

INVESTIGATING COOLING CAPACITY OF URBAN COOL AREAS, CASE OF İZMİR

Yasemin ŞENTÜRK - Kemal Mert ÇUBUKÇU

ABSTRACT

With the reduction of vegetation cover, the increasingly dense impermeable surfaces in urban centers cause the sun's rays to be absorbed throughout the day. The heat absorbed during the day increases the air temperature in cities, especially at night, and accordingly causes higher temperatures to be observed compared to rural areas. This event is called as urban heat island. Because this event directly affects the comfort of urban life, reduction of effect of urban heat island is becoming one of the important issue for spatial planning. The aim of this study is to investigate spatial pattern and cooling capacity of relative cooler areas in urban areas. In the study, temperature was measured using land surface temperature (LST). To detect urban cool area boundary, spatial correlation method was used, which helped to analyze spatial clusters of LST. The relationship between the cooling capacity and vegetation, land cover and character of urban cool areas was measured and compared using rank-order correlation statistics within urban cold area polygons. Results obtained indicated that 1) the size of urban cold area is an important factor 2) both spatial configuration of vegetation and abundance of vegetation is important and 3) there is a need to decrease impervious surfaces in urban areas. The average land surface temperature in urban cold areas describing a relative coldness was measured as 32 °C. This situation show that urban heat island is an important risk in terms of public health for İzmir. In this context, the results contributed information on spatial planning practice to deal with climate change while generating decisions and strategies.

Keywords: Climate Change, Urban Heat Island, Land Surface Temperature, Remote Sensing, Urban Green Area, Spatial Autocorrelation, İzmir.

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı
Mail: iyteyaseminsenturk@yahoo.com

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7158-6657>

Prof. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü
Mail: mert.cubukcu@deu.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3604-7014>

Makale Atıf Bilgisi:	Şentürk, Y.- Çubukçu, K. M. (2022). "Kentsel Soğuk Alan Soğutma Kapasitesinin Araştırılması, İzmir Örneği", <i>Çevre, Şehir ve İklim Dergisi</i> . Yıl: 1. Sayı: 1. ss. 106-126.
Makale Türü:	Araştırma
Geliş Tarihi:	19.01.2022
Kabul Tarihi:	04.02.2022
Yayın Tarihi:	20.02.2022
Yayın Sezonu:	Ocak 2022

KENTSEL SOĞUK ALAN SOĞUTMA KAPASİTESİNİN ARAŞTIRILMASI, İZMİR ÖRNEĞİ

Yasemin ŞENTÜRK - Kemal Mert ÇUBUKÇU

ÖZ

Bitki örtüsünün azaltılması ile kent merkezlerinde artan yoğun geçirimsiz yüzeyler gün boyu güneş ışınlarının emilmesine neden olmaktadır. Gün boyu emilen ısı özellikle gece saatlerinde kentlerde hava sıcaklığını arttırmakta ve buna bağlı olarak kırsal alanlara göre daha yüksek sıcaklıklar gözlenmesine neden olmaktadır. Bu olay, kentsel ısı adası olarak adlandırılmaktadır. Bu olayın kentsel yaşam konforunu doğrudan etkilemesi kentsel ısı adası etkisinin azaltımı konusunu mekânsal planlamanın önemli sorunlarından biri haline getirmektedir. Bu çalışmanın amacı, kentsel alanlarda görece daha soğuk alanların mekânsal desenini ve soğutma kapasitesini etkileyen faktörleri araştırmaktır. Çalışmada sıcaklık, arazi yüzey sıcaklığı ile ölçülmüştür. Kentsel soğuk alan sınırının belirlenmesinde arazi yüzey sıcaklıklarının mekânsal kümelenmesini ölçen mekânsal otokorelasyon yönteminden yararlanılmıştır. Soğutma kapasitesi ile bitkilendirme, arazi örtüsü ve kentsel soğuk alan karakter özellikleri arasındaki ilişki kentsel soğuk alan poligonları içinde sıralama korelasyon istatistiksel yönteminden yararlanılarak ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar; 1) kentsel soğuk alan büyüklüğünün önemli bir değişken olduğunu, 2) yeşil varlığı ile birlikte yeşilin mekânsal düzeninin de önemli olduğunu ve 3) kentlerde geçirimsiz yüzeylerin azaltılması gerektiğini ortaya koymuştur. Göreceli bir soğukluk tarif eden kentsel soğuk alanlarda ortalama arazi yüzey sıcaklığı 32 °C olarak ölçülmüştür. Bu durum kentsel ısı adası etkisinin İzmir kentsel alanında halk sağlığı açısından önemli bir tehlike oluşturduğunu göstermektedir. Bu bağlamda çalışma sonuçları mekânsal planlama pratiği için iklim değişikliği ile mücadele kapsamında geliştirilecek karar ve stratejilere ışık tutma konusunda katkı sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Kentsel Isı Adası, Arazi Yüzey Sıcaklığı, Uzaktan Algılama, Kentsel Yeşil Alan, Mekânsal Otokorelasyon, İzmir.

Giriş

Sanayi devriminden bu yana ortalama hava sıcaklığı artışının Akdeniz Bölgesinde dünya geneline göre %20 daha hızlı olduğu ortaya konmuştur (Mediterranean Experts on Climate ve Environmental Change, 2019). Küresel iklim değişikliğine ek olarak, kentsel alan ve çeperlerinde bitki örtüsünün azalması ve hızlı yapılaşma gibi sebeplerle arazi örtüsündeki değişimler hava sıcaklığının bölgesel olarak artması sonucunu doğurmaktadır. Bu durum kentsel alanlarda yer alan bina ve yol gibi yapıların su yüzeyi ve orman gibi doğal peyzaj öğelerine göre gün boyu güneş ışınlarını daha fazla emmesinden kaynaklanmaktadır. Gün boyu emilen ısı özellikle gece saatlerinde kentlerde hava sıcaklığını arttırmakta ve buna bağlı olarak kırsal alanlar ile kentsel alanlar arasındaki sıcaklık farkı artmaktadır (Wong ve Yu, 2005, Leconte vd., 2015, Liu vd., 2017). Bu olay, kentsel ısı adası olarak tanımlanmaktadır (Voogt ve Oke, 2003). Kent merkezi ve yoğun bitkilendirilmiş alanlar arasındaki ortalama hava sıcaklık farkı Singapur kentinde 4,01 °C (Wong ve Yu, 2005) ve Çin'deki kentlerde 3 °C olarak ölçülmüştür (Kong vd., 2014, Zhang vd., 2016). Benzer şekilde kentsel yeşil alanlar ve bitişiginde yapıları çevre arasında 0,8 °C (Ng vd., 2012) ile 6,9 °C'ye (Kong vd., 2014) kadar değişen sıcaklık farklılıkları tespit edilmiştir. Önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında yeşil alanların iklimi düzenleme konusunda önemli fonksiyonları olduğunu ortaya koymuştur (Amiri vd., 2009, Carlson ve Arthur, 2000, Hung vd., 2006, Mackey vd., 2012, Marando vd., 2019, Yuan ve Bauer, 2007; Tiangco vd., 2008; Weng ve Lu, 2008). Yazında yeşil alanların varlığının yanında mekânsal biçim ve düzeninin de kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında önemli bir rol oynadığı ifade edilmektedir (Maimaitiyiming vd., 2014, Ren vd., 2013). Bazı çalışmalara göre mera, orman, su yüzeyi ve park gibi yeşil ve mavi alanlar gibi alanları kentsel alanlar üzerinde soğutma etkisine sahiptir (Kong vd., 2014; Walawender vd., 2014). Bu soğutma etkisi soğutma kapasitesi bulunan alandan uzaklaştıkça azalmaktadır (Lin vd., 2015; Oliveira vd., 2011).

