (NDVI) \quad (5)$$

0.727 $< NDVI$ ise bu yüzeyler yoğun bitki örtüsüdür,
e =0.990

Elde edilen sıcaklık değerleri Kelvin (K)'dan C'ye dönüştürülmüştür. Buna göre çalışma alanı için elde edilen Landsat 8 ETM görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklığı ve izohips haritaları Şekil 2'deki gibidir.



a b

Şekil 2. a) Yüzey sıcaklığı (raster), b) yüzey sıcaklığı konturları

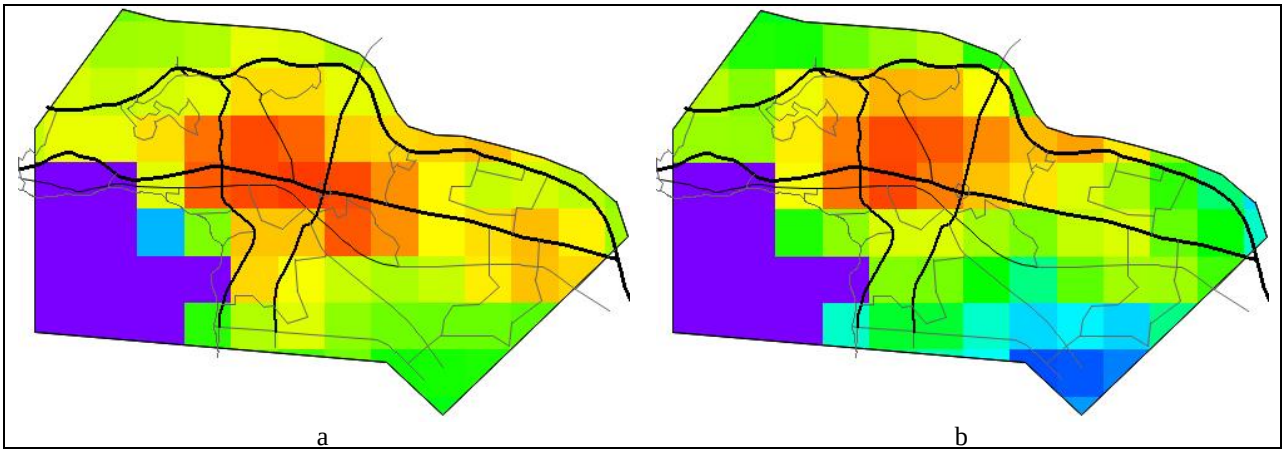
2.1.2 Gündüz/Gece yüzey sıcaklığı (düşük çözünürlük)

MODIS MODA11setinde bulunan MODIS day ve MODIS night gün içinde gündüz ve gece elde edilmiş görüntülerdir. Piksel değerleridir (DN) yüzey sıcaklığını ifade eder, ancak bu değerler sıcaklık birimine dönüştürülmemiş ham değerlerdir. DN değerlerinin yüzey sıcaklığına çevrimi için 0.02 faktörü ile çarpılarak ölçeklenmesi gerekmekedir. Elde edilen sıcaklık değerleri K cinsinden olacağı için ayrıca ^{0}C'ye çevrilir (Eşitlik 6).

