



## Alan kullanım/arazi örtüsü ve bitki örtüsündeki değişimin arazi yüzey sıcaklığına etkisinin değerlendirilmesi: Aydın ili örneği

Birsen Kesgin Atak<sup>a,\*</sup> , Ebru Ersoy Tonyaloğlu<sup>a</sup> 

**Özet:** Dünya genelinde nüfusun artması, kentsel alanlarda bina, yol vb. gibi geçirimsiz yüzeylerin artmasını tetikleyerek iklim değişikliğinin yansısı ekosistemler, çevre ve insanlar üzerinde birçok olumsuz etkiye neden olmaktadır. Bu nedenle kentsel iklim araştırmaları önemli araştırma konularından biri olmaya başlamıştır. Buna bağlı olarak, farklı alan kullanımı / arazi örtüsü (AKAÖ) türlerinin ve bitki örtüsünün kentsel ısı adası (KIA) oluşumu üzerindeki etkilerinin nicel analizleri, kentsel planlama çalışmalarında büyük önem taşımaktadır. KIA oluşumu genel olarak arazi yüzey sıcaklığı (AYS) ile ölçülmektedir, bitki örtüsü ise havadan veya uydudan termal kızılötesi uzaktan algılama kullanılarak normalize edilmiş farksal bitki indeksi (NDVI) ile karakterize edilmektedir. Bu bağlamda, bu araştırma Aydın ilinde 1990-2017 yılları arasında AKAÖ, NDVI ve AYS'deki değişikliklerin etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu makalede, AKAÖ ve NDVI'nin AYS üzerindeki etkilerini ölçmek için uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi tabanlı çeşitli nicel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Bu bağlamda, Aydın ilinde yaz dönemi için 1990 (Landsat 5) ve 2017 (Landsat 8) yıla ait toplam on bulutsuz görüntü ile CORINE arazi örtüsü veri seti analizlerin ana materyallerini oluşturulmuştur. Araştırma sonucu, AKAÖ'deki bitki örtüsü yoğunluğunun/varlığının AYS üzerinde en güçlü etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Öte yandan, bitki örtüsü ve suyun varlığının (örneğin orman ve su ve sulak alanlar) hava sıcaklığının en yüksek olduğu durumda bile bu etkiyi azalttığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kentsel ısı adası, Arazi yüzey sıcaklığı, Landsat, NDVI, AKAÖ

## Evaluation of the effect of land use / land cover and vegetation cover change on land surface temperature: The case of Aydın province

**Abstract:** Rising population in the world triggered the increase of artificial surfaces like buildings, roads, etc in urban areas and has many negative impacts on climate change, ecosystems, environment, and people. Accordingly urban climatological research has been a significant research topic. Therefore, quantitative analyses of the impact of different land use / land cover (LULC) types and vegetation cover on the urban heat island (UHI) is very essential for urban planning. The UHI formation is generally measured by land surface temperature (LST), vegetation cover is characterized by Normalized Different Vegetation Index (NDVI) through the use of airborne or satellite thermal infrared remote sensing. In this context, this research aims to analyse the effects of changes in LULC, NDVI and LST between the years of 1990 and 2017 in Aydın, Turkey. In this paper, various quantitative analysis methods based on remote sensing and geographic information system have been used to measure the effects of LULC and NDVI on AYS. In this respect, the main materials of the analyses are composed of ten cloud free Landsat 5 in 1990 and Landsat 8 images in 2017 for the summer period in Aydın as well as the CORINE land cover data set. The results showed that decreasing vegetation cover in LULC had the strongest influence on the LST. On the other hand, the presence of vegetation and water especially woody patches (e.g. forest and water and wetlands) reduced this effect even the air temperature was highest.

**Keywords:** Urban heat island, Land surface temperature, Landsat, NDVI, LULC

### 1. Giriş

Küresel iklim değişikliği günümüzün en önemli sorunlarından biridir. Bu değişimin en önemli nedenleri, atmosferdeki karbon salınımının artması ve kırsal / kentsel alanlarda geçirimsiz yüzeylerin artmasıdır. Kentsel ve kırsal alanlarda artan nüfus, alan kullanımı / arazi örtüsünde (AKAÖ) önemli değişikliklere neden olmakta ve kent merkezi ile çevresinde çeşitli olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuz etkilerden en önemlilerinden birisi, kentsel ısı adası (KIA) olarak tanımlanan kentsel alanlardaki sıcaklığın, çevredeki kırsal alanlara göre daha

sıcak olmasıdır (Oke, 1973; Voogt, 2004; Weng vd., 2004). Kentleşme, ormanların yok edilmesi, sanayileşme gibi değişimler nedeniyle atmosferde sera gazlarının birikimi hızla artmakta ve bu da doğal sera etkisinin güçlenmesine neden olmaktadır (Türkeş, 2008). Temel olarak, doğal sera etkisi, dünyanın sıcaklık dengesinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır (Türkeş, 2008; Doğan ve Tüzer, 2011). Kentsel ortamlardaki atmosfer ve yüzey sıcaklıkları kırsal alanlara oranla genellikle daha sıcaktır. Bunun temel nedeni ise kentsel alanlardaki yüzey malzemelerinin, beton kütleler, asfalt yollar ve metal yüzeyler gibi yüksek ısı kapasitesi olan güneşten gelen ısıyı yansıtma özelliğine sahip,

✉ <sup>a</sup> Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Aydın

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): birsenatak@adu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 28.08.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 05.12.2020



**Citation** (Atıf): Kesgin Atak, B., Ersoy Tonyaloğlu, E., 2020. Alan kullanım/arazi örtüsü ve bitki örtüsündeki değişimin arazi yüzey sıcaklığına etkisinin değerlendirilmesi: Aydın ili örneği. Turkish Journal of Forestry, 21(4): 489-497.

DOI: [10.18182/tjf.786827](https://doi.org/10.18182/tjf.786827)

buharlaşmayan ve gözeneksiz kentsel malzemelerle kaplı olmasıdır (Stone ve Norman, 2006; Pal ve Ziaul, 2017). Diğer yandan bitki örtüsü ile kaplı veya doğal geçirgen malzemelerle kaplı olan yüzeyler güneş radyasyonunun büyük kısmını absorbe ettiği için kentsel alanlara oranla daha serindir (Pal ve Ziaul, 2017; Xiao vd., 2018).

