



Kentsel Mekânda Soğutma Yayılımının Araştırılması, İzmir Örneği

Investigating cooling extend in the urban area, case of İzmir

Yasemin Şentürk*^a, K. Mert Çubukçu^b

Makale Bilgisi

Araştırma Makalesi

DOI:

0.33688/aucbd.1340464

Makale Geçmişi:

Geliş: 10.08.2023

Kabul: 25.09.2023

Anahtar Kelimeler:

Kentsel soğuk ada

Soğutma yayılımı

Soğutma şiddeti,

Mekânsal istatistik

Uzaktan algılama

Öz

Kentsel mekânda, doğal ve doğal olmayan yeşil- mavi altyapı elemanları bitki örtüsüz alanların ısınma etkisine karşı yerel sıcaklıkları düzenlenme konusunda önemli rol oynamaktadır. Kentsel mekânda sıcaklığın mekânsal dağılımını biçimlendiren bu alanlar, kentsel soğuk ada olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışma İzmir kentsel alanı yüzey sıcaklığı (YS) mekânsal dağılımını etkileyen unsurların araştırılmasında bir yöntem geliştirmeyi amaçlamaktadır. Kentsel soğuk adaların sınırlarının tespiti için uzaktan algılama ve mekânsal istatistik yöntemlerinden yararlanılarak bir yöntem önerilmiştir. Kentsel mekânda soğutma kapasitesinin incelenmesinde soğutma yayılım alanı ölçüt olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, kentsel soğuk ada büyüklüğü ve soğutma şiddetinin yayılım alanıyla ilişkisi ölçülmüştür. Elde edilen bulgular, soğutma etkisi yayılım alanını açıklamada kentsel soğuk ada büyüklüğünün soğutma şiddetine göre çok daha etkili olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, çalışmanın geliştirdiği araştırma yaklaşımı ve elde ettiği sonuçların sürdürülebilir kentsel planlama ve yönetim bağlamında iklim değişikliğine uyum sürecinde kent bütününde sıcaklığın desenini belirleyen unsurları araştırarak kısıtlı sayıda çalışmalara katkı sunacaktır.

Article Info

Research Article

DOI:

0.33688/aucbd.1340464

Article History:

Received: 10.08.2023

Accepted: 25.09.2023

Keywords:

Urban cool island

Cooling extend

Cooling intensity

Spatial statistics

Remote sensing

Abstract

In urban space, green-blue infrastructure plays an important role in regulating local temperatures against the heating effect of areas without vegetation. These areas, which shape the spatial distribution of temperature in urban space, are called urban cold islands. This study aims to develop a method for investigating the factors affecting the spatial distribution of land surface temperature (LST). A method has been proposed for extracting the boundary of urban cold islands by using remote sensing and spatial statistics methods. Cooling extend was determined as a measure in analyzing cooling capacity of urban environment. According to scope of the study, the relationship between both of size of urban cool island and cooling intensity, and cooling extend was measured, then, discussed the impact on local climate conditions. The findings showed that size of urban cool island was more effective than the intensity in explaining cooling extend. As a result, the research approach and the findings will insight for mitigation of urban heat island effect in the context of sustainable urban planning and management.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: iyteyaseminsenturk@yahoo.com

^aDokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, İzmir/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-7158-6657>

^bDokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İzmir/Türkiye, <https://orcid.org/0000-0003-3604-7014>