$$LST\ MODIS = Q_C*.02 - 273 \quad (6)$$

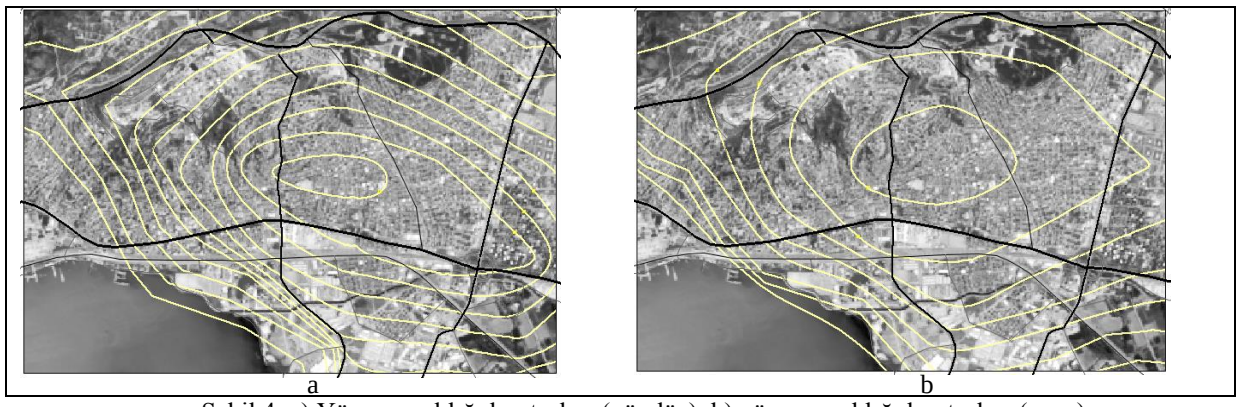
Q_c = Kuantize edilmiş standart piksel değerleri (DN)

Buna gore elde edilen gündüz ve gece yüzey sıcaklıkları Şekil 3 a ve b'de verilmiştir. Yüzey sıcaklığı raster verisinden ise daha kolay ve anlaşılır bir temsil biçimi olan sıcaklık konturları elde edilmiştir (Şekil 4).



a b

Şekil 3. a) Yüzey sıcaklığı (gündüz), b) yüzey sıcaklığı (gece)



Şekil 4. a) Yüzey sıcaklığı konturları (gündüz), b) yüzey sıcaklığı konturları (gece)

2.2 Yüzey İndeksleri

2.2.1 Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI)

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)yakın kızılötesi ve kırmızı bantların farkının normalize edilmesi ile elde edilen bir bitki indeksidir (Eşitlik 7). Değerleri-1, +1 aralığındadeğişir. Bitki örtüsü yakın kızılötesi bandında yüksek, kırmızı bantta ise düşük reflektans vermektedir. Bu nedenle bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda biyokütleye bağlı olarak 1'e yakın piksel değerleri gözlenir. Yüzey seyrek bitki örtüsü dokusu ile kaplıysa NDVI ≈0.2-0.5 aralığında, yoğun bitki örtüsü dokusu ile kaplı ise (orman alanları gibi) NDVI ≈0.5–1 aralığında, çıplak kaya, asfalt ve beton yüzeylerin yakın kızıl ötesi ve kırmızı bant reflektansları yaklaşık eşit olduğu için "0" civarında olacaktır. Su yüzeylerinde ise, kırmızı band yüksek, yakın kızıl ötesi düşük reflektans verdiği için NDVI değeri-1'e yaklaşmaktadır (Şimşek ve Şengezer, 2012). Çalışma Alanına ait NDVI Şekil 5a'da verilmiştir.

$$\text{NDVI} = (NIR - K) \ / (NIR + K) \quad (7)$$

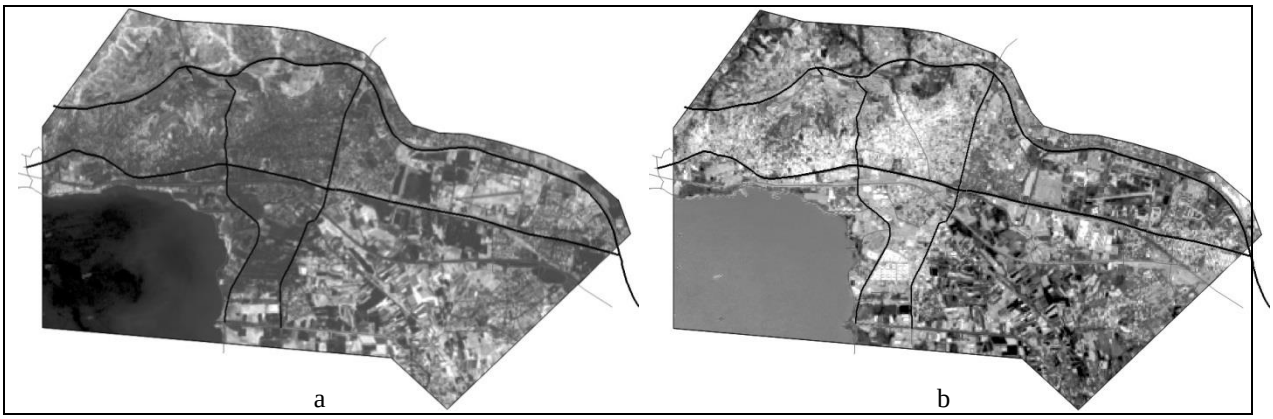
NIR = yakın kızılötesi bant
K = kırmızı bant