Geleneksel olarak doğrudan arazi örtüsü veya kentsel yeşil alan ile kentsel ısı adası arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar, kentsel ısı adası etkisinin mekânsal deseni ile arazi örtüsü arasındaki ilişkiyi göz ardı etmektedir. Kentsel arazi örtüsünün mekânsal heterojenliğini ihmal eden bu çalışmalar sıcaklığın oluşumundaki farklı varyasyonları da devre dışı bırakmaktadır. Kentsel planlamada arazi örtüsünün yönetimi açısından anlamlı ilişkilerin tarifi için uygun bir mekânsal ölçek belirlenmesi gereklidir (Guo vd., 2015). Bazı çalışmalar farklı boyutlardaki plankareleri (Chen vd., 2013, Malik vd., 2019, Zhou vd., 2017), plankarelerden meydana gelen çeşitli analitik birimleri (Peng vd., 2016), yapı adalarını (Liu vd., 2017), parklar gibi kendiliğinden tanımlı poligonları (Cao vd., 2010, Cheng vd., 2015, Monteiro vd., 2016, Ren vd.,

2013) ve istatistiksel yöntemlerle belirlenen poligonları (Dai vd., 2010, El-Hattab vd., 2017, Guo vd., 2015, Meng vd., 2018, Pan, 2016, Walawerder vd., 2014, Zhang vd., 2018) araştırma ölçeği olarak tanımlamıştır.

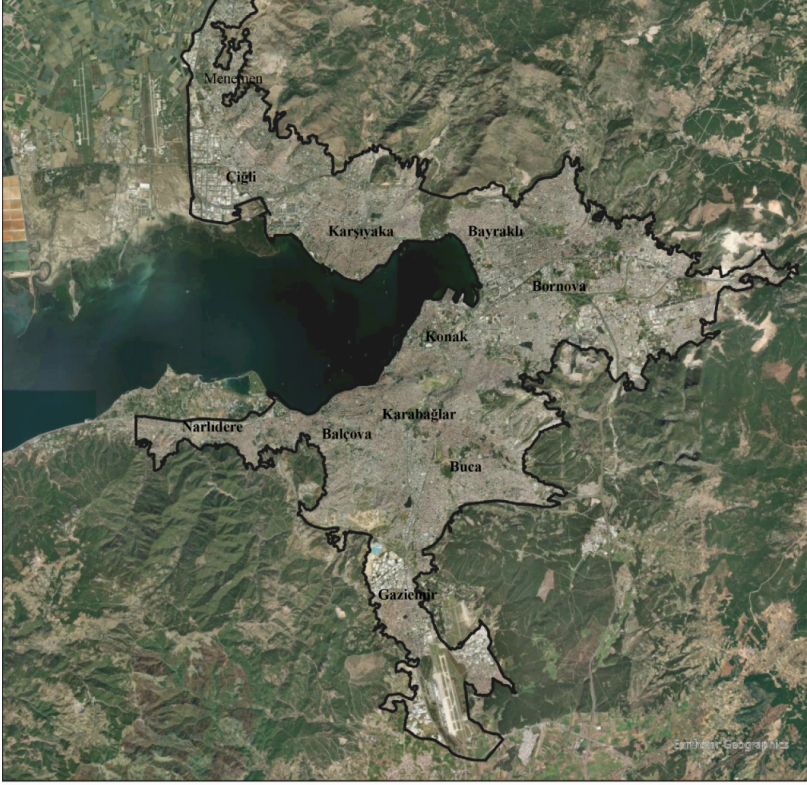
Bu çalışma kapsamında kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında rol oynayan değişkenlerin öncelikle incelenmesi nedeniyle kent merkezinde görece daha düşük sıcaklıkların kümelendiği alanlar olan kentsel soğuk alanlar (Dai vd., 2010, Guo vd., 2015, Zgang vd., 2018) araştırma ölçeği olarak seçilmiştir. İzmir kentsel alanını örnek alan olarak ele alan çalışmada kentsel soğuk alanların mekânsal deseni ve özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma; (1) kentsel soğuk alanların oluşturduğu mekânsal desen dağılımını, (2) kentsel soğuk alanların soğutma kapasitesini etkileyen değişkenleri ortaya koymayı hedeflemektedir.

Yöntem

Bu çalışmanın yöntemi dört aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar; 1) çalışma alan sınırının belirlenmesi, 2) çalışmada kullanılan verilerin uzaktan algılama tekniklerinden yararlanılarak üretilmesi, 3) kentsel soğuk alan sınırlarının belirlenmesi, 4) kentsel soğuk alan soğutma kapasitesi ile değişkenler arasındaki ilişkinin ölçülmesinde kullanılan istatistiksel analizdir.

Çalışma Alanı

İzmir ili, Türkiye'nin batısında ve Ege Denizine kıyısı olan nüfus yönünden Türkiye'nin üçüncü büyük kentidir. İzmir ilinin 2020 yılı toplam nüfusu 4.394.694 kişidir (TÜİK, 2020). İzmir 37° 45'- 39° 15' kuzey ve 26° 15'- 28° 20' doğu meridyenleri arasında etrafı dağlarla çevrili bir körfez kentidir. Dağların denize dik uzanması deniz etkisinin iç kesimlere ulaşmasına izin vermekte ve iklimin ılıman olmasına neden olmaktadır. Akdeniz ikliminin hâkim olduğu kentte yazları kuru ve sıcak, kışları ılıman ve yağmurludur. Yıl içinde ortalama hava sıcaklığı yaklaşık 18°C olmakla birlikte yazları 43°C'ye ulaşmaktadır. İl bütününde yükseklik, bakı gibi coğrafya farklılıkları yağış, sıcaklık ve güneşlenme açısından bölgesel farklılıklara yol açmaktadır. Yazın kıyı alanında deniz melteminin etkisiyle sıcaklıklar 1-2°C düşmektedir. Dağlar genellikle maki ve orman alanları ile kaplı olmakla birlikte %27 lik bir kısmı kentsel alanlardan meydana gelmektedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi, 2019). Bu çalışmada, İzmir kent merkezinde özellikle yaz aylarında kentsel ısı adası etkisinin şiddetli hissedilmesi ve bu durumun kent sağlığı açısından risk oluşturması nedeniyle İzmir kentsel alanı, araştırma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı toplam 25428,6 ha büyüklüğünde alan kaplamakta olup Menemen, Çiğli, Karşıyaka, Bayraklı, Bornova, Konak, Karabağlar, Buca, Balçova, Narlıdere ve Gaziemir ilçesi kentsel alanlarını kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma alan sınırı (İzmir kentsel alanı)

Veri

Arazi yüzey sıcaklığı

Kentsel ısı adası etkisi hava veya arazi yüzey sıcaklığı (AYS) ile ölçülmektedir. Uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesi, uzaktan algılama verilerinin kentsel iklim araştırmalarında yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır. AYS hava sıcaklığının aksine yerel bölgelere ilişkin detaylı bilgi vermemesi nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Ancak AYS özellikle kentsel mekânı iki boyutlu olarak algılaması nedeniyle nem ve rüzgâr gibi etkileri dikkate almamaktadır (Mirzaei ve Haghghat, 2010). Bu çalışmada sıcaklık, AYS ile ölçülmüştür. 2020 yılı en sıcak aylarına ait Landsat OLI 8 uydu görüntülerinin termal ısı bantları kullanılarak tek pencere algoritmasından yararlanılarak haritalandırılmıştır (Şekil 1).