Kentsel ısı adalarının modellenmesi ve kentlerdeki karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler temel olarak iki grup altında incelenmektedir. Birinci grup çalışmalar kent veya kırsal alanlarda hava sıcaklığı ölçümlerine dayanırken, ikinci grup çalışmalar arazi yüzey sıcaklığı (AYS) ölçümlerine dayanmaktadır (Streutker, 2003). Atmosferik KIA etkileri, yer temelli hava sıcaklığı ölçümleriyle tespit edilebilirken, yüzeysel KIA ise tipik olarak, termal uzaktan algılamanın kullanımına dayalı bir Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) ölçümü olarak karakterize edilmektedir (Chudnovsky vd., 2004; Yuan ve Bauer, 2007). Yer temelli hava sıcaklığı ölçümlerine dayalı çalışmalar genellikle meteorolojik gözlemlere dayalı olup, meteoroloji istasyonu verileri veya kurulan gezici ölçüm aletleri ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen iklim verilerinin modellenmesine dayanmaktadır (Magee vd., 1999; Unger vd., 2011). Diğer yandan AYS ölçümlerine dayalı çalışmalar uydu görüntüleri kullanılarak termal uzaktan algılama verileri ile sağlanmaktadır (Chudnovsky vd., 2004; Yuan ve Bauer, 2007; Oguz, 2013). AYS verileri, daha büyük alanlar için bir arazi yüzeyinden elde edilen ışınimsal sıcaklığına ilişkin eşzamanlı ve sürekli veri sağlamaktadır (Du vd., 2016).

Bölgesel iklim değişiminin anlaşılmasında büyük ölçüde geleneksel meteorolojik veriler kullanılmaktadır. Fakat son zamanlarda teknolojik gelişmelerle birlikte, meteorolojik verilerin veri ölçümünde ve teminindeki güçlük, maliyetin yüksek olması gibi nedenlerle araştırmacılar daha büyük avantajlara sahip kısa sürede veri temini ve analizine olanak sağlayan uzaktan algılamaya dayalı yüzey sıcaklığı analizlerine yoğunlaşmışlardır. Yüzeyle yayılan termal enerjinin atmosfere aktarılması nedeniyle genellikle AYS ile bitki örtüsü kanopi katmanındaki hava sıcaklıkları arasında önemli ölçüde ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle, AYS ölçümleri KIA kavramının güvenilir bir göstergesi olarak kabul edilmekte ve son yıllarda KIA çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. AYS'de yaşanan değişimler küresel iklim değişikliğini anlamak için sıklıkla kullanılan önemli bir bölgesel iklim göstergesidir ve bu nedenle tarım, hidroloji, ekoloji, çevre, iklim ve biyojeokimya araştırmalarında büyük bir öneme sahiptir. AYS ve KIA kavramlarına ilişkin birçok çalışma; AYS ve AKAÖ (Saaroni ve Ziv, 2003; Du vd., 2016), AYS ile parklar, bahçeler ve yeşil çatılar gibi belirli açık yeşil alan tipleri (Cao vd., 2010; Klein ve Coffman, 2015) arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Kentlerde AYS etkisi güneş yoğunluğu, AKAÖ özellikleri ve bitki örtüsünün yoğunluğundan etkilenmektedir. Voogt ve Oke (2003) yaptıkları çalışmada kentsel ve kırsal alanlar arasındaki gündüz yüzey sıcaklıklarındaki farklarının ortalama olarak 10 ila 15 °C'dir, ancak geceleri ikisi arasındaki yüzey sıcaklıklarındaki fark, yalnızca yaklaşık 5 ila 10°C arasında ortalama olma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. AKAÖ, madde ve enerji alışverişi için atmosfer ve biyosfer arasındaki bir ara yüzü temsil etmektedir ve AYS üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu pek çok araştırmada vurgulanmıştır. Bu nedenle, AKAÖ değişimleri ile bölgesel iklim değişimlerinin birbiri ile ilişkisinin araştırılması en yaygın

araştırma konularının başında yer almaktadır. AKAÖ değişimi, doğrudan arazi yüzeyinin fiziksel özelliklerinde değişikliklere neden olarak bölgesel iklimi belirleyen radyasyon, ısı ve su buharı değişimi gibi çeşitli faktörleri etkilemektedir. Ayrıca, AKAÖ değişimi, demografik değişimler ve bölgesel-kimyasal bileşimdeki değişimler gibi birbirine bağlı olan ve birbirini etkileyen etkilere sahiptir. Örneğin, AKAÖ'nde yaşanan değişimler zamanla karasal karbon stoklarında ve bunların döngülerindeki değişikliklere yol açarak, atmosferdeki sera gazı seviyelerindeki değişiklikler de dahil olmak üzere çeşitli sonuçlara yol açmışlardır. Bu nedenle, AYS alan kullanım değişimi arasındaki ilişkinin bölgesel olarak tespit edilmesi ve bu doğrultuda bölgesel planlama önerileri geliştirilmesi küresel iklim değişiminin önüne geçilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, AYS ve KIA üzerine yapılan çalışmalarda, bitki örtüsü varlığı, bolluğu ve yoğunluğunun kentsel ısı adalarının olumsuz etkilerinin azaltılmasında / giderilmesinde en önemli etmenlerden biri olduğu vurgulanmaktadır (Weng vd., 2004; Chen vd., 2006; Yuan vd. 2017). Bu kapsamda, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak çeşitli bitki örtüsü indeksleri elde edilmekte ve bitki örtüsünün değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu indekslerden birisi olan normalize edilmiş farksal bitki indeksi (NDVI) uydu görüntülerinden bitki örtüsünün tanımlanması için yaygın olarak kullanılmaktadır. NDVI sağlıklı bitki örtüsünden yansıyan radyasyonun, diğer farklı yüzey örtüsünden yansıyan radyasyona oranını ifade etmektedir (Aygün vd., 2016). NDVI değeri bir alandaki bitki örtüsünün yakın kızılötesi ve kırmızı bantlardaki farklı yansıtma değerlerine göre +1 ile -1 arasında değişir. NDVI sağlıklı bitki örtüsü varlığı için +1, hiç bitki örtüsü olmayan alanlar için -1 değerlerine sahip bir indekstir. Yaz aylarında yüksek NDVI değerleri (kış aylarına göre daha yüksek sağlıklı bitki örtüsü varlığı ve transpirasyona bağlı soğutma etkisine bağlı olarak) daha düşük arazi yüzey sıcaklıklarına karşılık gelmektedir (Julien vd., 2006; Karnieli vd., 2010). Diğer yandan geçirimsiz yüzeyler genellikle ulaşım ağları (caddeler, otoyollar, vb.) ile bina çatıları ile ilişkilendirilmekte olup bir alandaki kentleşme oranı olarak değerlendirilmektedir (Jennings vd., 2004; Xian ve Crane, 2006). Zhang vd. (2009), geçirimsiz yüzey oranının peyzajdaki mevsimsel değişimlerden daha az etkilendiğini belirterek; AYS, kentsel ve termal çevre arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde kullanılabilecek önemli bir indeks olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca, özellikle yaz aylarında, geçirimsizlik derecesi / yapı yoğunluğunun yüksek (veya fazla) olduğu kentsel alanlarda AYS değerlerinin kırsal alanlara oranla daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Kaplan vd., 2018).