2.2.2 Normalize fark geçirmezlik indeksi (NDISI)

Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI), kısa dalga Kızılötesi ve yakın kızılötesi bantların normalize edilmesi ile elde edilan bir yüzey indeksidir (Eşitlik 8). Özellikle kentsel alanlarda yüzeylerin geçirmezliğini temsil etmekte kullanılır. Geçirmez yüzeyler (impervious surfaces), kısa dalga kızılötesi bantlarda yüksek reflektans gösterirler ancak, yakın kızılötesi bantta düşük reflektans gösterirler. Çalışma Alanına ait NDISI Şekil 5 b'de verilmiştir.

$$\text{NDISI} = (SWIR1 - NIR) \ / (SWIR1 + NIR) \quad (8)$$

SWIR 1= Kısa dalga kızılötesi bant (1.57 - 1.65 µm))
NIR = yakın kızılötesi bant



Şekil 5. a) Bitki İndeksi – NDVI, b) geçirmezlik indeksi NDISI

Yüzey sıcaklığı ile bitki yoğunluğunu gösteren NDVI arasındaki korelasyon: ~ -0.61,Yüzey sıcaklığı ile yüzey deki geçirmez yüzeylerin yoğunluğunu gösteren NDISI arasındaki korelasyon: ~0.58 olarak tespit edilmiştir. Her iki ilişkideki korelasyon katsayısı istatistiki olarak güvenilir ve anlamlıdır.

2.3 Güneşlenme Oranı

Güneşlenme yada güneş alma oranı (Solar Insolation-SI) güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı ile ilgili olarak yüzeylerin ısınma miktarı ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle yüzey sıcaklığının bitki örtüsü ve diğer yersel değişkenlerden bağımsız olarak direkt etkileyen faktördür. Güneşlenme oranı Eşitlik 9'daki gibi hesaplanabilir (ESRI, 2002).

$$SI: 255[\cos(90\text{-}Z)\sin(\alpha)\cos(\beta\text{-}A) + \sin(90\text{-}Z)\cos(\alpha)] \quad (9)$$

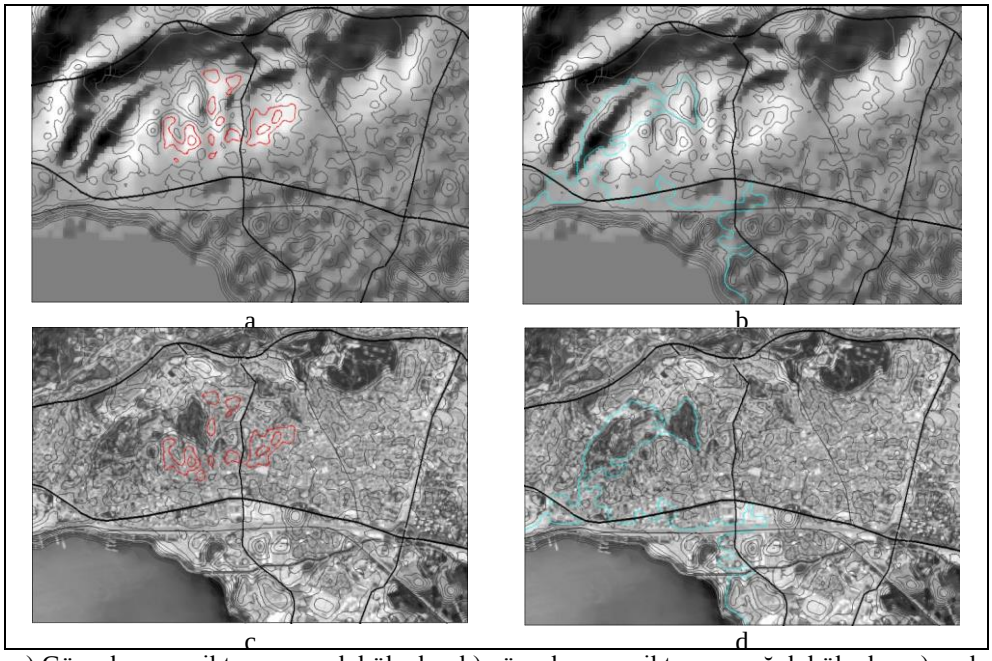
Z güneş zeniti
A güneş azimutu
α eğim ve
β bakıdır.