Tek pencere algoritması üç aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada parlaklık değerleri spektral radyans değerlerine dönüştürülmüş, ikinci aşamada spektral radyans değerleri yansıtım değerlerine dönüştürülmüş

ve son aşama radyans değerleri atmosferik parlaklık sıcaklığı değerlerine dönüştürülmüştür. Bu işlemler sonucunda arazi yüzey sıcaklığı değeri elde edilmiştir (Quin vd., 2001).

Arazi örtüsü

Arazi örtüsü haritası Sentinel 2A (Tablo 1) kırmızı, yeşil ve mavi bantlarının ArcGIS Pro "Veri Yönetimi-Bantları Birleştir" araç çubuğundan yararlanılarak üretilen harita kullanılarak su, çim, ağaç, toprak ve geçirimsiz yüzey olmak üzere beş farklı sınıfta kontrollü sınıflandırma tekniği ile üretilmiştir.

Normalize fark bitki örtüsü indeksi

Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NFBİ) belirli bir çözünürlükte kentsel mekândaki bitki yoğunluğunu ölçmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. İndeks değeri ile kentsel mekânda yalnızca kamusal yeşil alanları değil, bahçe ve yol boyu bitkilendirme gibi diğer yeşil unsurları da ölçmektedir. Sentinel 2A uydu görüntüleri (Tablo 1) kullanılarak bitki örtüsü varlığına ilişkin NFBİ aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Nemani ve Running, 1989).

$$NFBİ = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$

Bu formüldeki NIR yakın kızıl ötesi ve RED ise kırmızı yansıtım değerini ifade etmektedir. NFBİ için negatif değerler su yüzeylerinde görülmekle birlikte bire yaklaştıkça artan pozitif değerler bitki varlığının arttığını açıklamaktadır (NASA, 2000).

Normalize fark yapılaşma indeksi

Kentsel mekânda iki boyutlu geçirimsiz yüzey varlığını ölçmesi nedeniyle Landsat OLI 8 uydu görüntüleri (Tablo 1) kullanılarak Normalize Edilmiş Yapılaşma İndeksi (NFYİ) haritalandırılmıştır. NFYİ aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (Weng ve Lu, 2008).

$$NFYİ = (SWIR - NIR)/(SWIR + NIR)$$

Bu formüldeki SWIR ise kısa dalga kızılötesi ve NIR yakın kızılötesi yansıtım değerini ifade etmektedir. İndeks değeri bire yaklaştıkça geçirimsiz yüzey yoğunluğunun arttığını ifade eden NFYİ için negatif değerler su yüzeyleri ve yoğun bitki örtüsünün bulunduğu alanlarda görülmektedir. Ayrıca NFYİ değerleri vejetasyonun varlığına göre ters orantılı olarak azalmaktadır (Adeyeri vd., 2017).

Tablo 1: Çalışmada kullanılan haritalara ait ham veriler

Harita adı	Veri türü	Ölçek	Kaynak	Çözünürlük	Tarih
Arazi Yüzey Sıcaklığı	raster	Plankare	Landsat 8 OLI	30mx30m	8 Temmuz 2020 25 Ağustos 2020 10 Eylül 2020
Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi	raster	Plankare	Sentinel 2A	10m x10m	5 Ağustos 2020
Normalize Fark Yapılaşma İndeksi	raster	Plankare	Landsat 8 OLI	30mx30m	8 Temmuz 2020
Arazi örtüsü	raster	Plankare	Sentinel 2A	10m x10m	5 Ağustos 2020

Kentsel Soğuk Alan Sınırlarının Belirlenmesi

Yerel mekânsal otokorelasyon yöntemleri, rastgele dağılım gösteren coğrafi mekânsal değişkenlerin oluşturduğu mekânsal kümelenmesini ölçmektedir (Anselin, 2010). AYS objelerinden birbirine yakın olanları benzer karakter gösterme eğilimi uzakta yer alanlara göre daha yüksektir (Guo vd., 2015). Anselin Yerel Moran I istatistiği değişken değerleri açısından benzer alanları tespit etmesi (Çubukçu, 2015) nedeniyle çalışmada AYS değeri açısından düşük ve yüksek olan kümelerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu yöntem ile her bir 30m x 30m plankare için belirli bir komşuluk mesafesinde benzer özellikleri gösteren plankareler tespit edilmiştir. Bu çalışmada 60 metre komşuluk mesafesi 120, 180 ve 240 metre mesafelere göre kümeleri daha uygun tespit ettiği için kabul edilmiştir. Bu işlemler, ArcGIS Pro "Mekânsal İstatistik-Kümeleme ve Uç Değer Analizi" araç çubuğu aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda düşük sıcaklıkların kümelendiği bölgeleri düşük-düşük (DD) olarak yüksek sıcaklıkların kümelendiği bölgeleri ise (YY) olarak ifade edilmiştir. Bu yöntem ile İzmir kentsel soğuk alanları (DD) haritalandırılmıştır. Anselin Yerel Moran I DD plankareleri mekânsal olarak toplulaştırılacak kentsel soğuk alanları tanımlayan poligonlara dönüştürülmüştür.

İstatistiksel Analiz

Çalışmada kentsel soğuk alanların soğutma kapasitesi ile soğuk alanların mekânsal özellikleri arasındaki ilişki sıralama ölçekte ilişkinin ölçülmesinde kullanılan Sperman'ın sıralama korelasyon istatistiksel yönteminden yararlanılmıştır. Değişkenler normal dağılım göstermediği için değişkenler arasındaki ilişkinin şiddeti ve yönü parametrik olmayan bir istatistik yöntem (Çubukçu, 2015) olan Sperman'ın sıralama korelasyon katsayısı ile ölçülmüştür. Bu çalışmada istatistiksel analizin ölçeği kentsel soğuk alan poligonları (Guo vd., 2015) olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kentsel soğuk alan soğutma kapasitesini etkileyen değişkenler ortalama AYS (O_AYS), en küçük (Min_AYS), en büyük (Maks_AYS) ve standart sapma AYS (Std_AYS) olarak belirlenmiştir. Bu değişkenler her bir kentsel soğuk alan poligonu içinde yer alan plankarelerin AYS değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmada ölçek olarak kentsel soğuk alan poligonlarının belirlenmesi nedeniyle soğutma kapasitesinin açıklanmasında ortalama AYS değerinin tek başına yeterli olmayacağı dikkate alınarak diğer açıklayıcı istatistik değerlerden de yararlanılmıştır. Mekânsal özelliklere ilişkin değişkenler ise (1) yeşil alan varlığı (Ng vd., 2012, Maimaitiyiming vd., 2014, Kuşçu Şimşek ve Şengezer, 2012) ve mekânsal düzeni (Ren vd., 2013, Kong vd., 2014, Maimaitiyiming vd., 2014), (2) arazi örtüsü varlığı (Cheng vd., 2015, Du vd., 2016, Kong vd., 2014) ve mekânsal düzeni ve (3) soğuk alan karakteri (Cao vd., 2010, Kong vd., 2014, Lin vd., 2015) olmak üzere 3 ayrı kategoride ele alınmıştır.