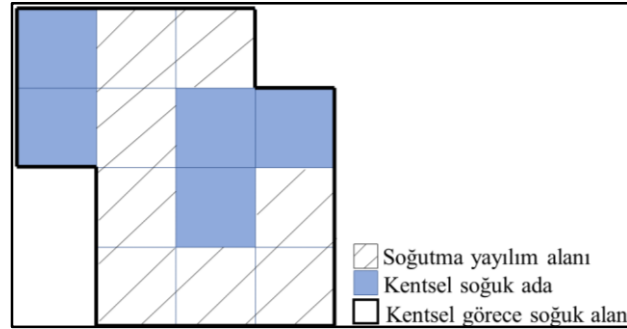
1. Giriş

Günümüzde artan şehirleşme, sanayileşme ve tüketim alışkanlıkları ile çevre ve atmosferin kirlenmesi sonucunda küresel iklim değişikliği önemli çevresel sorunlardan biri haline gelmiştir. C40 ülkeleri için iklim değişikliğine bağlı üçüncü en çok kaydedilen doğa olayı kentsel ısı adası etkisidir (C40 Cities, 2023). Mega kentlerimizde yıllar içinde artış eğiliminde olan kentsel ısı adası etkisinin minimum hava sıcaklıklarının, özellikle de gece sıcaklıklarının, artmasına neden olduğu ve buna bağlı olarak kentte ve kırdaki iklimsel koşulların değişmesine yol açtığı ortaya konmuştur (Baykara, 2023; Ünal vd., 2020). Kentsel ısı adası etkisi genellikle sanayi, yoğun kentleşmiş ticaret ve konut alanları (Liu vd., 2017; Zhang vd., 2017), havaalanı ve demiryolu gibi farklı arazi kullanımların bir arada konumlandığı kentsel dokularda gözlemlenmektedir (Leconte vd., 2015). Buna karşıt olarak genellikle ormanlar, su yüzeyleri, çayırlar, ekili tarım alanları ve kentsel yeşil alanlarda daha düşük sıcaklıklar gözlenmektedir (Sekertekin vd., 2016). Parklardan sulak alanlara ve kent ormanlarına kadar insan tarafından yönetilen kentsel yeşil alanlar, doğal ve doğal olmayan kentsel mavi-yeşil altyapıyı oluşturmakta ve (Bolund ve Hunhammar, 1999) bitki örtüsüz alanların ısınma etkisine karşı yerel sıcaklıkların düzenlenmesi konusunda önemli rol oynamaktadır (Hardin ve Jensen, 2007). Buna göre, kentsel alanlarda, yeşil alanların yakınında görece daha düşük sıcaklıklar ölçülmekte; yoğun yapı kümelerinde ise daha yüksek sıcaklıklar gözlenmektedir (Liu vd., 2017). Sıcaklığın mekânsal dağılımını etkileyen düşük sıcaklıkların kümelenildiği bu alanlar yazında ısı emici (Liu vd., 2017), kentsel soğuk ada (Kong vd., 2014), yerel soğuk ada (Chang ve Li, 2014) veya park soğuk adası (Gao vd., 2022) olarak adlandırılmaktadır. Yazındaki bu çalışmaların sonuçları, kentsel soğuk adaların bitişiğindeki yapıları çevrenin soğutma etkisine maruz kaldığını ve bu durumun kentsel mekânda orta sıcaklıkların ölçüldüğü geçiş alanlarını yarattığını ortaya koymuştur (Şentürk ve Çubukçu, 2023; Wang ve Zhu, 2011). Bu durum sıcaklığın mekânsal dağılımında kentsel soğuk adalar etrafında radyal bir desen olarak gözlenmektedir (Peng vd., 2017; Sun vd., 2020). Bu bağlamda, kentsel soğuk adalar sahip oldukları soğutma kapasitesi sayesinde bitişiğindeki yapıları çevrenin yerel iklimini düzenlemesi açısından kentsel ısı adası etkisinin önlenmesi ve azaltımında önemli rol oynamaktadır. Kentsel ısı adası etkisinin önlenmesinde önemli yaklaşımlardan biri olan “Serin Şehir” yaklaşımı da kentsel soğuk adalar gibi kentin soğutma kapasitesini artıran unsurların geliştirilmesinin önemli bir araç olduğunu vurgulamaktadır (C40 Cities, 2022).

Yazında sıcaklığın mekânsal dağılımı ve soğutma kapasitesi bulunan unsurlar arasındaki ilişkinin ölçülmesi amacıyla yürütülen çalışmalarda genellikle doğrudan park (Gao vd., 2022; Geng vd., 2022), ağaç kaplı alan (Kong vd. 2014; Shih vd., 2017), sulak alan veya su yüzeyi (Peng vd., 2020) gibi alanların sınırları kentsel soğuk ada sınırı olarak kabul edilerek araştırma çerçevesi geliştirilmektedir. Kentsel ısı adası etkisine karşı soğutma etkisinin optimize edilmesinde, kentsel soğuk ada büyüklüğü ve soğutma şiddeti yaygın olarak araştırılmaktadır. Ancak kısıtlı sayıdaki çalışma soğutma kapasitesini etkileyen unsurları bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır (Du vd., 2016; Peng vd. 2020). Büyük kentsel soğuk adaların genellikle güçlü soğutma etkisine sahip olduğu ve soğutma etkisinin daha geniş çevrelerde hissedildiği bilinmektedir (Ekwe vd., 2020; Geng vd., 2022). Ancak soğutma etkisi yayılım alanını genellikle belirli bir mesafedeki tampon alanında uzaklığa bağlı sıcaklık farkının ölçülmesi sonucunda belirlenmiştir. Kısıtlı sayıdaki çalışma yayılım alanının tespitinde farklı yöntemler

geliştirmiştir (Du vd., 2022; Lin vd., 2015; Zhang vd., 2017). Bu çalışmada soğutma etkisi yayılım alanının belirlenmesinde mekânsal istatistiğe bağlı bir yöntemden yararlanılmıştır.

Termal çevrenin oluşmasında kentsel soğuk ada soğutma şiddeti oldukça etkilidir (Das vd., 2022; Du vd., 2022). Önceki çalışmalarda kentsel soğuk ada ve bitişiğindeki yapılı çevre arasında 6 °C ve 7 °C ye kadar artan sıcaklık farkları ölçülmüştür (Kong vd., 2014; Peng vd., 2020). Bu çalışmalar genellikle belirli bir alanda sıcaklık değişimini gözlemleyerek soğutma kapasitesini incelemiştir (Chang ve Li, 2014; Cheng vd., 2015; Cheung ve Jim, 2019; Lin vd., 2015; Ren vd., 2013). Ancak kısıtlı sayıdaki çalışma soğuk adaların yarattığı çoklu soğutma etkisini tartışmaya açmıştır (Das vd., 2022; Zhang vd., 2017). Buradan yola çıkarak, bu çalışma kentsel soğuk adaların bir araya gelerek kentsel mekânın soğutma kapasitesini geliştirmesinin mümkün olduğunu varsaymıştır. Başka bir deyişle, kentsel soğuk adalar ve soğutma etkisinin hissedildiği kentsel alanlar bir araya gelerek kentte düşük sıcaklıkların kümelenmesine yol açmaktadır (Şekil 1). Kentsel mekânda görece düşük sıcaklıkların gözlemlendiği bu alanlar bu çalışma kapsamında kentsel görece soğuk alan olarak tanımlanmıştır. İzmir kentinde kentsel görece soğuk alanlar, iklim koşullarını belirlemede önemli bir değişken olarak ele alınmıştır. Buna göre soğuk alanların kentte daha geniş çevrelerde gözlenmesi sıcaklık değerlerinin azalmasına neden olmaktadır (Şentürk ve Çubukçu, 2022). Bu çalışma yüzey sıcaklığı (YS) desenini belirlemede önemli bir unsur olan soğutma yayılım alanını belirleyen faktörleri tartışmaya açmaktadır.