Güneşlenme miktarı güneşin konumu, yüzeyin dünya üzerindeki konumu, yüzeyin yönü ve gölgelenme ile ilgilidir. Güneş zenith ve azimuth açıları İzmit merkezi için ve Landsat görüntüsünün alındığı tarih ve saat için aşağıdaki gibidir:

Z: 64.,2^0
A:131.7^0
(Url-8)

Eğim ve bakı ise SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) sayısal yükseklik verisinin sırasıyla 1. ve 2. Türevi olarak elde edilmiştir. Yüzey sıcaklığı ve güneşlenme oranı arasında 0.67 korelasyon tespit edilmiştir.

Güneşlenme oranının uzamsal değişimine bakıldığında, yüzey sıcaklığının yüksek olarak gözlendiği bölgelerin güneşlenme oranının yüksek olduğu yüzeylerle örtüştüğü söylenebilir (Şekil 6 a). Ancak güneşlenme oranı yüksek olduğu halde soğuk alanlar da bulunmaktadır (Şekil 6 b). Bu alanların uydu görüntüsünde nereye düştüğü incelendiğinde bitki örtüsünün yoğun olduğu daha koyu olan bölgelerle örtüştüğü, dolayısıyla, ısınan yüzeyler olmalarına rağmen yüzey örtüsü nedeni ile fazla ısınamadıkları gözlenmiştir (Şekil 6 d). Sıcak bölgelerin ise kentsel yapılaşmanın yoğun olduğu merkezi alanlarında olduğu görülür (Şekil 6 c).

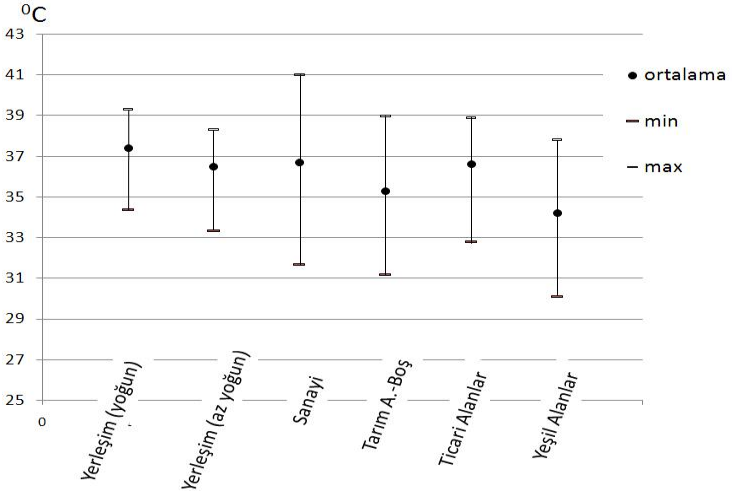


Şekil 6. a) Güneşlenme miktarı ve sıcak bölgeler, b) güneşlenme miktarı ve soğuk bölgeler, c) uydu görüntüsü (Landsat pankromatik) ve sıcak bölgeler, d) uydu görüntüsü (Landsat pankromatik) ve soğuk bölgeler