Veri seti oluşturulurken uzaktan algılama ile farklı çözünürlükte üretilen veriler her bir değişken için leke ölçeğine indirgenerek, başka bir deyişle, her bir kentsel soğuk alan poligonu için ortalama, en büyük, en küçük veya standart sapma değerleri hesaplanarak üretilmiştir. Örneğin, O_AYS, NFBİ ve NFYİ değişken değeri, her bir kentsel soğuk alan poligonu içinde kalan plankarelere ait NFBİ ve NFYİ değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Böylelikle farklı boyutlardaki plankarelere ait değerler araştırma ölçeğini oluşturan kentsel soğuk alan lekelerine göre enterpole edilmiştir. Ağaç, çim ve su yüzeylerine ilişkin değişkenler ise her bir kentsel soğuk alan poligonu içindeki alansal büyüklüğün (metrekaresinin) toplam, ortalama, en büyük değer ve standart sapmasının hesaplanması ile elde edilmiştir. Örneğin toplam ağaç kaplı yüzey alanı, her bir kentsel soğuk alan poligonu içindeki ağaç kaplı yüzey alanlarının toplam metrekaresini ifade etmektedir. Kentsel soğuk alan karakteri ise her bir kentsel soğuk alan poligonunun alan metrekaresi ve çevre uzunluğunun hesaplanması ile üretilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2: Çalışmada kullanılan değişkenler

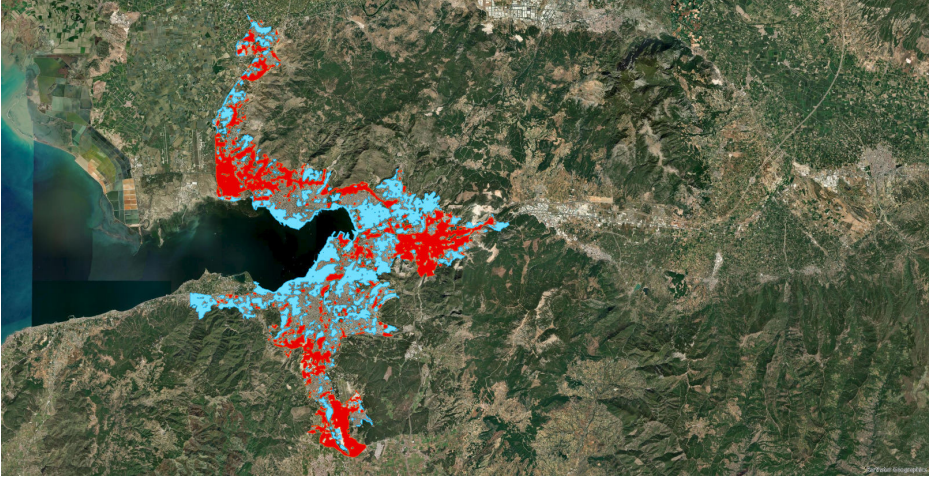
Kategori	Değişken	Kısaltma	Açıklama	
Bitki varlığı ve mekânsal düzeni	NFBİ	NFBİ	Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi	
	Ağaç kaplı yüzey	Toplam	AĞ_T	Toplam ağaç kaplı leke metrekaresi
		Sayı	AĞ_S	Toplam ağaç kaplı leke sayısı
		Maks	AĞ_M	En büyük ağaç kaplı leke metrekaresi
	Çim Yüzey	Toplam	ÇİM_T	Toplam çim kaplı leke metrekaresi
		Sayı	ÇİM_S	Toplam çim kaplı leke sayısı
		Maks	ÇİM_M	En büyük çim kaplı leke metrekaresi

Arazi örtüsü ve mekânsal düzeni	Su Yüzeyi	Toplam	SU_T	Toplam su yüzeyi leke metrekaresi
		Sayı	SU_S	Toplam su yüzeyi leke sayısı
		Maks	SU_M	En büyük su yüzeyi leke metrekaresi
Karakter	NFYİ		NFYİ	Normalize Fark Yapılaşma İndeksi
	Büyüklik		S_B	Soğuk alanın toplam alan metrekaresi
	Çevre uzunluğu		S_Ç	Soğuk alanın çevre uzunluğu (metre)
Sıcaklık	AYS	Ortalama	O_AYS	Ortalama arazi yüzey sıcaklığı
		En küçük	Min_AYS	En küçük arazi yüzey sıcaklığı
		En büyük	Maks_AYS	En büyük arazi yüzey sıcaklığı
		Standart sapma	Std_AYS	Arazi yüzey sıcaklığı standart sapması

Analiz ve Sonuçlar

İzmir Kentsel Soğuk Alanlar Mekânsal

İzmir kentsel alanlarında düşük sıcaklıklar denizin soğutma etkisi ile sahil boyunca devam etmekle birlikte bu soğutma etkisi kısıtlı alanlarda iç kesimlere ulaşmaktadır. Bu durum, denize yakın bölgelerde yer alan kentsel yeşil alanların ve tarım alanlarının bulunduğu bölgelerde görülmektedir (Şekil 1). Kentsel soğuk ve sıcak alan poligonları ortalama sıcaklık değerleri arasında 3,04 °C ve en küçük değerler arasında 8,1 °C sıcaklık farkı bulunmaktadır. İzmir soğuk alanları sıcaklık değerleri ağırlıklı olarak 31 °C ve 33 °C arasında değişirken sıcak alanlar ise 33,8 °C ve 34,5 °C arasında dağılım göstermektedir (Tablo 3). Kentsel alanlarda görece daha düşük sıcaklıkların kümelenildiği soğuk alanlarda dahi kentsel konfor açısından AYS değeri oldukça yüksektir. İzmir kentsel alanında farklı büyüklüklerde olmakla birlikte 482 tane DD poligonu ve 351 tane YY poligonu tespit edilmiştir. İzmir kentsel alanında soğuk alanlar toplam 6937,20 ha ile çalışma alanının %27'sini ve sıcak alanlar 6729,75 ha ile %26'sını kaplamaktadır. Kentsel soğuk alanlar, Manavkuyu, Narlıdere ve Bornova konut alanları gibi zeminde yeşil alan oranının daha yüksek olduğu konut alanlarında; Ege Üniversitesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Eğitim Kampüsü gibi kampüs tipi yapılaşmanın görüldüğü kentsel alanlarda; Kültürpark, Hasanağa Parkı, Mezarlıklar, Bornova Atatürk Parkı gibi kentsel açık yeşil alan ile Gültepe gibi eğimin yüksek ve kat yüksekliğinin düşük olduğu konut alanlarında görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2: İzmir kentsel alanı Anselin Yerel Moran I istatistiğine göre kentsel sıcak ve soğuk alanlar

(Kırmızı renkli alanlar YY-kentsel sıcak alanları, Mavi renkli alanlar DD-kentsel soğuk alanları göstermektedir.)

Tablo 3: İzmir kentsel sıcak ve soğuk alanlar istatistik değerleri

Moran tür	Plankare Sayısı	Poligon Sayısı	Arazi Yüze Y Sıcaklığı			
			Ort	Maks	Min	Std sapma
DD	77080	482	32,10	32,54	25,56	0,41
YY	74775	351	34,08	35,58	33,66	0,30

Bitki Varlığı ve Mekânsal Düzeninin Soğutma Kapasitesiyle İlişkisi

Bu çalışmada kentsel soğuk alan soğutma kapasitesi ile bitki varlığı ve mekânsal düzeni arasındaki ilişki ağaç kaplı yüzeyler, çim kaplı yüzeyler ve normalize fark bitki örtüsü indeksi başlıklarında incelenmiştir.