Şekil 1. Kentsel görece soğuk alan şematik gösterimi

Kentsel ısı adası etkisinin önlenmesinde kentsel soğuk ada ve soğutma yayılım alanının yaygınlaşması sıcaklık stresine maruz kalan kentli sayısının azalması açısından da önemlidir. Ancak yazında kentsel mekânın soğutma kapasitesini belirleyen unsurların araştırılmasına ihtiyaç vardır. Bu çerçevede, bu çalışma İzmir kentsel alanı yüzey sıcaklığı (YS) mekânsal desenini etkileyen unsurların araştırılmasında bir yöntem denemesinde bulunmuştur. Buna ek olarak çalışma, 1) kentsel görece soğuk alan ve kentsel soğuk adaların İzmir kentsel mekânında nasıl bir dağılım gösterdiğini, 2) kentsel soğuk adaların kentin soğutma kapasitesini arttırmada nasıl bir etkisinin olduğunu ve 3) kentsel soğuk ada soğutma şiddeti ve büyüklüğünün soğutma yayılımını açıklamadaki katkısını araştırmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda öncelikle kentte görece düşük YS değerlerinin kümelenildiği alanlar haritalandırılmıştır. Bu alanların oluşumunda kentsel soğuk adaların etkili olduğu varsayımı ile çalışma geliştirilmiştir. Bu bağlamda, kentsel soğuk ada büyüklüğü ve soğutma şiddetinin soğutma yayılım alanına olan etkisinin ölçülmesi için çoklu doğrusal regresyon modeli geliştirilmiştir. Ancak yazının aksine kentsel yeşil alanların sınırlarını doğrudan kentsel soğuk adaların sınırları olarak

kabul etmek yerine bu sınırların tespiti için analitik bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmanın ikinci bölümünde yer alan veri ve analiz yöntemi, YS deseninin araştırılmasına ilişkin geliştirilen yöntemi ve veri setinin oluşturulma sürecini kapsamaktadır. Bu bölümde çalışma alan sınırlarına ilişkin bilgiler çalışma alanı başlığında, kentsel soğuk ada ve kentsel görece soğuk alanın belirlenmesinde kullanılan yöntemler mekânsal analizler başlığında; ham verinin üretilmesinde yararlanılan yaklaşımlar veri ön işleme başlığında; YS desenini etkileyen değişkenler arasındaki ilişkinin ölçülmesinde yararlanılan yöntemler ise istatistiksel analizler başlığında açıklanmıştır. İzmir kentsel alanı YS mekânsal deseni ve soğutma yayılım alanının tahminlenmesine ilişkin elde edilen bulgular sonuçlar bölümünde yer almakla birlikte değerlendirme ve sonuç bölümünde bulguların yazındaki çalışmalar ile karşılaştırılması ve gelecek çalışmalara ilişkin önerilere yer verilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın geliştirdiği araştırma yaklaşımı ve elde ettiği sonuçların sürdürülebilir kentsel planlama ve yönetim bağlamında iklim değişikliğine uyum sürecinde kent bütününde sıcaklığın desenini belirleyen unsurları araştıran çalışmalara katkı sunması beklenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

İzmir, 37° 45' - 39° 15' kuzey ve 26° 15' - 28° 20' doğu meridyenleri arasında etrafı dağlarla çevrili bir körfez kentidir. İzmir ili, 4.486.845 kişi olan 2023 yılı toplam nüfusu ile Türkiye'nin üçüncü büyük ilidir (TÜİK, 2020). Dağlar genellikle maki ve orman alanları ile kaplı olmakla birlikte %27'lik bir kısmı kentsel alanlardan meydana gelmektedir (İBB, 2019). Çalışma kapsamında kentsel mekânda görece düşük sıcaklıkların kümelendiği alanların tespit edilmesi hedeflendiği için İzmir ili kentsel alan sınırı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Kentsel alan sınırı, merkez ilçelerin yapılaşmış kısımlarını kapsamaktadır. Bu alanlar uydu görüntülerinden yararlanılarak bu çalışma kapsamında haritalandırılmıştır. Buna göre çalışma alanı 25428.6 ha büyüklüğünde alan kaplamakta olup Menemen, Çiğli, Karşıyaka, Bayraklı, Bornova, Konak, Karabağlar, Buca, Balçova, Narlıdere ve Gazimur merkez ilçesi yoğun yapılaşmış alanlarından meydana gelmektedir.

Akdeniz ikliminin hâkim olduğu kentte yazları kuru ve sıcak, kışları ılıman ve yağmurludur. 1991 ve 2020 yılları arasında Temmuz ayında ortalama en yüksek sıcaklık 33,2 °C ve ortalama sıcaklık ise 27,9 °C olarak ölçülmüştür (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022). Bununla birlikte, İzmir kentsel alanı için en yüksek hava sıcaklığı 2022 yılında 42 °C ve 46 °C arasında; en düşük sıcaklık ise 26 °C-28 °C arasında gözlenmiştir. Yaz dönemlerinde İzmir'in kıyı kesimlerindeki sıcaklık, iç kısımlarına göre deniz melteminin (imbat) etkisiyle 1-2°C sıcaklık düşmektedir (İBB, 2019). İzmir ili kentsel alanı, Türkiye genelinde riskli bölgeler arasında yer almaktadır. İzmir ili ve çevresi için tahminlenen iklim senaryolarına göre 1971-2000 yılları ve 2050-2100 yılları dönem aralığı arasındaki ortalama yıllık sıcaklık farklarının İzmir kentsel alanında 1°C ve 3 °C arasında artması beklenmektedir (İZŞB ve PAD, 2019).