3. SONUÇLAR

Yüzey sıcaklığı verisi öğlen saatinde elde edilen Landsat uydu görüntüsünün termal bantlarından hesaplanmıştır. Buna göre, çalışma alanında yüzey sıcaklığı 30-46 ^{0}C arasında değişmektedir. Yüzey sıcaklığı ile bitki yoğunluğu arasında negatif, yüzey sıcaklığı ile geçirmezlik indeksi arasında pozitif korelasyon gözlenmiştir. Buna göre, bitki yoğunluğu arttıkça yüzey sıcaklığı azalır, çünkü daha fazla toplam buharlaşmaya neden olacağı için bitki ile örtülü yüzeylerde kaybedilen enerji soğumaya sebep olur. Geçirmezlik değeri arttığında ise, ısınmaya ve ısının korunmasına neden olan kaplayıcı malzemelerin oranı ve kütlesi arttığı için yüzey sıcaklığı artar. Güneşlenme miktarı yüzey sıcaklığı ile yakından ilişkilidir ancak, yüzey sıcaklığını belirleyen tek etmen değildir. Özellikle bitki örtüsü yüzey sıcaklığını kontrol eden önemli bir faktör olarak gözlenmiştir. Buna göre güneşlenme nedeni ile fazlaca

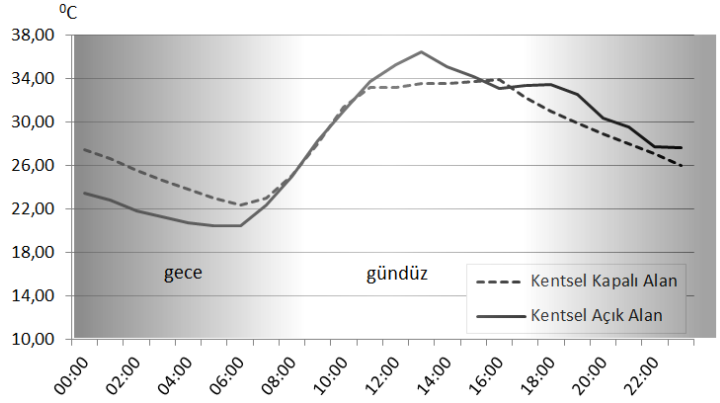
ısınan bölgelerde bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlar daha soğuk kalabilmişlerdir. Benzer biçimde, fazla güneşlenmeyen bazı alanların da yapı malzemesinden dolayı çok fazla ısınabildiği görülmüştür. Yüzey sıcaklığı, kentsel kullanımlara göre de farklılık gösterebilmektedir. Çalışma alanı için bu durum, kentsel kullanımlardan her biri için ortalama, en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri hesaplanarak ortaya konmaktadır. Buna göre, en yüksek sıcaklık yoğun kentsel yerleşim alanlarında, en düşük sıcaklık ise yeşil alanlarda gözlenmektedir. Sıcaklık olarak en fazla değişkenlik, açık ve kapalı alanların bir arada bulunduğu sanayi alanlarındadır (Şekil 7).



Şekil 7. Kentsel kullanımlara göre min., max. ve ortalama sıcaklık değerleri

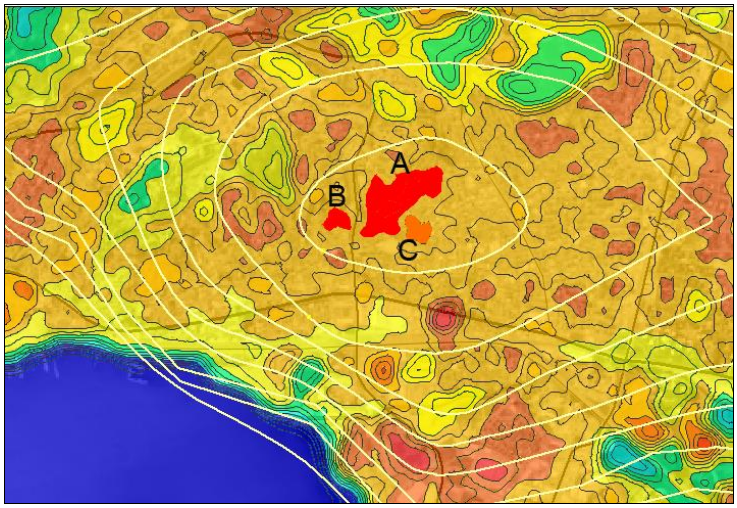
Çalışma alanında iki adet meteorolojik ölçüm istasyonundan ölçüm alınmıştır. Bunlardan biri saat bazında sıcaklık ve diğer hava koşulları ile ilgili bilgi sağlayan ve kent merkezinin çeperinde kalan otopark (Real otopark) kenarına yerleştirilmiş olan Marmara Hava Kalitesi izleme istasyonudur. Diğeri ise sürekli ölçüm alabilen sıcaklık ölçüm cihazıdır ve çalışma ekibi tarafından Kocaeli Üniversitesinin merkez kampüsüne yerleştirilmiştir.