Ağaç kaplı yüzeyler

Bitki varlığı açısından en kuvvetli ilişki soğutma şiddeti ile ağaç kaplı yüzey sayısı (AG_S) değişkeni arasında gözlenmiştir. Bu ilişki ortalama AYS (O_AYS) ($r = -0,658$, $p < 0,01$) ve en küçük AYS (Min_AYS) ($r = -0,706$, $p < 0,01$) arasında negatif yönlü ve güçlü iken AYS'nin standart sapması ile (Std_AYS) ($r = 0,698$, $p < 0,01$) arasında pozitif yönlü ve güçlüdür. Ancak en büyük AYS (Maks_AYS) ile AG_S ($r = 0,362$, $p < 0,01$) arasındaki ilişki pozitif yönlü ve zayıftır. Orta kuvvette

ilişki ise ortalama ağaç kaplı yüzey büyüklüğü AG_O ile O_AYS ($r = -0,460$, $p < 0,01$) ve Min_AYS ($r = -0,403$, $p < 0,01$) arasında negatif yönlü iken Std_AYS ($r = 0,384$, $p < 0,01$) ile pozitif yönlüdür. Korelasyon sonuçlarına göre, AG_S ve AG_O arttıkça O_AYS ve Min_AYS değeri azalmış, AG_S arttıkça Maks_AYS ve Std_AYS değeri artmıştır (Tablo 4).

Ağaç kaplı toplam yüzey alanı (AG_T) ile O_AYS ($r = -0,123$, $p < 0,01$) ve Min_AYS ($r = -0,102$, $p < 0,05$) arasında negatif yönlü çok zayıf yönlü bir ilişki ölçülürken korelasyon sonuçları AG_T ile Maks_AYS ve Std_AYS arasında %95 güven aralığında anlamlı bir ilişki olmadığını göstermektedir. Benzer şekilde en büyük ağaç kaplı yüzey alanı (AG_M) ile O_AYS ($r = -0,123$, $p < 0,01$), Min_AYS ($r = -0,102$, $p < 0,01$) ve Maks_AYS ($r = -0,033$, $p < 0,01$) arasında negatif yönlü çok zayıf bir ilişki olduğu; Std_AYS ($r = 0,070$, $p < 0,01$) pozitif yönlü çok zayıf bir ilişki ölçülmüştür. Başka bir deyişle, AG_T ve AG_M arttıkça O_AYS ve Min_AYS azalırken AG_M arttıkça Std_AYS de artmıştır (Tablo 4).

Çim kaplı yüzeyler

Ağaç kaplı yüzeyler ve çim kaplı yüzeyler ile soğutma şiddeti arasındaki korelasyon ilişkisi benzerlik göstermiştir. Çim kaplı yüzey sayısı (ÇİM_S) ile O_AYS ($r = -0,647$, $p < 0,01$) ve Min_AYS ($r = -0,725$, $p < 0,01$) arasında negatif yönlü ve güçlü bir ilişki söz konusu iken Std_AYS ($r = 0,751$, $p < 0,01$) arasında pozitif yönlü ve güçlü bir korelasyon ilişkisi vardır. Ancak Maks_AYS ile AG_S ($r = 0,450$, $p < 0,01$) arasındaki ilişki pozitif yönlü ve orta düzeydedir. Korelasyon sonuçlarına göre, ÇİM_S arttıkça O_AYS ve Min_AYS değeri azalmış, ÇİM_S arttıkça Maks_AYS ve Std_AYS değeri artmıştır. Orta kuvvette ilişki ise ortalama çim yüzey alanı büyüklüğü (ÇİM_O) ile O_AYS ($r = -0,405$, $p < 0,05$) ve Min_AYS ($r = -0,399$, $p < 0,01$) arasında negatif yönlü iken Std_AYS ($r = 0,391$, $p < 0,01$) ile pozitif yönlüdür (Tablo 4).

Toplam çim kaplı yüzey alanı (ÇİM_T) ile O_AYS, Min_AYS ve Maks_AYS arasında %95 güven aralığında anlamlı bir ilişki olmadığı ancak ÇİM_T ile Maks_AYS ($r = -0,117$, $p < 0,05$) arasında negatif yönlü çok zayıf bir ilişki olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde başka bir deyişle, ÇİM_T ile O_AYS, Min_AYS ve Maks_AYS arasında %95 güven aralığında anlamlı bir ilişki olmadığı ancak ÇİM_T ile Maks_AYS ($r = -0,116$, $p < 0,05$) arasında negatif yönlü çok zayıf bir ilişki olduğunu göstermiştir. Buna göre ÇİM_T ve en büyük çim kaplı yüzey alanı (ÇİM_M) azalırken Maks_AYS artmıştır (Tablo 4).

Normalize fark bitki örtüsü indeksi

Bitki varlığı arttıkça değeri artarak 1'e yaklaşan Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NFBİ) ile O_AYS ($r = -0,321$, $p < 0,01$) ve Min_AYS ($r = -0,309$, $p < 0,05$) arasında negatif yönlü, Std_AYS ($r = 0,285$, $p < 0,01$) ile pozitif yönlü zayıf bir ilişki

söz konusudur. NDBİ değeri arttıkça AYS azalmakta olup Std_AYS artmaktadır. Buna ek olarak NDBİ ile Maks_AYS arasında %95 güven aralığında istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir (Tablo 4).

Tablo 4: Sperman'ın sıralama korelasyon katsayıları (r)

Kategori	Değişken	O_AYS	Min_AYS	Maks_AYS	Std_AYS
Bitki varlığı ve mekânsal düzeni	NFBİ	-,321**	-,309**		,285**
	AĞ_T	-,123**	-,102*		
	AĞ_S	-,658**	-,706**	,362**	,698**
	AĞ_M	-,123**	-,102**	-,033**	,070**
	AG_O	-,460**	-,403**		,384**
	ÇİM_T			-,116*	
	ÇİM_S	-,647**	-,725**	,450**	,751**
	ÇİM_M			-,117*	
	ÇİM_O	-,405*	-,399**		0,391**
Arazi örtüsü ve mekânsal düzeni	SU_T	-,125**	-,106*	-,093*	
	SU_S	-,125**	-,105*	-,094*	
	SU_M	-,125**	-,106*	-,093*	
	SU_O	-,125**	-,105*	-0,094*	
Karakter	NFYİ	,374**	,352**		-,302**
	S_B	-,797**	-,873**	,463**	,915**
	S_Ç	-,782**	-,862**	,469**	,905**

(**p<0,01; *p<0,05)

Soğuk Alan Karakter Özelliklerinin Soğutma Kapasitesiyle İlişkisi

Çalışma sonuçları, incelenen bütün değişkenler içinde arazi yüzey sıcaklığı (AYS) ile en yüksek korelasyon gösteren değişkenler kentsel soğuk alanların karakterine ilişkin incelenen S_B ve S_Ç'nin olduğunu ortaya koymuştur. Kentsel soğuk alan büyüklüğü (S_B) ve kentsel soğuk alan çevresi (S_Ç AYS) ile yakın korelasyon değerlerine sahiptir. Buna göre S_B ile O_AYS ($r = -0,792$, $p < 0,01$), Min_AYS ($r = -0,873$, $p < 0,01$), Std_AYS ($r = 0,915$, $p < 0,01$) arasında çok kuvvetli bir korelasyon varken, Maks_AYS ($r = 0,463$, $p < 0,01$) ile arasında orta kuvvette pozitif yönlü bir korelasyon ilişkisi ölçülmüştür. Benzer şekilde S_Ç ile O_AYS ($r = -0,792$, $p < 0,01$), Min_AYS ($r = -0,873$, $p < 0,01$), Std_AYS ($r = 0,915$, $p < 0,01$) arasında çok kuvvetli bir korelasyon varken Maks_AYS ($r =$

0,469 , $p<0,01$) ile arasında orta kuvvette pozitif yönlü bir korelasyon ilişkisi ölçülmüştür. Buna göre S_B ve S_Ç değeri arttıkça O_AYS ve Min_AYS azalırken Maks_AYS ve Std_AYS artmıştır (Tablo 4).