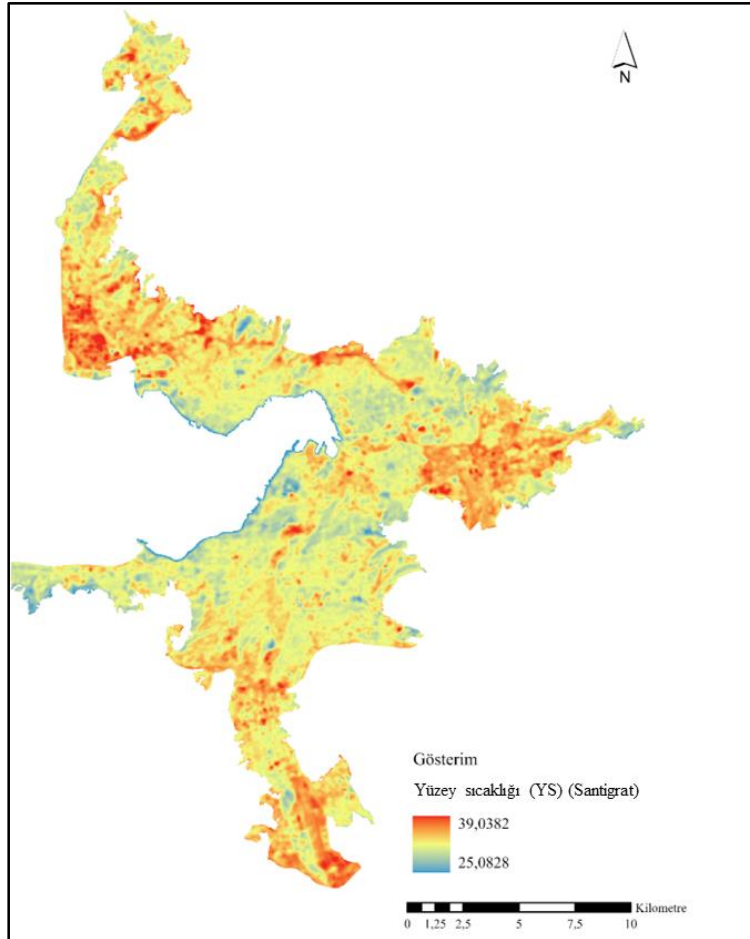
2.2. Veri ve Veri Ön İşleme

Bu çalışma kapsamında sıcaklığın ve bitki örtüsü varlığının haritalandırılmasında uzaktan algılama tekniklerinden yararlanılmıştır. 2020 yılının en yüksek yüzey sıcaklıklarının görüldüğü

Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarına ait bulutsuz olan Landsat Uydu görüntülerinden yararlanılarak YS ölçülmüştür. YS haritasının üretilmesinde 8 Temmuz 2020, 25 Ağustos 2020 ve 10 Eylül 2020 tarihli 30m x 30m çözünürlükte Landsat OLI 8 uydu görüntülerine ait termal bantları (Band 10 ve Band 11'den) kullanılmıştır. Bitki örtüsü varlığının ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksinden (NFBİ) yararlanılmıştır. Haritalandırmada 5 Ağustos 2020 tarihine ait Sentinel 2A uydu görüntüsü kullanılmıştır.

2.1.1 Yüzey Sıcaklığı (YS)

YS için termal bantlar (Landsat OLI 8, Band 10 ve Band 11) tek pencere algoritmasından yararlanılarak haritalandırılmıştır (Şekil 2). Tek pencere algoritması üç aşamadan meydana gelmektedir. Buna göre, öncelikle parlaklık değerleri spektral radyans değerlerine dönüştürülmüş, sonrasında spektral radyans değerleri yansıtım değerlerine ve son olarak radyans değerleri atmosferik parlaklık sıcaklığı değerlerine dönüştürülmüştür (Quin vd., 2001) (Şekil 2).



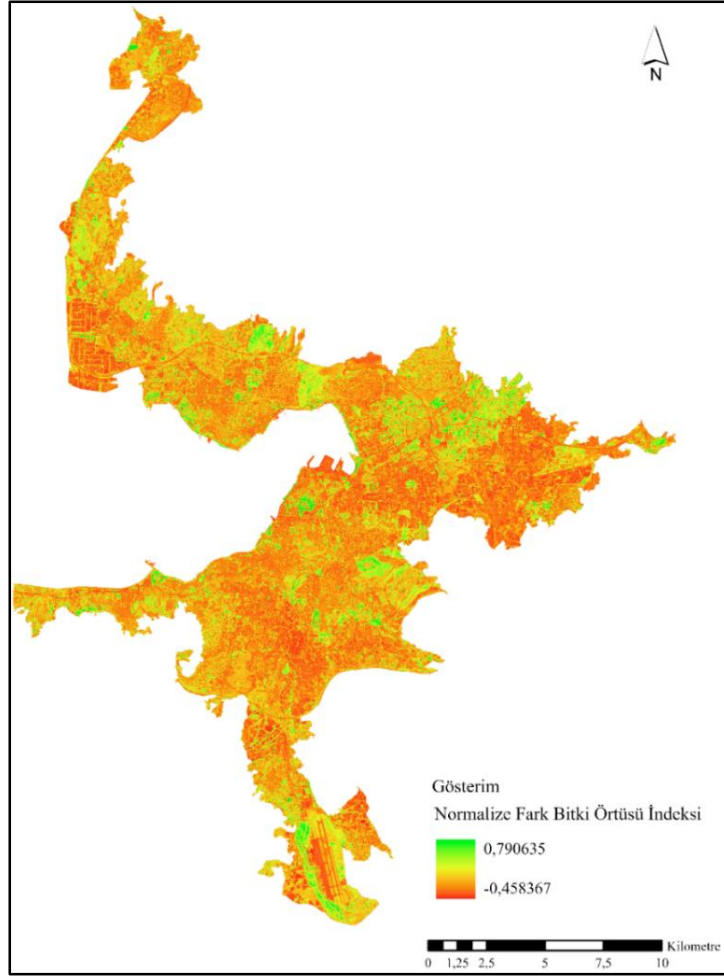
Şekil 2. Çalışma alanı yüzey sıcaklığı dağılımı

2.1.2 Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NFBİ)

NFBİ değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$NFBİ = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Bu formüldeki NIR yakın kızıl ötesi ve RED ise kırmızı yansıtım değerini ifade etmektedir (Nemani ve Running, 1989). Yaklaşık 0.4 ve üzeri değerlerin gözlemlendiği alanlar bitki örtüsünün yoğunlaştığı ağaç kaplı yüzeyleri ve negatif değerler ise su yüzeylerini temsil etmektedir. Buna göre indeks değeri arttıkça bitki örtüsü yoğunluğu artmaktadır (Şekil 3).