İstasyonlara konumları itibariyle sırasıyla kentsel açık alan ve kentsel kapalı alan istasyonları denmiştir. Bu istasyonlardan elde edilen ölçümler Landsat uydu görüntüsünün elde edildiği saatte (11:40) sırasıyla 33.2 ^{0}C ve 33.5 ^{0}C dir. Landsat görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklığı ise bu istasyonların bulunduğu konumda sırasıyla 35.9^{0}C ve 36.1^{0}C'dir. Meteorolojik ölçüm ve yüzey sıcaklığı arasında yaklaşık 3 ^{0}C fark bulunmaktadır. Bunun hava ve yüzey sıcaklığı arasındaki olağan farktan kaynaklandığı düşünülmektedir. İki farklı istasyondan elde edilen sıcaklık değerlerinin ise gün içerisinde birbirinden farklılaştığı gözlenmiştir. Buna göre gündüz saatlerinde elde edilen ölçümler birbirine oldukça yakınken, gece saatlerinde bu fark artmaktadır. Açık alanda, kent merkezinde kalan konuma göre geceleri daha fazla soğuma meydana gelmektedir. Kent merkezindeki binalarla çevrili alandaki gece sıcaklığının açık alandakine göre farkının 4 ^{0}C'ye kadar çıktığı gözlenmektedir, bu da kentsel ısı adası etkisinin varlığına işaret etmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Ölçüm istasyonları 11.07.2014 tarihli sıcaklık değerleri

Yüzey sıcaklığı verisinde çok yüksek değerler veren alanların bir kısmının fabrika vb. gibi büyük binalara ait metal malzemenin kullanıldığı çatılar olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla bu bölgeler sıcaklık odaklarından ziyade, fazla ısınan malzemeler olarak değerlendirilmelidir. Yüzey sıcaklığının Kentsel Isı Adası oluşumuna etkisi incelenirken daha düşük çözünürlüklü ama sıcaklık odaklarına dair daha sağlıklı bilgi vereceği düşünülen MODIS yüzey sıcaklığı verisinden yararlanılmıştır. Özellikle gece yüzey sıcaklığı verisi ortam sıcaklığı düşmesine rağmen hala sıcak kalan bölgeleri işaret etmesi bakımından KIA etkisini tanımlamakta önem kazanmaktadır. Buna göre gündüz yüzey sıcaklığının zirve yaptığı bölgelerin düşük çözünürlüklü gece yüzey sıcaklığı verisindeki sıcak alanlarla örtüşen kısımlarına odaklanılmıştır. A, B ve C bölgesi olarak işaretlenen bu kritik bölgelerde ısınmaya sebep olabilecek etmenler incelenmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Gece yüzey sıcaklığının yoğunlaştığı bölge ile gündüz sıcaklıklarının zirve yaptığı bölgelerin ilişkisi (koyu kırmızı alanlar (A, B, C) örtüşmenin görüldüğü kritik alanlardır)