Arazi Örtüsü ve Mekânsal Düzeninin Soğutma Kapasitesiyle İlişkisi

Bu çalışmada kentsel soğuk alan soğutma kapasitesi ile arazi örtüsü ve mekânsal düzeni arasındaki ilişki su yüzeyleri ve normalize fark yapılaşma indeksi başlıklarında incelenmiştir.

Normalize fark yapılaşma indeksi

Geçirimsiz yüzey alanı arttıkça değeri 1'e yaklaşan Normalize Fark Yapılaşma İndeksi (NFYİ) ile O_AYS($r= 0,374$, $p<0,01$) ve Min_AYS ($r= 0,352$, $p<0,05$) arasında pozitif yönlü, Std_AYS ($r= -0,302$, $p<0,01$) ile negatif yönlü zayıf bir ilişki söz konusudur. NFYİ değeri arttıkça O_AYS ve Min_AYS artmakta olup Std_AYS azalmaktadır. Buna ek olarak NDYİ ile Maks_AYS arasında %95 güven aralığında anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir (Tablo 4).

Su yüzeyleri

Çalışma sonuçlarına göre su varlığını açıklayan toplam su yüzeyi alanı (SU_T) ($r= -0,125$, $p<0,01$), su yüzeyi sayısı (SU_S), en büyük su yüzeyi büyüklüğü (SU_M) ve ortalama su yüzeyi büyüklüğü (SU_O) değişkenleri ile O_AYS arasında aynı değerlerde oldukça zayıf bir korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Yakın değerler Min_AYS ve Maks_AYS arasındaki korelasyon ilişkisinde de ölçülmüştür (Tablo 4). Bu durum veri setinin içinde su kaplı yüzeylere ilişkin yeterli büyüklüğe sahip örneklemin olmaması ile ilişkili olabilir.

Değerlendirme

Bitkilendirmenin Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında Önemi

Çalışmanın sonuçlarına göre NFBİ değeri arttıkça sıcaklık (O_AYS) azalmıştır. Geçmişte yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiş ancak bu çalışmanın sonuçlarına göre AYS ile NFBİ arasında daha yüksek bir korelasyon katsayısı değeri ölçülmüştür (Amiri vd., 2009, Carlson ve Arthur, 2000, Hung vd., 2006, Kuşçu Şimşek ve Şengezer, 2012, Mackey vd., 2012, Marando vd., 2019, Yuan ve Bauer, 2007; Tiangco vd., 2008; Weng ve Lu, 2008). Bitki varlığını ifade eden diğer değişkenlerden toplam ağaç kaplı yüzey alanı (AG_T) ve toplam çim kaplı yüzey alanı (ÇİM_T) ile AYS ile negatif yönde çok zayıf bir ilişkisi olduğu ölçülmüştür. Buna karşıt olarak yazında ağaç varlığını ifade eden

ağaç kaplı yüzey oranı (Maimaitiyiming vd., 2014, Ren vd., 2013) ve toplam ağaç kaplı yüzey alanı değişkenlerinin ile AYS (Kong vd., 2014) arasında kuvvetli bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları ağaç ve çim varlığına göre bunların mekânsal biçimlenişinin sıcaklığı açıklamada daha önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu durum geçmişte yapılan çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir (Zhou vd., 2017). Buna göre yeşilin mekânsal yoğunluğunu ifade eden çim (ÇİM_S) kaplı yüzey sayısı ve ağaç kaplı yüzey sayısı (AG_S) yeşilin varlığı açısından sıcaklığı en çok etkileyen değişken olmuştur. Elde edilen bu sonuç geçmişte yapılan çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir (Maimaitiyiming vd., 2014). Ağaç ve çim kaplı yüzey lekelerinin sayıca artması yeşilin kentsel soğuk alan içinde daha küçük parçalar halinde ancak mekânda farklı konumlarda biçimlenerek mekânsal süreklilik gösterdiğini ifade etmektedir. Leke sayısının artması toplam yeşil alan çevresinin arttığını ve bu durumun kentsel alan ile yeşil alan arasındaki etkileşim yüzeylerinin artmasıyla sıcaklığı daha çok düşürdüğünü göstermektedir (Cao vd., 2010, Maimaitiyiming vd., 2014, Li vd., 2017, Zhang vd, 2016). Ancak bitki varlığına ilişkin leke sayısının artması sıcaklığın en büyük (Maks_AYS) ve standart sapma (Std_AYS) değerinin artmasına neden olmuştur. Bu durum leke sayısının artması ile parçalanmanın artması ve alanların küçülmesine bağlı olarak sıcaklığın artmasından kaynaklanabilir. Ayrıca parçalanma ile her bir lekenin soğutma etkisinin düşmesi nedeniyle çevresi ile sıcaklık farkı artacağı için AYS standart sapma değeri de artış gösterebilir (Tablo 4).

Çalışma sonuçları en büyük çim kaplı yüzey alanı (ÇİM_M) ve en büyük ağaç kaplı yüzey alanı (AG_M) arasında negatif yönlü zayıf bir korelasyon ölçerken ortalama yüzey alanları ile (AG_O ve ÇİM_O) orta kuvvette bir negatif yönlü bir korelasyon ölçmüştür. Elde edilen bu sonuçlar geçmişte yapılan çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir (Kong vd., 2014, Zhou vd., 2017). Bu durum küçük yeşil alanlar yerine daha büyük yeşil alanların mekânda süreklilik göstermesinin sıcaklığı daha fazla azalttığını göstermektedir. Ortalama yeşil alan büyüklüğü arttıkça kentsel çevre ile etkileşim yüzeyi artmaktadır (Cao vd., 2010, Maimaitiyiming vd., 2014, Li vd., 2017, Zhang vd, 2009). Etkileşim yüzeyinin artması kentsel alanlarda daha fazla gölgelik alanın oluşması ve sıcaklığı farklı iki bölge arasında ısı akışının artmasına neden olmuştur (Maimaitiyiming vd., 2014, Zhou vd., 2017). Ancak en büyük yeşil alan büyüklüğü diğer değişkenlere oranla daha az etkili olmuştur. Bu durum örnek alan olan İzmir ilinde çok büyük ölçekli yeşil alanların da yer almaması ile de ilgili olabilir. Ancak önceki çalışmalar kentlerde yeşil alanın mekânsal biçimlenişinin sıcaklığı açıklamada soğutma şiddeti ve önemi açısından çeşitlilik gösterebileceğini vurgulamıştır (Zhou vd., 2017).

Yazında ağaçların soğutma etkisi açısından çim yüzeylere göre kamusal açık alanlarda daha etkili olduğunu ortaya koymuştur (Ng vd., 2012, Zardo vd., 2017). Bu durum ağacın gölge etkisinden kaynaklanmıştır (Bowler vd., 2010). Ancak bu çalışmanın sonuçları çim ve ağaç kaplı yüzeyler arasında anlamlı bir farklılık göstermemiştir.