Çalışma alanı olarak seçilen Aydın ili, özellikle son yıllarda nüfusun artmasına bağlı olarak yoğun kentleşme hareketlerinin yaşandığı; sanayi, tarım ve turizm gibi sosyo-ekonomik gelişmelerin ön planda tutulduğu önemli ve değerli kıyı illerimizden birisidir. Tüm bu gelişmelerin Aydın ilinin kentsel ve kırsal alanlardaki yüzey sıcaklığına etkisi, alan kullanımının veya bitki örtüsü yoğunluğunun ısı adası üzerindeki etkisi kent merkezinde olan etkileri ile ilgili çalışmalar yapılmış olsa da (Ersoy Tonyaloğlu, 2019), kent bütünündeki etkilerin birlikte değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda bu çalışmanın amacı, Aydın ili genelinde 1990 ve 2017 yılları arasında AKAÖ ve bitki örtüsündeki (NDVI) değişimlerin yüzey sıcaklığına

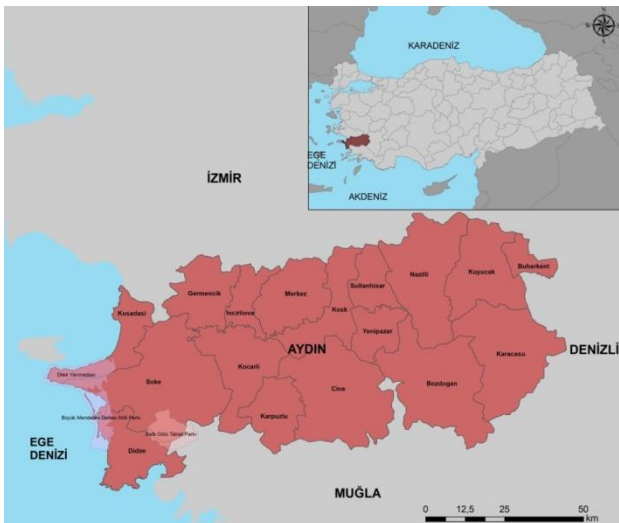
olan etkisinin değerlendirilerek kentsel ve kırsal planlama açısından çözüm önerileri geliştirilmesidir.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1 Materyal

Ege bölgesi'ne kıyısı olan illerden biri olan ve 37.8380 kuzey enlem ve 27.8456 doğu boylamları arasında yer alan Aydın ili 150 km kıyı şeridiyle yaklaşık 8000 km<sup>2</sup> alana yayılmıştır ve 27 ilçeye sahiptir (Şekil 1). Aydın ilinin 1990' lı yıllardan 2017 yılına kadar geçen süreçte nüfusu 824816 kişiden 1080839 kişiye çıkarak hızla artan yerleşim yerleri arasında yer almaktadır. Nüfusun bu oranda artmış olması beraberinde çarpık kentleşme, tarım arazilerinin yok edilmesi ya da yanlış yönetilmesine bağlı olarak pek çok çevre sorununu da beraberinde getirmiştir (TÜİK, 2019). Nitelikli tarım arazileri ile kuşatılan Aydın ili, akdeniz iklim kuşağında yer alması nedeniyle yazlar sıcak ve kurak kışlar ılık ve yağışlıdır. Aydın ilinin ortalama sıcaklığı 17.7 °C olup, en yüksek sıcaklığı 44.8°C, en düşük sıcaklık ise kış aylarında yaşanmış olup -11°C dir. Aylık toplam yağış miktarı ortalaması ise 664.9 mm'dir. Özellikle yaz aylarında sıcaklık değerlerinin yüksek olmasına karşın, çarpık yapılaşma ve geçirimsiz yüzeylerin artışı ile beraber hissedilen sıcaklık değerini tespit edilen değerin daha üstünde olmaktadır.

Çalışmada arazi yüzeyi sıcaklığı (AYS) değerlerinin ve bitki örtüsüne yönelik NDVI değerlerinin hesaplanmasında USGS web sitesinden ücretsiz olarak indirilen 1990 ve 2017 yıllarına ait Landsat 5 (TM) ve Landsat 8 uydusu görüntülerinden yararlanılmıştır (Çizelge1) (USGS, 2019). Bitkilerin vejetatif olarak yoğun oldukları ve sıcaklığın daha yüksek olduğu aylara ait olan görüntüler NDVI analizinde kullanılmıştır. Copernicus Arazi Gözlem Hizmetleri web sitesinden indirilen diğer analiz veri setleriyle en yakın tarihlerde olan 1990 ve 2018 yılına ait CORINE arazi örtüsü (CORINE Land Cover) verileri çalışma alanında bulunan alan kullanım/arazi örtüsü tiplerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır (CLMS, 2020). NDVI ve AYS haritalarının hazırlanması, değerlendirilmesi ve alan kullanımları/arazi örtüsündeki değişimler ve NDVI ile AYS arasındaki ilişkilerin saptanması için istatistiki hesaplamalar ArcGIS 10.5.1 yazılımından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı, Aydın ili ve ilçeleri

Çizelge 1. Araştırmada kullanılan uydu görüntüleri

Yıllar	Uydu görüntüsü	Tarih
1990	Landsat 5 TM	13 Haziran 1990
		31 Temmuz 1990
		1 Eylül 1990
		17 Eylül 1990
		3 Ekim 1990
2017	Landsat 8	7 Haziran 2017
		25 Temmuz 2017
		26 Ağustos 2017
		11 Eylül 2017
		13 Ekim 2017

### 2.2 Yöntem

#### 2.2.1 Uydu görüntülerinin analizler için hazırlanması

Araştırmada, araştırma alanına yönelik bitki örtüsüne ilişkin değerlendirmelerin yapılabilmesi ve AYS analizinde kullanmak üzere NDVI değerinin hesaplanmasında Landsat 5 (TM) ve Landsat 8 uydusu görüntülerinin kırmızı ve yakın kızılötesi bandları, AYS analizi için ise termal bandlar kullanılmıştır. Analiz öncesinde kullanılacak bandların radyometrik düzeltmeleri yapılmıştır. Tüm bandlar en yakın komşuluk (Nearest neighbor) algoritması kullanılarak aynı çözünürlük (30 m) derecesinde olacak şekilde mekansal çözünürlüğü birbiri ile uyumlu hale getirilmiştir.

#### 2.2.2 NDVI ve AYS değerinin hesaplanması

Aydın ilinde kentsel ısı adası etkisini anlamak için Chen vd. (2014) ve Du vd. (2017)'nin geliştirdikleri yöntem ile AYS değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntem beş aşamadan oluşmaktadır.