A ve B bölgeleri kentin kuzeye doğru yükseltisi artan yamaçlarındadır. C bölgesi ise daha düz bir bölgede yer almaktadır. A ve B bölgelerinin ortak özelliği şehrin güneye bakan yamaçlarında kurulu sıkışık nizamlı ve düzensiz bir yapılaşma sergilemeleridir. Bu bölgelerde yollar oldukça dar (5-6 m), ortalama bina yükseklikleri ise 3-4 kattır. Dar sokaklar ve yoğun yapılaşma ile gökyüzü görüş oranı azalmakta, sokaklarda yatay yüzeylerden atmosfere salınan uzun dalga ışınım miktarının düşüşüne neden olabilmektedir. Kent merkezine oldukça yakın olan bu bölgede başta gecekondu tarzı bahçeli nizam şeklinde yapılan yapıların zaman içinde kat çıkma ile daha yüksek katlı binalara dönüştüğü bilinmektedir. Yatay ve dikey yayılma, yoğunluğu arttırmış, yeşil varlığını azaltmıştır. Yeşil alanlar bitkilerin sağladığı buharlaşma yolu ile soğutma etkisi ile ısı adalarının oluşumunu azaltmaktadır. Buharlaşmanın gerçekleştiği yüzeylerin azalması dış ortam sıcaklıkları yükselebilmektedir. Ayrıca, bu bölgeler güney bakılı oldukları için gün boyunca görece daha fazla güneşlenmeye maruz kalmakta ve daha fazla ısınmaktadır. Yüzey sıcaklığındaki artış yerel rüzgâr yönündeki hava sıcaklığını özellikle cepheden taşınım etkisi ile oluşan ısı transferlerine bağlı olarak cepheye yakın kısımlardaki hava sıcaklığını büyük ölçüde etkilemektedir (Rahdi, 2014).Yazın kuzeydoğudan esen rüzgarlar, bu bölgede yapıların oluşturduğu yeryüzü pürüzlülüğüne bağlı olarak ötelenmekte, sokaklarda etkin havalandırma sağlanamamaktadır. Hava akım miktarlarının azalması, rüzgar hızının, ve düşük sıcaklığa sahip kütlesel hava akımının sağlayabileceği soğutma imkanına da azaltmaktadır.

C bölgesinde ise daha farklı bir durum söz konusudur. Bu bölge kentsel yerleşim ve yol boyu ticaret alanlarının bulunduğu, İzmit kentinin eski merkezidir. Uzun yıllar yoğun yapılaşmanın etkisinde kalan bu bölgede bina kat yükseklikleri İzmit kenti ortalamasının üzerindedir, ancak buna rağmen, sıcaklığı bölgeden uzaklaştırabilecek olan yollar oldukça dardır. Yeşillik ise hiç yok denecek kadar azdır. Tüm bu faktörler kritik alan olarak işaretlenen bu bölgelerin etraflarında göre özellikle geceleri daha sıcak kalmalarına neden olmaktadır.

Isı adalarının saptandığı bölgelerde bu oluşma etki eden parametrelerin etki derecelerinin belirlenmesi ve önlem alınarak azaltılması gerek enerji tüketiminin azaltılması gerek bu yaşam alanlarında yaşayan kullanıcıların sağlık ve konfor gereksinimleri için gerekli olmaktadır. Bu sebeple söz konusu bölgelerde malzeme özellikleri kompozisyon, renk, doku, form, alt formları belirlenerek kaldırımların, yolların, çatıların ve cephelerin incelenmesi, kentsel form biçimlenişinin güneşlenme ve rüzgar alma potansiyeline etkisinin belirlenmesi, yeşil alan potansiyelinin arttırılmasının ısı adası miktarının azaltılmasına etkisini ortaya koyan çalışmaların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Artis, D. A., Carnahan, W. H., 1982, Survey of emissivityvariability in thermography of urban areas. Remote Sensing of Environment, 12, pp. 313-329.

Brunsell N.A., Gilles R., 2002, Incorporating Surface Emissivityinto a ThermalAtmosphericCorrection, PhotogrammetricEngineering& Remote Sensing, 68(12). pp. 1263-1269.

Clinton N.,Gong P., 2013, MODIS detectedsurface urban heatislandsandsinks: Global locationsandcontrols, Remote Sensing of Environment, 134, pp. 294-304.

ESRI, ARC/Info 7. 2002, EnvironmentalSystems. ResearchInstituteInc, Redlands, CA, USA.

Gallo K.P., Tarpley J.D., McNab A.L., Karl T.R., 1995, Assessment of urban heatislands: a satellite perspective. AtmosRes37:37–43

Howard L., 1833, Theclimate of Londonreducedfrommeteorologicalobservationsmade in the metropolis and various places around it, 2nd edn. A. Arch, Cornhill, Longman&Co.,London

Kim H.H., 1992, Urban heatisland. Int J Remote Sens13:2319–2336.