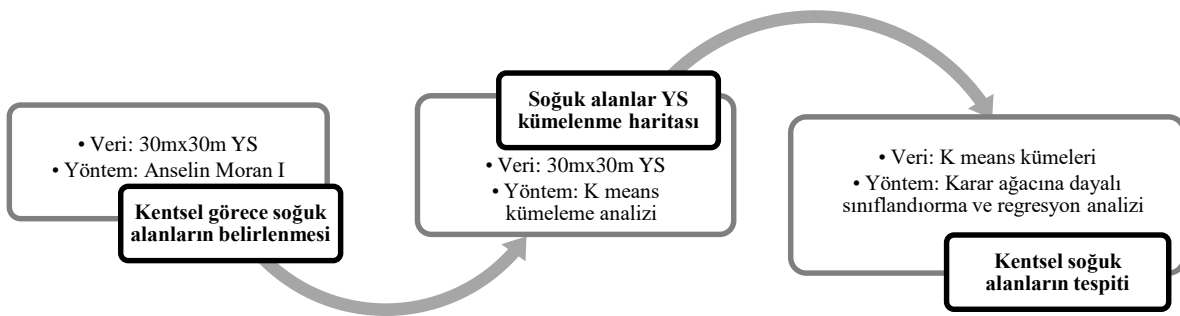
Şekil 3. Çalışma alanı Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi

2.3. Mekânsal Analizler

Bu çalışma kapsamında İzmir kentsel alanındaki kentsel görece soğuk alanların haritalandırılmasında yerel mekânsal otokorelasyon yöntemlerinden biri olan Anselin Yerel Moran I'dan yararlanılmıştır. Birbirine benzer değişken değerlerine sahip alanların tespit edilmesine olanak sunan bu mekânsal istatistiksel yöntemi ile (Çubukçu, 2015) coğrafi olarak birbirine yakın olan görece düşük YS değerlerinin kümелendiği alanlar haritalandırılmıştır. Herhangi bir plan karenin coğrafi olarak yakınlığının belirlenmesinde 60 m., 180 m. ve 240 m. mesafeler dikkate alınmıştır. Mekânsal otokorelasyon yönteminde birbirine yakın konumda bulunan plan karelerin benzer coğrafi gösterme

olasılıkları uzaktaki plan karelere göre daha fazladır. Elde edilen sonuçlara göre 60 m komşuluk mesafesinin soğuk alanları tanımlamada YS deseni açısından daha homojen ve kompakt bir forma sahip olması nedeniyle daha etkili olduğu gözlemlenmiştir (Guo vd., 2015). Bu işlemler, ArcGIS Pro “Mekânsal İstatistik- Kümeleme ve Uç Değer Analizi” araç çubuğu aracılığı ile gerçekleştirilmiştir (Şentürk ve Çubukçu, 2022) (Şekil 4).