1. En yüksek atmosferik parlaklık değerinin hesaplanması (Top of atmospheric radiance- TOA): Termal kızılötesi bantlar (TIR) kullanılarak, aşağıdaki formül ile parlaklık değerleri (0-255) spektral parlaklık (SR) değerlerine dönüştürülmüştür (Eşitlik 1).

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Q_{CALMAX} - Q_{CALMIN}} \right) (DN - Q_{CALMIN}) + L_{MIN\lambda} \quad (1)$$

$L_{\lambda}$  = Sensördeki en yüksek atmosferik parlaklık değeri Watt/(m<sup>2</sup> sr  $\mu$ m),  $Q_{CALmax}$ =(255) en yüksek parlaklık değeri ve  $Q_{CALmin}$ =(0) en düşük parlaklık değerinin dijital sayısı,  $L_{min}$  ve  $L_{max}$  değeri= en yüksek atmosferik parlaklık değerinin  $Q_{CALmin}$  ve  $Q_{CALmax}$  değerine göre yeniden ölçeklendirilmesi W/(m<sup>2</sup> sr  $\mu$ m).

2. Daha sonra, aşağıdaki formül uygulanarak, termal bölgedeki atmosferin etkileri kaldırılmış ve TOA parlaklık değeri yüzeyden ayrılan ışımaya dönüştürülmüştür (Eşitlik 2) (Barsi vd., 2005):

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

$L_{\lambda}$  = sensördeki Spektral parlaklık değeri,  $M_L$ = hesaplanan bant için parlaklık ölçeklendirme faktörü,  $Q_{CAL}$ =parlaklık değeri,  $A_L$ = hesaplanan bant için parlaklık ölçeklendirme faktörü.

3. Spektral parlaklığın kara cisim sıcaklığına dönüşümü (Blackbody Temperature- BT): Her bir bandın spektral ışıma değerleri yansıtma değerlerine dönüştürülmüştür. Parlaklık değerleri daha sonra Planck eğrisinin Landsat'a özgü tahmini kullanılarak °C cinsinden uydu parlaklık

sıcaklığına dönüştürülmüştür (Chander ve Markham, 2003; USGS, 2018a,b). Uygulanan formül aşağıdaki gibidir (Eşitlik 3).

$$B_T = \left( \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda}\right)} + 1 \right) - 273,15 \quad (3)$$

BT= sensördeki parlaklık sıcaklığı (°C), K1= birinci kalibrasyon sabiti, K2= ikinci kalibrasyon sabiti, Lλ: sensördeki spectral parlaklık değerleri.

4. Arazi yüzey emiliminin belirlenmesi (Land Surface Emmisivity- LSE): Arazi yüzey emiliminin (ε) diğer bir ifade ile yer yüzey yayınlılık derecesinin belirlenmesinde Landsat uydu görüntülerinin kırmızı ve yakın kızılötesi bantları kullanılarak hesaplanan Normalize edilmiş farksal bitki örtüsü indeksi (NDVI) kullanılmıştır (Sobrinno vd., 2004) (Eşitlik 4 ve 5).

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (4)$$

NIR= yakın kızıl ötesi bant, R= kırmızı bant.

Daha sonra NDVI değerleri kullanılarak her bir görüntü için vejetasyon oranı hesaplanmıştır.

$$P_v = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (5)$$

Pv= vejetasyon oranı.

5. Arazi yüzey sıcaklığının belirlenmesi: Bu aşamada aşağıdaki formüller kullanılarak AYS değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 6 ve 7).

$$\varepsilon = 0,004 * P_v + 0,986 \quad (6)$$

$$LST = \frac{BT}{1 + \left( \frac{w * BT}{p} \right) * \ln(\varepsilon)} \quad (7)$$

ε=yer yüzeyi emilim değeri, LST (AYS)= Arazi yüzey sıcaklık değeri (°C), w= yayılan ışığın dalga boyu, p= h\*c/s (p= 14380, h=Planck sabiti (6,626\*10<sup>-34</sup> Js), c= Boltzmann sabiti (1.38\*10<sup>-23</sup> J/K) ve c= ışık hızı (2,998\*10<sup>8</sup> m/s).

Hesaplamalarda Çizelge 1' de yer alan veri setlerinin termal bandlarının (Landsat TM verilerinde 6. band, Landsat 8 verisinde 10 ve 11. bandlar) her biri ayrı ayrı kullanılmış, daha sonra yapılan değerlendirmelerde her bir tarih için yaz aylarının ortalama (ort) AYS değeri hesaplanmıştır.

### 2.2.3 Alan Kullanım/Arazi örtüsü haritalarının analiz için hazırlanması

AKAÖ haritası, CORINE arazi örtüsü verilerinden elde edilmiştir (CLMS, 2020). 3. düzeyde 44 alt sınıfa sahip corine arazi örtüleri verileri bu çalışma kapsamında 2. düzeyde toplamda 13 alt sınıf göz önünde bulundurularak değerlendirilmeye alınmıştır (Çizelge 2, Şekil 2).

### 2.2.4 Zonal istatistik

Aydın ilinde AKAÖ ve NDVI ile AYS arasındaki ilişkinin analizinde ArcGIS zonal istatistik aracı kullanılmış ve AKAÖ ile NDVI ve AKAÖ ile AYS arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir.