Soğuk Alan Karakterinin Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında Önemi

Bu çalışmada kapasitesi kentsel soğuk alanların soğutma şiddetinin açıklanmasında kentsel yeşil alan büyüklüğünün (S_B) oldukça önemli bir etken olduğunu (Tablo 4) ve yeşil alan büyüklüğü arttıkça İzmir kentsel alanında soğuk alanların soğutma kapasitesinin (O_AYS ve Min_AYS) arttığını ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuç önceki çalışmaların sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir (Cao vd., 2010; Kong vd., 2014; Lin vd., 2015; Shashau-Bar ve Hoffman, 2010). Yazında, Cao vd. (2010) kentsel yeşil alan büyüklüğünün soğutma şiddetini %60 oranında açıkladığını ancak tek başına yeterli olmadığını vurgulamıştır. Benzer şekilde Ren vd. (2013) kentsel yeşil alan büyüklüğü ve çevre uzunluğunun yaz aylarında %54.66-%56.22 oranında soğutma şiddetini açıkladığını ölçmüştür. Yazındaki sonuçlara benzer şekilde bu çalışmanın sonuçları da bitki örtüsü ve arazi örtüsü ile ilişkili değişkenlerden soğuk alanların karakterine ilişkin kentsel soğuk alan büyüklüğü (S_B) ve kentsel soğuk alan çevresi (S_Ç) değişkenlerinin soğutma kapasitesini açıklamada en önemli değişken olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 4). Buna ek olarak büyüklük ve çevre değerlerinin artması kentsel soğuk alan en büyük sıcaklık değeri (Maks_AYS) ile standart sapmanın (Std_AYS) artmasına neden olmaktadır. Bu durum çalışmada belirlenen kentsel soğuk alanların büyüklüğü arttıkça alan sınırında konumlanan geçirimsiz yüzey oranı yüksek kentsel alanların artmasından kaynaklanmaktadır.

Arazi Örtüsünün Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında Önemi

Çalışmanın sonuçları su yüzeyi toplam alanı (SU_T), sayısı (SU_S), ortalama (SU_O) ve en büyük su yüzeyi alanı (SU_M) arttıkça sıcaklığın düştüğünü ortaya koymuş ancak bu korelasyon ilişkisinin negatif yönlü ve zayıf olduğunu göstermiştir. Yakın sonuçlar geçmişte yapılan çalışmaların sonuçlarında da ölçülmüştür (Cheng vd., 2015, Du vd., 2016, Kong vd., 2014). Ancak çalışmanın kentsel alanda yürütülmesi sebebiyle toplam veri setinin içinde su yüzeyine ilişkin verinin azlığı, ölçüt oluşturma açısından önemli bir kısıt olarak yer almıştır.

Kentsel ısı adası etkisinin önemli faktörlerinden biri olan geçirimsiz yüzeylerin yoğunluğunu ifade eden Normalize Fark Yapılaşma İndeksi (NFYI)

değeri arttıkça ortalama arazi yüzey sıcaklığı (O_AYS) ve en küçük arazi yüzey sıcaklığı (Min_AYS) değeri artmıştır. İki boyutlu arazi örtüsüne ilişkiye ilişkin önemli bir ölçüt olan NFYİ, AYS'nın açıklanmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle plankare ölçekte yürütülen önceki çalışmalarda kentsel ısı adası etkisi ile NFYİ arasında çok kuvvetli ilişki olduğu tespit edilmiştir (Chen vd., 2013, Du vd. 2016, Guo vd., 2015, Malik vd., 2019). Önceki çalışmaların sonuçları incelendiğinde bu çalışmada NFYİ ile AYS arasındaki korelasyonun yüksek olması beklenmesine rağmen çalışmanın leke ölçeğinde yürütülmesi orta kuvvette bir ilişkinin ölçülmesine neden olmuştur (Tablo 4) (Chen vd., 2013, Du vd. 2016, Guo vd., 2015, Malik vd., 2019).

Sonuç

Kentsel ısı adası etkisinin azaltımında kentsel soğuk alanların mekânsal ve karakter özellikleri, soğutma kapasitesini belirlemede önemli unsurlardır. Kentsel mekânda soğuk alanlar sahip oldukları soğutma kapasitesi nedeniyle çevresindeki görece daha sıcak alanları soğutmakta ve halk sağlığı açısından sıcaklığa bağlı riski azaltmaktadır. Çalışmada kentsel soğuk alan olarak tanımlanan çevrelerde ortalama AYS 32 °C olarak ölçülmüştür. Göreceli bir soğukluğu tarifleyen bu durum, kentsel alandaki sıcaklığın halk sağlığı açısından önemli bir tehlike oluşturduğunu göstermiştir. Bu sıcaklık değeri kentsel konfor açısından incelendiğinde oldukça yüksektir. Bu bağlamda çalışmanın sonuçları öncelikli bir konu haline gelen kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında etkili olan başlıkları tartışmaya açmıştır.

Çalışmanın sonuçları, kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında; (1) kentsel soğuk alan büyüklüğünün en önemli değişken olduğunu, (2) yeşil varlığı ile birlikte yeşilin mekânsal düzeninin de önemli olduğunu, (3) su yüzeyi, yeşil alan gibi soğutma etkisine sahip alanlar ile kentsel alanlar arasındaki etkileşim yüzeylerinin artırılmasının etkili bir araç olduğunu (4) kentlerde geçirimsiz yüzeylerin azaltılması gerektiğini ortaya koymuştur. Ancak bu çalışma yalnızca İzmir ili kentsel soğuk alanlarını incelemiştir. Kentsel sıcak alanlarda mekânsal özelliklerin nasıl değiştiği incelenerek yüksek ve düşük sıcaklıkların kümelenildiği bölgeler arasındaki farkların da tartışılmaya ihtiyacı vardır. Bu çalışma, elde ettiği sonuçlar ile mekânsal planlama pratiği için kentsel ısı adası etkisinin azaltılması kapsamında geliştirilecek karar ve stratejilere ışık tutma konusunda katkı sunmaktadır.

Kaynakça

Adeyeria, O. E., Akinsanolab, A. A. ve Isholac, K. A. (2017) Investigating surface urban heat island characteristics over Abuja, Nigeria: Relationship between land surface temperature and multiple vegetation Indices. *Remote Sensing Applications: Society ve Environment*, 7:, 2017:, 57-68.

Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A. ve 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:, 2009:, 2606-2617.

Anselin, L., Syabri, I. ve Kho, Y. (Ed). (2010) *GeoDa: an introduction to spatial data analysis. Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg.

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M. ve Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97:, 2010:, 147-155.

Cao, X., Onishi, A., Chen, J. ve Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 96:, 2010:, 224-231.

Carlson, T. ve Arthur, S. T. (2000). The impact of land use - Land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective. *Global and Planetary Change*, 25(1):, 2000:, 49-65. DOI:10.1016/S0921-8181(00)00021-7

Chen, L., Li, M., Huang, F. ve Xu, S. (2013). Relationships of LST to NDBI and NDVI in Wuhan City based on Landsat ETM+. *6th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)* 16-18 Dec., 2013. DOI: 10.1109/CISP.2013.6745282

Cheng, X., Wei, B., Chen, G., Li, J. ve Song, C. (2015). Influence of Park Size and Its Surrounding Urban Landscape Patterns on the Park Cooling Effect. *J. Urban Plann. Dev.*, 141(3):, 2015:, A4014002.