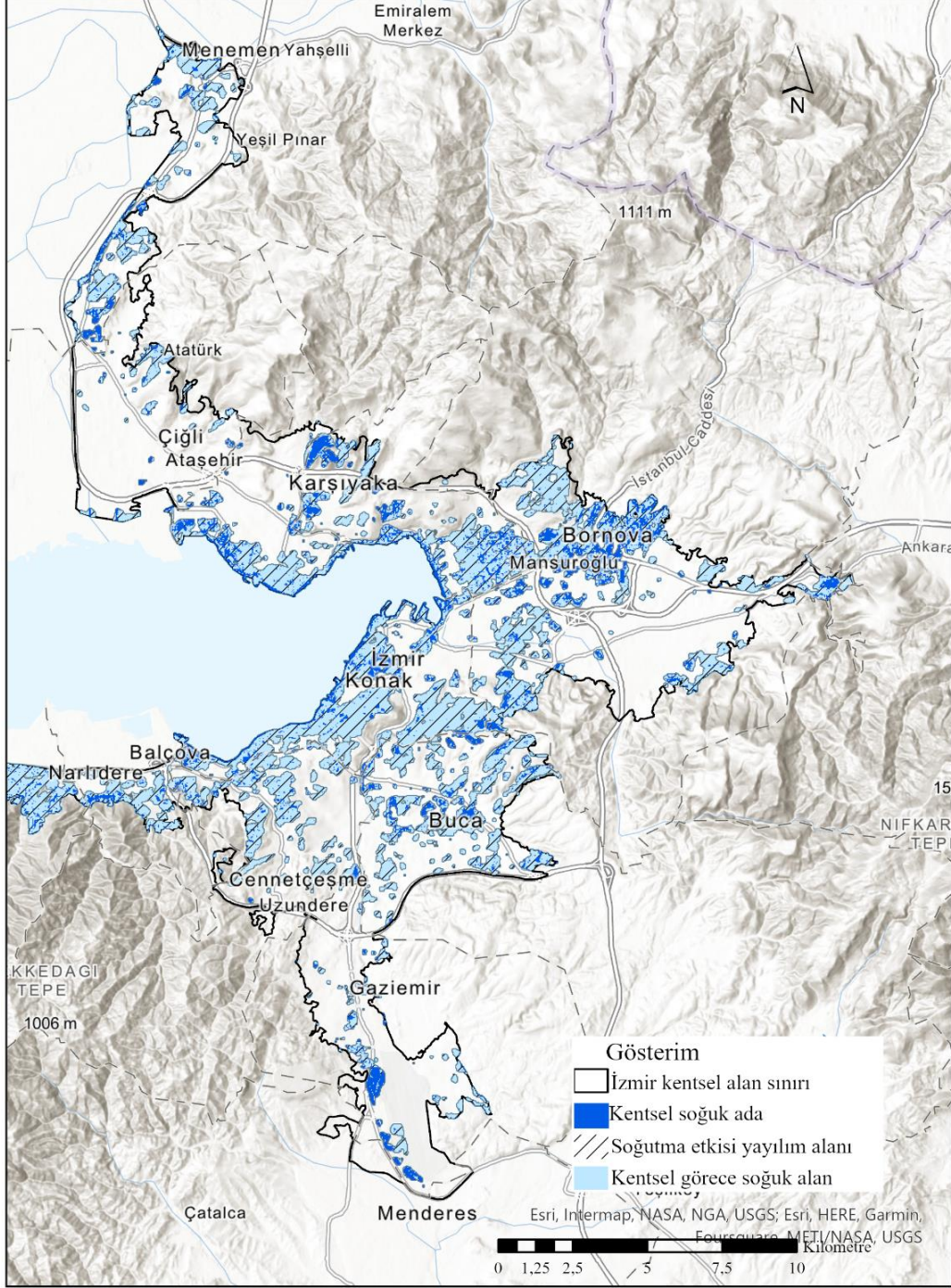
Kentsel görece soğuk alanların bileşenlerinden biri olan kentsel soğuk adaların tespitinde kademeli olarak iki farklı istatistiksel yöntemden yararlanılmıştır. İlk aşamada, her bir kentsel görece soğuk alanların içinde YS sıcaklığının kademeli değişimini geçişini ölçmek amacıyla 7 sınıfta k-means kümeleme analizi uygulanmıştır. K-means kümeleme analizi değişken değerinin belirlenen sınıf sayısının merkezi noktasını seçerek bu noktaya en yakın değerleri sınıflandırmaktadır. Seçilen sınıfın merkez noktası güncellenerek en yakın değerler yinelenerek tekrar sınıflandırılır. Bu işlem eşdeğer sonuçlar elde edilene kadar devam eder (Tan vd., 2005). Bu kümeleme yöntemi her bir görece kentsel soğuk alan poligonu özelinde hesaplanmıştır. Başka bir deyişle, her bir görece kentsel soğuk alan için ayrı ayrı yedi sınıfa ait merkez noktaya göre en yakın değerler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarla ikinci aşamada, kentsel soğuk adaların sınırlarının tespit edilmesinde ArcGIS Pro’da mekânsal istatistik araçlarından biri olan “Orman tabanlı sınıflandırma ve regresyon aracı” kullanılmıştır. Bu yöntem denetimli makine öğrenmesine dayanan rastgele orman yöntemine dayanmaktadır. Modelde birçok karar ağacı oluşturulur ve nihai sonuç bu karar ağaçlarının tümünün sonucunda tahminlenir (Breiman, 2001). Bu analizin uygulanmasında 7 sınıfta oluşturulan k-means kümelerinin sonuçları girdi olarak kullanılmıştır. Buna göre öncelikle 1., 2., 3. ve 4. sınıfta yer alan plan kareler “kentsel soğuk ada” olarak ve diğer plan kareler “kentsel soğuk ada dışı” olarak tanımlanarak veri kategorik veriye çevrilmiştir. Kentsel soğuk ada olarak tanımlanacak diğer plan karelerin tahminlenmesi için kullanılmak üzere öğrenme değerleri ve sürekli değişkeni için NFBİ seçilmiştir. Veri kümesinin %10’u modelin doğrulama amaçlı öğrenme verisinden ayrılmıştır (Şekil 4). Bu yöntem aracılığı ile her bir kentsel görece soğuk alanın kendi sınırları içinde görece daha düşük YS değerlerine sahip plan kareleri kentsel soğuk ada olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4. YS mekânsal deseninin analiz süreci yöntem yaklaşımı

Elde edilen sonuçlara göre kentsel soğuk ada olarak tahminlenen plan kareler toplulaştırılarak poligon haline getirilmiştir. Böylelikle veri setindeki her bir kentsel görece soğuk alan, kentsel soğuk

ada poligonu ve etrafındaki yayılım alanı poligonundan oluşmuştur. Bu toplulaştırma çalışmanın plan kare ölçeğinden leke ölçeğine indirgenmesi amacıyla yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. İzmir kentsel alanı yüzey sıcaklığı (YS) mekânsal deseni

2.4. İstatiksel Analizler ve Veri Seti

Soğutma yayılımını etkileyen unsurların araştırılması amacıyla değişkenler arasındaki ilişkinin ölçülmesinde çoklu doğrusal regresyon modelden yararlanılmıştır. Geliştirilen regresyon modelde kentsel soğuk ada büyüklüğü ve soğutma şiddeti bağımsız (açıklayıcı) değişkenler olarak belirlenmiştir. Buna göre soğutma etkisi yayılım alanı fonksiyonu;

$$y = f(x_1, x_2)$$

olarak ifade edilebilir. Burada; y , soğutma etkisi yayılım alanı; x_1 , kentsel soğuk ada büyüklüğü; x_2 , soğutma şiddetini temsil etmektedir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Modelde kullanılan değişkenler