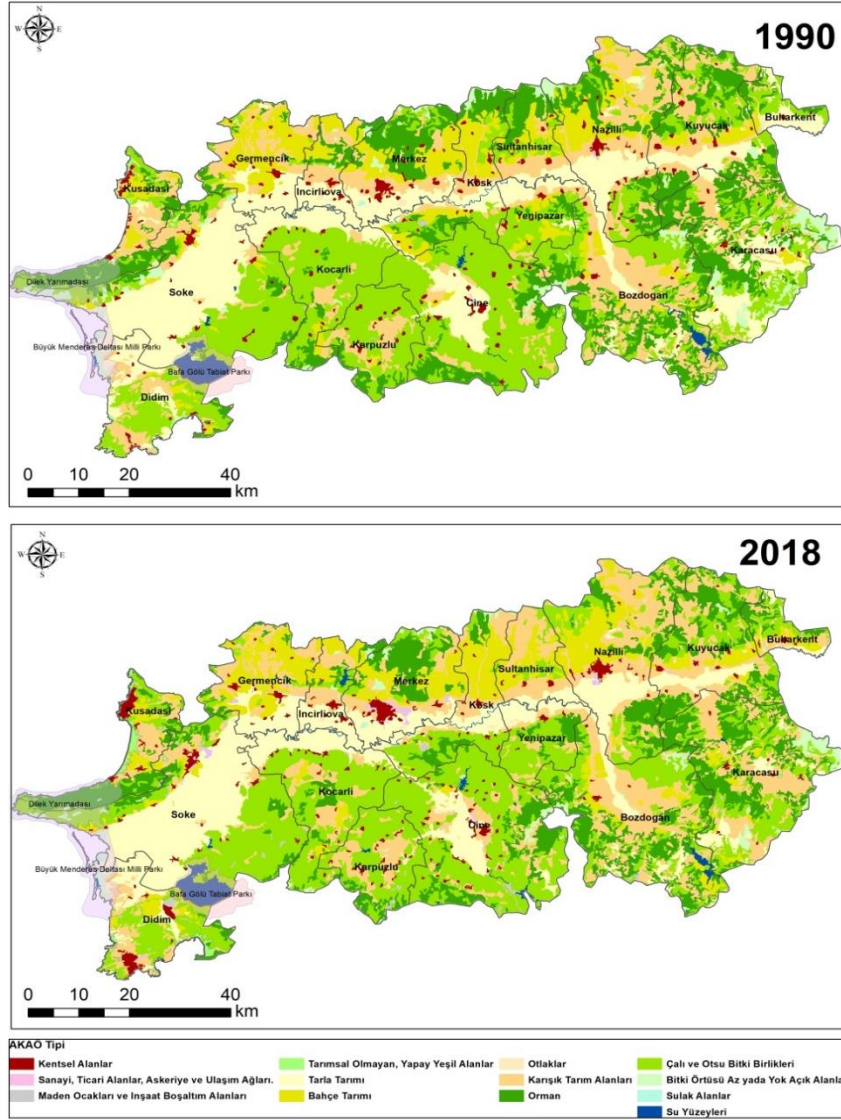
Çizelge 2. Araştırmada kullanılan AKAÖ sınıfları

Kod	AKAÖ sınıfları
1	Kentsel alanlar
2	Sanayi, ticari alanlar, askeriye ve ulaşım ağları
3	Maden ocakları ve inşaat boşaltım alanları
4	Tarımsal olmayan, yapay yeşil alanlar
5	Tarla tarımı
6	Bahçe tarımı
7	Otlaklar
8	Karışık tarım arazileri
9	Ormanlar
10	Çalı ve otsu bitki birlikleri
11	Bitki örtüsü az ya da hiç olmayan açık alanlar
12	Sulak alanlar
13	Su yüzeyleri

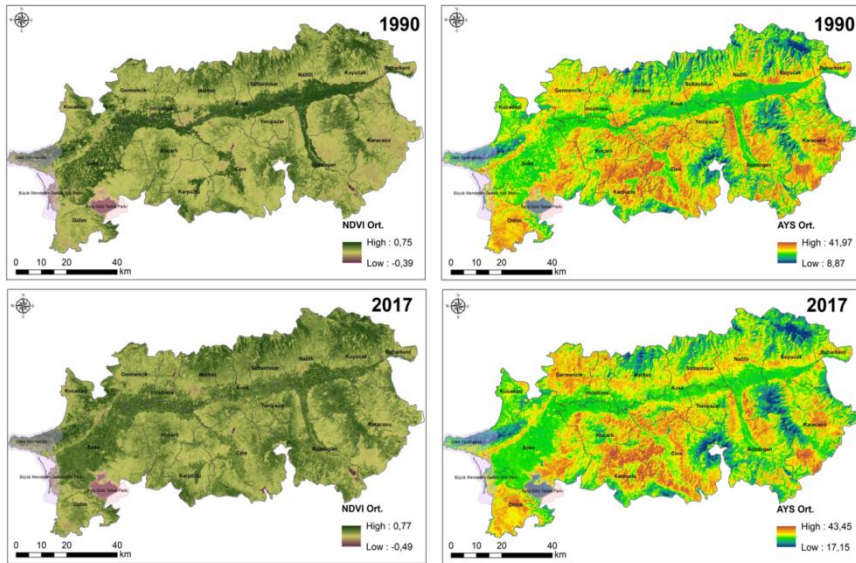
### 3. Bulgular

Aydın ilinde 1990 ve 2017 yılları arasında AKAÖ de vejetasyon dinamiğindeki değişimin AYS üzerine etkilerini daha iyi anlamak için, her bir AKAÖ tipinin termal ve yeşil alan yansıma karakteristikleri (imzası) incelenmiştir. AKAÖ, NDVI ve AYS değerleri arasındaki ilişki CBS ortamında zonal istatistik aracıyla ortaya koyularak Çizelge 3 ve Şekil 3'te gösterilmiştir.

Çalışma alanı içinde AYS ve NDVI' in mekansal dağılımı Şekil 3'te gösterilmektedir. Elde edilen haritalar görsel olarak değerlendirildiğinde AYS ile NDVI arasında negatif bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Haritalar incelendiğinde Dilek Yarımadası Milli Parkı'nın güney bölgelerinde yerleşim, sanayi ve maden ocaklarının yer aldığı lokasyonlarda, Karpuzlu ve Germencik ilçelerinin dağlık kısımlarında bitki örtüsü olmayan veya zayıf olan bölgelerinde, Koçarlı ve Didim ilçesinin kuzey doğusunda doğal bir maki karakteristiği taşıyan bölgenin yeni yerleşim alanlarına açılan kısımlarında yüzey sıcaklığının yüksek olduğu noktalar olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın 2017 yılında Kuyucak ilçesinde yerleşim alanlarında AYS'nin azaldığı görülmektedir. Bu durumun nedeninin kent içi ağaçlandırma çalışmalarının olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2. Aydın ili CORINE Arazi Örtüsü verilerine göre hazırlanan 1990 ve 2018 yılına ait AKAÖ haritaları