Çubukçu, K. M. (2015). *Planlamada ve Coğrafyada Temel İstatistik ve Mekânsal İstatistik* (1). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Dai, X., Guo, Z. ve Zhang, L. (2010). Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Stoch Environment Res Risk Assess*, 24:,2010:, 247-257.

Du, H., Wang, D., Wang, Y., Zhao, X., Qin, F., Jiang, H. ve 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. *Sci. Total Environ.*, 571:, 2016:, 461-470.

El-Hattab, M., Amany, S.M. ve Lamia, G. E. (2017). Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt". *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 21:, 2018:, 311-323.

Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X. ve Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135:, 2015:, 1-10.

Hung, T., Uchihama, Ochi, S. ve Yasuoka, Y. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8 (1):, 2006:, 34-48.

İzmir Büyükşehir Belediyesi, (2019). 2015-2019 *Stratejik Planı*, İzmir.

Kong, F., Yin, H., Wang, C., Cavan, G. ve James, P. (2014). A satellite image-based analysis of factors contributing to the green-space cool island intensity on a city scale. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13:, 2014:, 846-853.

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

Leconte, P., Bouyer, J. Claverie., R. ve Petrissans, M. (2015). Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. *Building and Environment*, 83:, 2015:, 39-49.

Li, W., Cao, Q., Lang, K. ve Wu, J. (2017). Linking potential heat source and sink to urban heat island: Heterogeneous effects of landscape pattern on land surface temperature. *Science of the Total Environment*, 586:, 2017:, 457-465.

Lin, W., Yuc, T., Changa, X., Wua, W. ve Zhanga, Y. (2015) Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test., *Landscape and Urban Planning*, 134:, 2015:, 66-75.

Liu, L., Lin, Y., Wang, L., Cao, J., Wang, D., Xue, P. ve Liu, J. (2017). An integrated local climatic evaluation system for green sustainable eco-city construction: A case study in Shenzhen, China. *Building and Environment*, 114:, 2017:, 82-95.

Mackey, C. W., Lee, X. ve Smith, R. B. (2012). Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment*, 49:, 2012:, 348-358.

Maimaitiyiming, M.; Ghulam, A.; Tiyip, T.; Pla, F.; Carmona, P.; Halik, Ü.; Sawut, M. Ve Caetano, M. (2014). Effects of green Space Spatial Pattern On Land Surface Temperature: Implications for sustaniable Urban Planning and Climate Change Adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89:, 2013:, 59-66.

Malik, M. S., Shukla, J. P. ve Mishra, S. (2019). Relationship of LST, NDBI and NDVI using Landsat-8 data in Kandaihimmat Watershed, Hoshangabad, India. *Indian Journal of Geo-Marina Science*. 48(1):, 2019:, 25-31.

Marando, F., Salvatori, E., Sebastiani, Fusaro, L. ve Manes, F. (2019). Regulating Ecosystem Services and Green Infrastructure: assessment of Urban Heat Island effect mitigation in the municipality of Rome, Italy *Ecological Modelling*, 392:, 2019:, 92-102.

Mediterrian Experts on Climate ve Environmental Change (2019). *Risks Associated to Climate and Environmental Changes In The Mediterranean Region*. Erişim adresi: https://www.medecc.org/wp-content/uploads/2018/12/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf. Erişim tarihi: 27.04.2021

Meng, Q., Zhang, L., Sun,Z., Meng, F., Wang, L. ve Sun, Y. (2018). Characterizing spatial and temporal trends of surface urban heat island effect in an urban main built-up area: A 12-year case study in Beijing, China. *Remote Sensing of Environment*, 204:, 2018:, 826-837.

Mirzaei, P. A. ve Haghghat, F. (2010). Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10):, 2010:, 192-2201.

Monteiro, M. V., Doick, K. J., Handley, P. ve Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal airtemperature cooling in London. *Urban Forestry ve Urban Greening*, 16:, 2016:, 160-169.

NASA (2000). Erişim adresi: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation> . Erişim tarihi: 01.05.2020

Nemani, R., ve Running, S. (1989). Estimation of regional surface resistance toevapotranspiration from NDVI and thermal-IR AVHRR data. *Journal of AppliedMeteorology*, 28(4):1989:, 276-284.

Ng, E., Chen, L., Wang, Y. ve Yuan, C. (2012) "A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong". *Building and Environment*, 47:,2012:, 256-271.

Oliveira, S., Andrade, H. ve Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 46:, 2011:, 2186-2194.

Pan, J. (2016). Area Delineation and Spatial-Temporal Dynamics of Urban Heat Island in Lanzhou City, China Using Remote Sensing Imagery. *J Indian Soc Remote Sensing*, 44(1):, 2016:, 111-127.

Peng, J., Xie, P., Liu, Y.X. ve Ma, J. (2016). Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region. *Remote Sens. Environ.*, 173:, 2016:, 145-155.

Qin Z., Zhang M., Amon K. ve Pedro B., (2001). Monowindow algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM 6 data. *Acta Geogr. Sin.*, 56:, 2001:, 456-466.

Ren, Z., He, X., Zheng, H., Zhang, D., Yu, X., Shen, G. ve Guo, R. (2013). Estimation of the Relationship between Urban Park Characteristics and Park Cool Island Intensity by Remote Sensing Data and Field Measurement. *Forests*. 4:, 2013:, 868-886.

Shashau-Bar, L. ve Hoffman, M.E. (2010). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street : An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, 31:, 2010:, 221-235.

Tiangco, M., Lagmay, A. M. ve Argete, J. (2008) ASTER-based study of the nighttime urban heat island effect in Metro Manila. *International Journal of Remote Sensing*, 29(10): 2008:, 2799-2818. DOI:10.1080/01431160701408360

TÜİK, (2020). <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109>. Erişim tarihi: 29.01.2022

Voogt, J. A. ve Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climate. *Remote Sensing of Environment*, 86:, 2003:, 370-384.

Walawender, J. P., Szymanowski, M., Hajto, M. J. ve Bokwa, A. (2014). Land Surface Temperature Patterns in the Urban Agglomeration of Krakow (Poland) Derived from Landsat-7/ETM+ Data. *Pure and Applied Geophysics*, 171:, 2014:, 913-940.

Weng, Q., ve Lu, D. (2008). A sub-pixel analysis of urbanization effect on lve surface temperature ve its interplay with impervious surface ve vegetation coverage in Indianapolis. *United States*, 10:, 2008:, 68–83.

Wong, N. H. ve Yu, C. (2005). Study of green areas ve urban heat islve in a tropical city. *Habitat International*, 29:, 2005:, 547-558.

Yuan, F. ve 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:, 2007:, 375-386.

Zardo, L., Geneletti, D., Perez-Soba, M. ve Van Eupen, M. (2017). Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem Services*, 26:, 2017:, 225-235.

Zhang, W., Zhu, Y. ve Jiang, J. (2016). Effect of the Urbanization of Wetlands on Microclimate: A Case Study of Xixi Wetland, Hangzhou, China, *Sustainability*, 8(9):, 2016:, 885.

Zhang, Y., Jiang, P., Zhang, H. ve Cheng, P. (2018). Study on Urban Heat Island Intensity Level Identification Based on an Improved Restricted Boltzmann Machine.. *International journal of Environmental Research and Public Health*, 15:,2018:, 186.

Zhou, W., Wang, J. ve, Cadenasso, M. (2017). Effects of the spatial configuration of trees on urban heat mitigation: A comparative study. *Remote Sensing of Environment*, 195:, 2017:, 1-12.