Tür	Notasyon	Ad	Açıklama	Cinsi
Bağımlı	y	Soğutma etkisi yayılım alanı	(Kentsel görece soğuk alan poligonu alansal büyüklüğü)- (Toplam kentsel soğuk ada büyüklüğü)	ha
Bağımsız (Açıklayıcı)	x_1	Kentsel soğuk ada büyüklüğü	Soğuk ada poligonu içindeki toplam kentsel soğuk ada alanı	ha
	x_2	Soğutma şiddeti	Ortalama kentsel soğuk ada soğutma şiddeti	°C

2.4.1. Soğutma Etkisi Yayılım Alanı (Y_{KSA}) (y)

İzmir ili kentsel alanı sınırları içinde kentsel soğuk adaların soğutma etkisinin hissedildiği alanları temsil etmektedir. Bu çalışmada, kentsel görece soğuk alanı ve kentsel soğuk ada arasında kalan alanlar yayılım alanı olarak tariflenmiştir. Bu alanlar kentsel soğuk adalar etrafında YS değerlerinin radyal desen gösterdiği geçiş alanları olarak ele alınmıştır. Kentsel görece soğuk alanların soğutma etkisinin kentsel görece soğuk alan sınırına kadar ulaştığı varsayılmıştır (Çizelge 1).

2.4.2. Kentsel Soğuk Ada Büyüklüğü (A_{KSA}) (x_1)

Her bir kentsel görece soğuk alan poligonu içinde yer alan kentsel soğuk adanın alansal büyüklüğünün toplanması sonucunda değişken değeri hesaplanmıştır (Çizelge 1).

2.4.3. Soğutma Şiddeti (S_{KSA}) (x_2)

Yazında soğutma şiddeti soğutma kapasitesinin açıklanmasında önemli bir değişken olarak ele alınmaktadır. Soğutma şiddeti, soğutma unsuru bulunan su yüzeyi, kentsel park alanı ile etrafı arasındaki sıcaklık farkını ifade etmektedir (Geng vd., 2022; Peng vd., 2020). Bu çalışmada soğutma yayılım alanı birden fazla kentsel soğuk ada poligonu ile mekânsal olarak kesişmektedir. Bu nedenle yayılım alanı poligonu ile sınırları kesişen soğuk ada poligonlarının soğutma şiddeti değerinin ortalaması alınarak değişken değeri hesaplanmıştır. Bu değer hesaplanması için öncelikle kentsel soğuk ada poligonları ile kesişen 30m x 30m çözünürlükteki plan karelerin YS değerlerinin ortalaması alınarak kentsel soğuk ada sıcaklık değeri ölçülmüştür. İkincil olarak her bir yayılım alanı poligonu ile kesişen YS değerlerinin ortalaması alınmıştır ve son olarak her bir kentsel soğuk ada poligonunun etrafı ile sıcaklık farkı hesaplanmıştır (Çizelge 1).

Veri setinde yer alan her bir satırda soğutma etkisi yayılım alanı poligonuna ait öznitelik bilgileri yer almaktadır. Buna göre veri setinde 293 adet yayılım alanı poligonunun toplam alanı 5290,511 ha'dır. Bağımlı değişken olan yayılım alanları ortalama 18,054 ha büyüklüğe sahip olmakla birlikte 0,270 ha ve 761,580 ha arasında değişim göstermektedir. Kentsel soğuk ada büyüklüğü 4,949 ha ortalama ile 0 ve 263,700 ha arasında; soğutma şiddeti 0,113 °C ortalama ile -0,249 °C ve 1,708 °C arasında dağılım göstermektedir. Veri seti içinde yer alan yayılım alanı ve kentsel soğuk ada büyüklükleri oldukça yüksek standart sapma değerlerine sahiptir (Çizelge 2). Kentsel soğuk adalar bazı kentsel görece soğuk alanlar içinde tespit edilmediği için minimum değeri 0 olarak ölçülmüştür (Çizelge 2).

Çizelge 2. Modelde kullanılan değişkenlere ait açıklayıcı istatistik (n=293)

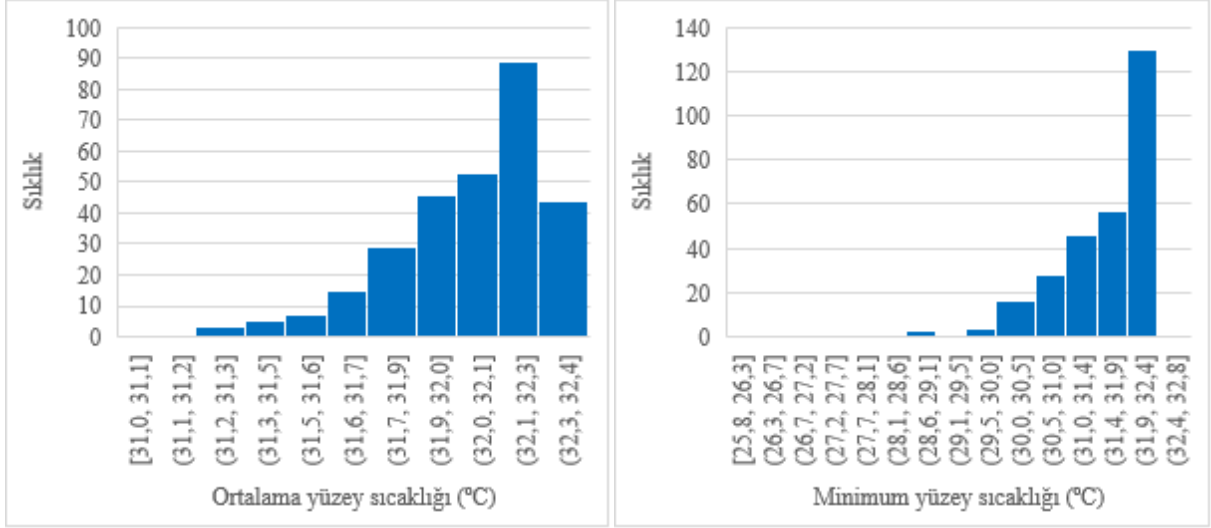
Değişken	Minimum	Maksimum	Ortama	Standart sapma	Toplam
Bağımsız değişken					
Kentsel soğuk ada büyüklüğü	0,000	263,700	4,949	24,328	1450,260
Kentsel soğuk ada soğutma şiddeti	-0,249	1,708	0,113	0,248	33,381
Bağımlı değişken					
Soğutma etkisi yayılım alanı	0,270	761,580	18,054	76,161	5290,110