Şekil 3. Aydın ilinde AYS ve NDVI ortalama değerlerinin mekansal dağılımı

Her iki dönemde de en düşük bitki örtüsüne sahip alanlar daha çok “Kentsel Alanlar”, “Sanayi, Ticari Alanlar, Askeriye ve Ulaşım Ağları”, “Maden Ocakları ve İnşaat Boşaltım Alanları” gibi AKAÖ’ler olup çalışma alanının Merkez ilçesinde yoğunlaşmıştır. Buna karşın yeşil bitki örtüsünün varlığını gösteren yüksek seviyelerde NDVI özellikle "Ormanlar", "Tarla tarımı" ve "Karışık tarım alanları gibi AKAÖ tiplerinde yer almaktadır. 1990 yılından 2017 yılına gelindiğinde maximum NDVI değeri değişmezken minimum NDVI değerinin giderek azaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 3, Çizelge 3). Her ne kadar Karacasu, Bozdoğan ve Didim ilçelerinin dağlık kesimlerinde vejetasyon miktarında artış görünse de, NDVI minimum değerinin bu kadar azalmış olması, bitki örtüsü ile kaplı alanların giderek daha da seyrek ve cılız bitki örtüsüne ya da çıplak yüzeylere dönüştüğünü göstermektedir. Özellikle Nazilli, Yenipazar, Kuyucak ilçelerindeki “Tarla tarımı” yapılan alanlarda vejetasyondaki azalma dikkat çekmektedir (Şekil 3). 1990 ve 2017 yılına ait AYS haritaları incelendiğinde NDVI değeri yani vejetasyondaki azalma ve artışın AYS değerine etkileri de çok net şekilde gözlenmektedir. Vejetasyonun arttığı bölgelerde (Karacasu, Bozdoğan ve Didim ilçesinin dağlık kesimleri) AYS değerinin azaldığı, azaldığı durumlarda ise AYS nin arttığı net şekilde görülmektedir. Bu durum aynı zamanda NDVI minimum değerinin düşük ve AYS minimum değerinin yüksek oluşunu da açıklamaktadır. Buna karşın 1990 yılında Aydın merkez ilçesi ve İncirliova ilçesinde yer alan tarım alanındaki NDVI değeri çevrelerindeki tarım alanlarından toprak yapısı, nem içeriği ya da ürün farklılığı gibi özellikleri nedeniyle farklı bir özellik göstermektedir (Şekil 3, Çizelge 3).

Çizelge 3’ te AKAÖ tipine göre AYS ve NDVI’nin ortalama değerleri verilmiştir. 1990 yılında AKAÖ tipi içinde “Tarla tarımı” yapılan alanlar ile “Ormanlar” bitki örtüsünün baskın olması nedeniyle en yüksek ortalama NDVI değerini (sırasıyla 0,38 ve 0,39) sergilemiştir. 2017

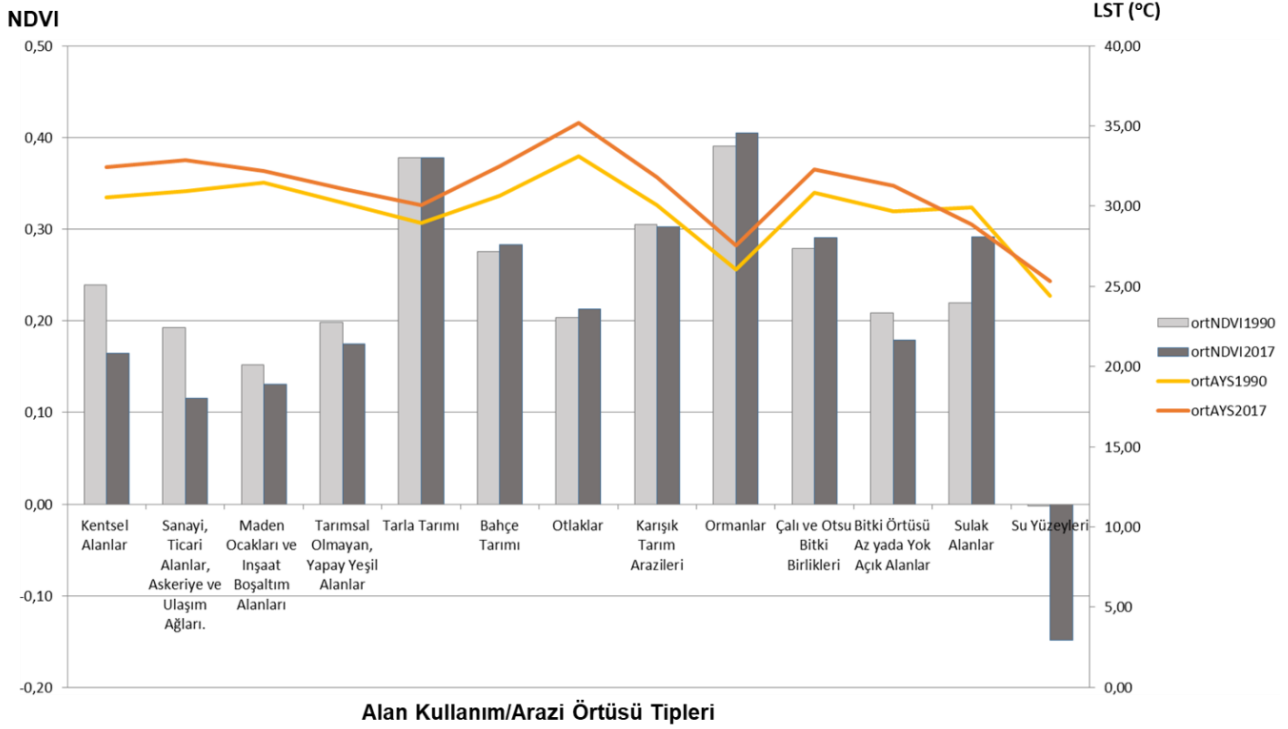
yılında da NDVI değeri bu AKAÖ tipleri için aynı eğilimi sergilemiştir. NDVI değeri yüksek olan bu alanlardaki ortalama AYS değerinin de en düşük olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. “Orman” alanlarında yaşanan azalma ve 2017 yılı Temmuz ayında yaşanan ekstrem hava sıcaklığı nedeniyle AYS değerinde artış görülmüştür (MGM, 2020). Her iki yıl için “Su Yüzeylerinin” yanısıra “Sanayi, Ticari Alanlar, Askeriye ve Ulaşım Ağları”, “Maden Ocakları” ve “İnşaat Boşaltım Alanları” gibi AKAÖ tipleri en düşük ortalama NDVI değerini göstermiştir. Fakat 1990 ve 2017 yılları arasında “kentsel alanlarda”, Sanayi, Ticari Alanlar, Askeriye ve Ulaşım Ağları” olan bölgelerde NDVI değerinin oldukça azalmış olduğu AYS değerinin ise arttığı gözlemlenmiştir. Yine aynı şekilde “Tarımsal Olmayan, Yapay Yeşil Alanlar” da NDVI değeri azalırken AYS değeri artmıştır.

Şekil 4’te verilen grafik incelendiğinde 1990 yılında kentsel alanlardaki ortalama NDVI değeri yani kentsel alanlar içinde bulunan yeşil alan miktarı 2017 yılına gelindiğinde azalmıştır. Buna paralel olarak aynı periyotta ortalama AYS değerinde yaklaşık 2°C bir artış meydana gelmiştir. Bunun yanısıra sanayi alanları, maden ocakları ve tarımsal olmayan yapay yeşil alan miktarındaki NDVI değeri azalmış, AYS değeri artmıştır.