Kwarteng A., Small C., 2010. Chapter 14, Remote Sensing of Urban EnvironmentalConditions, eds. Rashed T.,Jurgens C., Remote Sensing of …Springer

Lo C.P., Quattrochi D.A., Luvall J.C., 1997, Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS toassessthe urban heatislandeffect. Int J Remote Sens18:287–304.

Liu L., Zhang Y., 2011, Urban Heat Island Analysis Using theLandsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong, Remote Sensing, 3., pp. 1535-1552.

Nichol J., 2005, Remote Sensing of Urban HeatIslandsbyDayandNight. PhotogrammetricEngineering& Remote Sensing, Vol. 71, No. 5, May 2005, pp. 613-621.

Oke, T.R., 1982, Theenergeticbasis of the urban heatisland. QuarterlyJournal of theRoyalMeteorologicalSociety, 108(455), 1–24.

Oke T.R., 1987, Boundarylayerclimates, 2nd edn. Methuen, London/New York, pp 262–302

Owen T.W., Carlson T.N., Gilles R.R., 1998, An assessment of satellite remotely sensed land cover parameters in quantitativelydescribingtheclimaticeffect of urbanization. Int J Remote Sensing19:1663–1681.

Radhi H., 2014, On the colours and properties of building surface materials to mitigate urban heat islands in highly productive solar regions, Building and Environment 72 , 162- 172.

Sobrino J.A., Jiménez-Muñoz J.C., Sòria G., Romaguera M., Guanter L., Moreno J., Plaza A., Martínez P., 2008, Land SurfaceEmissivityRetrievalFromDifferent VNIR and TIR Sensors, IEEE Transactions on Geoscienceand Remote Sensing, 46(2), pp. 316-327.

Şimşek Ç.K., Şengezer B., 2012, İstanbul Metropoliten Alanında Kentsel Isınmanın Azaltılmasında Yeşil Alanların Önemi, Megaron, 7(2), pp.116-128.

Taha, H., Sailor, D., Akbari, H., 1992, High Albedo Materials for Reducing Building Cooling Energy Use; Report No. LBL-31721; Lawerence Berkeley Laboratory: Berkley, CA, USA.

Tiangco M.,Lagmay A.M.F., Argete J., 2008, ASTER-basedstudy of thenight-time urban heatislandeffect in Metro Manila, International Journal of Remote Sensing, 29(10), pp. 2799-2818

Weng, Q., 2009., Thermalinfraredremotesensingfor urban climateandenvironmentalstudies: Methods, applications, andtrends. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 64: 335 - 344.

Yamamoto Y., 2006, Measurestomitigate Urban HeatIslands, QuarterlyReview no.18, ScienceandTechnologyTrends, Japan, January 2006, pp. 65-83.

Yang, X.,Hou, Y., Chen, B., 2011, Observed surface warming induced by urbanization in East China. Journal of GeophysicalResearch, 116(D14), 1–12.

Url-1, TUİK 2012. http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=10736 (son erişim: Eylül, 2014)

Url-2, DMİ, 2014. http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KOCAELI (son erişim: Eylül, 2014)

Url-3, Wiki, http://tr.wikipedia.org/wiki/Kocaeli (son erişim: Eylül, 2014)

Url-4, Landsat/USGS. http://landsat.usgs.gov/ (son erişim: Eylül, 2014)

Url-5, MODIS/NASA. http://modis.gsfc.nasa.gov/ (son erişim: Eylül, 2014)

Url-6, JPL, NASA. http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/ (son erişim: Eylül, 2014)

Url-7, http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php/ (son erişim: Eylül, 2014)

Url-8, http://www.solartopo.com/solar-orbit.htm(son erişim: Eylül, 2014)

Van de Griend A.A., Owe, 1993, On theRelationshipbetweenThermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index, International Journal of Remote Sensing, 14(6), pp. 1119-1131.

Voogt, J. A., Oke, T.R., 1997, Complete urban surfacetemperatures. Journal of AppliedMeteorology, 36, 1117–1132.

Voogt J.A., Oke T.R., 2003, Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment, 86:370-384.