“Otlak” alanlar ile diğer AKAÖ’lerde AYS değeri karşılaştırıldığında, “Otlak” alanlardaki AYS değeri her iki yıl içinde en yüksek değere sahiptir. NDVI değerinde çok az bir artış olmasına karşın AYS değerinin artışı da dikkat çekmektedir. Bu artışın sebebinin, otlakların bulunduğu bölgelerdeki yüzey örtüsü (toprak veya jeolojik özellikleri) ile bağlantılı olabileceği düşünülmektedir. Su yüzeylerinde negatif NDVI olması ve AYS değerinin bu bölgelerde düşük çıkması beklenen bir sonuç olmasına karşın, bu alanların yüzey sıcaklığını düşürmede bitki örtüsü ile kaplı olan alanlara göre serinletici etkisinin daha çok olduğu (ormanlara göre yaklaşık 2°C daha düşük) belirlenmiştir.

Çizelge 3. AKAÖ tipine göre AYS ve NDVI’nin ortalama değerleri

Kod	AKAÖ	ortNDVI1990	ortNDVI2017	ortAYS1990(°C)	ortAYS2017(°C)
1	Kentsel alanlar	0,24	0,16	30,56	32,42
2	Sanayi, ticari alanlar, askeriye ve ulaşım ağları	0,19	0,12	30,92	32,87
3	Maden ocakları ve inşaat boşaltım alanları	0,15	0,13	31,49	32,19
4	Tarımsal olmayan, yapay yeşil alanlar	0,2	0,17	30,24	31,06
5	Tarla tarımı	0,38	0,38	28,97	30,09
6	Bahçe tarımı	0,28	0,28	30,63	32,48
7	Otlaklar	0,2	0,21	33,1	35,2
8	Karışık tarım arazileri	0,31	0,3	30,05	31,82
9	Ormanlar	0,39	0,41	26,08	27,57
10	Çalı ve otsu bitki birlikleri	0,28	0,29	30,86	32,31
11	Bitki örtüsü az ya da hiç olmayan açık alanlar	0,21	0,18	29,66	31,29
12	Sulak alanlar	0,22	0,29	29,9	28,87
13	Su yüzeyleri	0	-0,15	24,43	25,32



Şekil 4. AKAÖ, NDVI ve AYS arasındaki ilişki grafiği

#### 4. Tartışma ve sonuç

AYS'ler yüzey sıcaklıklarının bir yansıması olması nedeniyle kentsel ısı adası olgusunun en temel göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bitki örtüsünün yoğunluğunun veya sağlıklı olmasının evapotranspirasyona bağlı olarak yine yüzey sıcaklığını ve kentsel ısı adası oluşumunu etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle AYS ve NDVI arasındaki ilişkinin belirlenmesi, kentsel ısı adası etkisinin en yoğun yaşandığı bölgelerin tespit edilmesi ve bu etkinin azaltılmasına yönelik önlemler alınmasında büyük önem taşımaktadır.

Kentsel ısı adası etkisini azaltmanın ve kentsel iklim değişikliğinin kötü etkilerinin önüne geçilmesinde bitki örtüsünün artırılmasının basit ve etkili bir yol olduğu yaygın şekilde kabul edilmektedir (Fortuniak, 2009; EPA, 2012). Bu nedenle, son zamanlarda kentsel bitki örtüsünün sağladığı işlevsellik konusunda daha fazla farkındalığı arttırmaya yönelik önemli araştırmalar yapılmaktadır (Weng vd., 2004; Amiri vd., 2009; Huang vd., 2008). Örneğin, son zamanlarda yapılan bir araştırma, Manchester'daki kentsel alanlarda bitki örtüsü miktarındaki güncel iklim değişikliği modelleri ile % 10'luk bir artışın, sıcaklıkları muhtemelen 4 °C'ye kadar düşürebileceğini ortaya koymuştur (Farina, 2012). İklim değişikliğiyle ilişkili olarak kentsel bitki örtüsünün sağladığı bir diğer önemli yararı ise iklimlendirme için kullanılan toplam enerji tüketiminin azaltılmasıdır ve bu da sera gazı emisyonlarını ve buna bağlı hava kirliliğini azaltacaktır (Yue vd., 2007; Farina, 2012).

Bu araştırmanın sonucunda Aydın ilinde, AKAÖ ve NDVI birlikte değerlendirildiğinde "Yapı yüzeyleri" ile "Bitki Örtüsü Az ya da Hiç Olmayan Açık Alanlar" ın hava sıcaklığının en yüksek olduğu yaz aylarında ısı adası oluşumunu tetiklediği, bitki yüzeyi ile su ve sulak alanların ise bu etkiyi azalttığı saptanmıştır. Çalışma alanında AYS

değerleri mekansal olarak incelendiğinde kentsel yerleşim alanları içinde bulunan bitki yüzeylerinin ısı adası etkisini azalttığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, kentsel alanlarda ısı adası etkisinin azaltılması için refüj bitkilendirilmesi, yol ağaçlandırması ve açık yeşil alan miktarının artırılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Önder ve Akay, 2014). Bu çözümlerin gerçekleştirilemediği durumlar da ise yeşil çatı ve duvar sistemleri yoluyla mevcut bitki varlığının artırılması kentlerde ısı adası etkisinin azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır (Alexandri ve Jones, 2008). Diğer taraftan, Aydın ilinde özellikle turizm sektörünün ve sanayi sektörünün ön planda olduğu kırsal bölgelerde ikinci konutların, maden ocaklarının giderek artmasının, tarımcı zengin potansiye sahip söke ovasında yanlış tarım uygulamalarına bağlı olarak toprak veriminin azalmasının da yüzey ısısındaki artışı tetiklediği sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda sadece kentsel alanlarda üretilen çözümlerin yeterli olmayacağı, kırsal alanlarda da gerekli ölçümler yapılarak sıcak noktaların tespit edilmesi ve bu doğrultuda çözüm öneri geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışmada Aydın il genelinde 1990 ve 2017 yılları arasında AKAÖ, NDVI ve AYS sonuçları birlikte değerlendirildiğinde AKAÖ tipleri içinde yer alan bitki örtüsü ile yer yüzey sıcaklığı arasında ters orantı bulunmaktadır. AYS değerlerindeki artış, herhangi bir AKAÖ tipindeki bitki örtüsünün kapladığı alanın azaldığı ya da geçirimsiz yüzeylerin arttığı bölgeleri işaret etmektedir. Dolayısıyla belirlenen bu bölgelerde yüzey sıcaklığını ve ısı adası etkisi oluşumu azaltabilecek önerilerin geliştirilmesinde peyzaj planlama ve tasarım çalışmalarında plancı, tasarımcı ve karar verici mekanizmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

**Kaynaklar**

- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., Alavipanah, S.K., 2009. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, 113(12): 2606-2617.
- Alexandri, E., Jones, P., 2008. Temperature decrease in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43: 480-493.
- Aygün, C., Sever, A.L., Kara, İ., Erdoğan, İ., Atalay, A.K., 2016. Eskişehir meralarında otlatmanın planlamasında NDVI verilerinin kullanılması. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(1): 66-77.
- Barsi J.A., Schott J.R., Palluconi F.D., Hook S.J., 2005. Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. *International Society for Optics and Photonics*, 2005, San Diego, California, United States, pp. 58820.
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., Imura, H., 2010. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 96(4): 224-231.
- Chander, G., Markham, B., 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11): 2674-2677.
- Chen, A., Yao, X.A., Sun, R., Chen, L., 2014. Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13: 646-654.
- Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X., Yin, Z.Y., 2006. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2): 133-146.
- Chudnovsky, A., Ben-Dor, E., Saaroni, H., 2004. Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements. *Energy and Buildings*, 36(11): 1063-1074.
- CLMS, 2020. Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) Corine Land cover 2020. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>, Accessed: 15 June 2020.
- Doğan, S., Tüzer, M., 2011. Küresel iklim değişikliği ve potansiyel etkileri. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 12(1): 21-34.
- Du, H., Wang, D., Wang, Y., Zhao, X., Qin, F., Jiang, H., Cai, Y., 2016. Influences of land cover types, meteorological conditions, anthropogenic heat and urban area on surface urban heat island in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Science of the Total Environment*, 571: 461-470.
- Du, H., Cai, W., Xu, Y., Wang, Z., Wang, Y., Cai, Y., 2017. Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. *Urban Forestry and Urban Greening*, 27: 24-31.
- EPA, 2012. Measuring Heat Islands, State and Local Climate and Energy Program, Heat Island Notes. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/heatislands/measuring-heat-islands>. Accessed: 22.06.2019.
- Ersoy Tonyaloğlu, E., 2019. Kentleşmenin kentsel termal çevre üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi, efeler ve İncirliova (Ayдын) örneği. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 2(1): 1-13.
- Farina, A., 2012. Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. Luma-Gis Thesis. Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis Centre for Geographical Information Systems of Lund University, Lund, Sweden.
- Fortuniak, K., 2009. Global environmental change and urban climate in central European cities. *International Conference on Climate Change The environmental and socio-economic response in the southern Baltic region*, 25 - 28 May 2009, University of Szczecin, Poland, pp 65-67.
- Huang, L., Zhao, D., Wang, J., Zhu, J., Li, J., 2008. Scale impacts of land cover and vegetation corridors on urban thermal behavior in Nanjing, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 94(3-4): 241-257.
- Jennings, D.B., Jarnagin, S.T., Ebert, D.W., 2004. A modeling approach for estimating watershed impervious surface area from National Land Cover Data 92. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(11): 1295-1307.
- Julien, Y., Sobrino, J.A., Verhoef, W., 2006. Changes in land surface temperatures and NDVI values over Europe between 1982 and 1999. *Remote Sensing of Environment*, 103(1): 43-55.
- Kaplan, G., Avdan, U., Avdan, Z.Y., 2018. Urban Heat Island Analysis Using the Landsat 8 Satellite Data: A Case Study in Skopje, Macedonia. In: *Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Proceedings*, 2 (7): 358.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R.T., Anderson, M., Imhoff, M.L., Gutman, G.G., Goldberg, A., 2010. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *Journal of Climate*, 23(3): 618-633.
- Klein, P.M., Coffman, R., 2015. Establishment and performance of an experimental green roof under extreme climatic conditions. *Science of the Total Environment*, 512: 82-93.
- Magee, N., Curtis, J., Wendler, G., 1999. The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, 64(1-2): 39-47.
- MGM, 2020. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2020. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=AYDIN>, Erişim: 10.08.2020.
- Oguz, H., 2013. LST Calculator: a program retrieving land surface temperature from Landsat TM/ ETM+ Imagery. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12(3): 549-555
- Oke, T.R., 1973. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8): 769-779.
- Önder, S., Akay, A., 2014. The roles of plants on mitigating the urban heat islands' negative effects. *International Journal of Agriculture and Economic Development*, 2(2): 18.
- Pal, S., Ziaul, S.K., 2017. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1): 125-145.
- Saaroni, H., Ziv, B., 2003. The impact of a small lake on heat stress in a Mediterranean urban park: The case of Tel Aviv, Israel. *International journal of Biometeorology*, 47(3): 156-165.
- Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C., Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4): 434-440.
- Stone, B., Norman, J.M., 2006. Land use planning and surface heat island formation: A parcel-based radiation flux approach. *Atmospheric Environment*, 40(19): 3561-3573.
- Streutker, D.R., 2003. A study of the urban heat island of Houston, Texas. PhD dissertation, Rice University, Houston, Texas, USA.
- TÜİK, 2019. Turkish Statistical Institute. [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1047](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1047), Accessed: 15 February 2019.
- Türkeş, M., 2008. Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1(1): 26-37.
- Unger, J., Savić, S., Gál, T., 2011. Modelling of the annual mean urban heat island pattern for planning of representative urban climate station network. *Advances in meteorology*, 398613: 9.
- USGS, 2018a. The United States Geological Survey. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. [https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/L5\\_TM\\_Cal\\_2003.pdf](https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/L5_TM_Cal_2003.pdf), Accessed: 7 July 2018.
- USGS, 2018b. The United States Geological Survey. Landsat 8 Data Users Handbook - Section 5. <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-18-data-users-handbook-section-5>, Accessed: 7 July 2018.



- USGS, 2019. The United States Geological Survey. EarthExplorer – Home. <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Accessed: 10 June 2019.
- Voogt, J.A., Oke, T.R., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3): 370-384.
- Voogt, J.A., 2004. Urban Heat Island: Hotter Cities. America Institute of Biological Sciences. Action Bioscience, North Port, FL, USA.
- 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(4): 467-483.
- Xian, G., Crane, M., 2006. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 104(2): 147-156.
- Xiao, H., Kopecká, M., Guo, S., Guan, Y., Cai, D., Zhang, C., Yao, W., 2018. Responses of urban land surface temperature on land cover: A comparative study of Vienna and Madrid. *Sustainability*, 10(2): 260.
- 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(3): 375-386.
- Yuan, X., Wang, W., Cui, J., Meng, F., Kurban, A., De Maeyer, P., 2017. Vegetation changes and land surface feedbacks drive shifts in local temperatures over Central Asia. *Scientific Reports*, 7(1): 1-8.
- Yue, W., Xu, J., Tan, W., Xu, L., 2007. The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: Application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15): 3205-3226.
- Zhang, Y., Odeh, I.O., Han, C., 2009. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(4): 256-264.