3. Bulgular

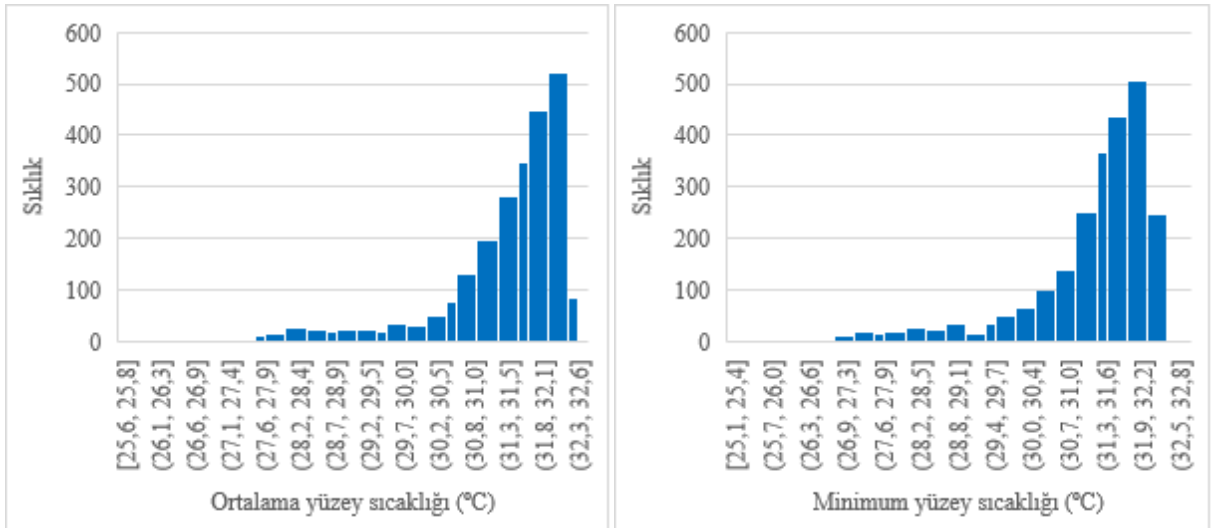
3.1. Soğutma Etkisinin Mekânsal Deseni

İzmir ili kentsel alanlarında yüzey sıcaklığı (YS) 25,082 °C ve 39,032 °C arasında dağılım göstermektedir. Görece düşük YS değerleri, başka bir deyişle kentsel görece soğuk alanlar, kıyı boyunca yoğunlaşmakla birlikte iç kesimde bazı konut bölgelerinde gözlenmektedir. Yüksek YS değerleri ise özellikle kentin sanayi bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. İzmir kentsel alanında farklı büyüklüklerde olmakla birlikte kentsel soğuk adalar toplam 1450,260 ha büyüklükte alan kaplamaktadır. Başka bir ifadeyle, İzmir kentsel alanının yaklaşık %5,7'i soğutma kapasitesi bulunan kentsel soğuk adalardan meydana gelmektedir. Buna karşın soğutma etkisinin hissedildiği yayılım alanı toplam 5290,110 ha ile çalışma alanının yaklaşık %21'inde gözlenmektedir. Buna göre kentsel soğuk adaların yaklaşık 3,5 katı büyüklüğündeki bir alanda soğutma etkisi hissedilmektedir. Kentsel soğuk ada büyüklüğü ve yayılım alanı yüksek standart sapma değerine sahiptir. Buna göre, kentsel alanda düşük sıcaklıkların homojen kümelenmediğini; kentin bazı bölgelerinde süreklilik gösterirken bazı bölgelerinde parçalı bir desene sahip olduğu söylenebilir (Şekil 3, Çizelge 2). 292 adet soğutma yayılım alanı poligonlarının ortalama YS değerleri 31,702 °C ve 32,370 °C; minimum YS değerleri 25,781 °C ve 32,370 °C arasında dağılım göstermektedir. Ancak 31,7 °C' den daha düşük ortalama YS ile 30 °C' den daha düşük minimum YS değerine sahip yayılım alanları oldukça kısıtlı kalmıştır (Şekil 6). 862 adet kentsel soğuk ada poligonuna ait YS değerlerinin dağılımı incelendiğinde, ortalama YS 25,6 °C ve 32,6 °C dağılım göstermekle birlikte büyük bir çoğunluğu 30,8 °C'den yüksektir. Minimum YS değeri ise 25,1 °C ve 32,2 °C arasında dağılım göstermekte olup büyük bir çoğunluğu 30,4 °C'den yüksektir (Şekil 7). Bazı görece kentsel görece soğuk alanlar içinde kentsel soğuk ada gözlenmemiştir. Bu durum kentsel soğuk ada sınırlarının

belirlenmesinde YS sıcaklığının yeşil alan ile korelasyonuna dayalı bir yöntem tercih edilmesinden kaynaklanmış olabilir. Bu kentsel görece soğuk alan poligonlarında YS değerleri daha homojen ve orta değerler arasında bir dağılım göstermektedir (Şekil 3).



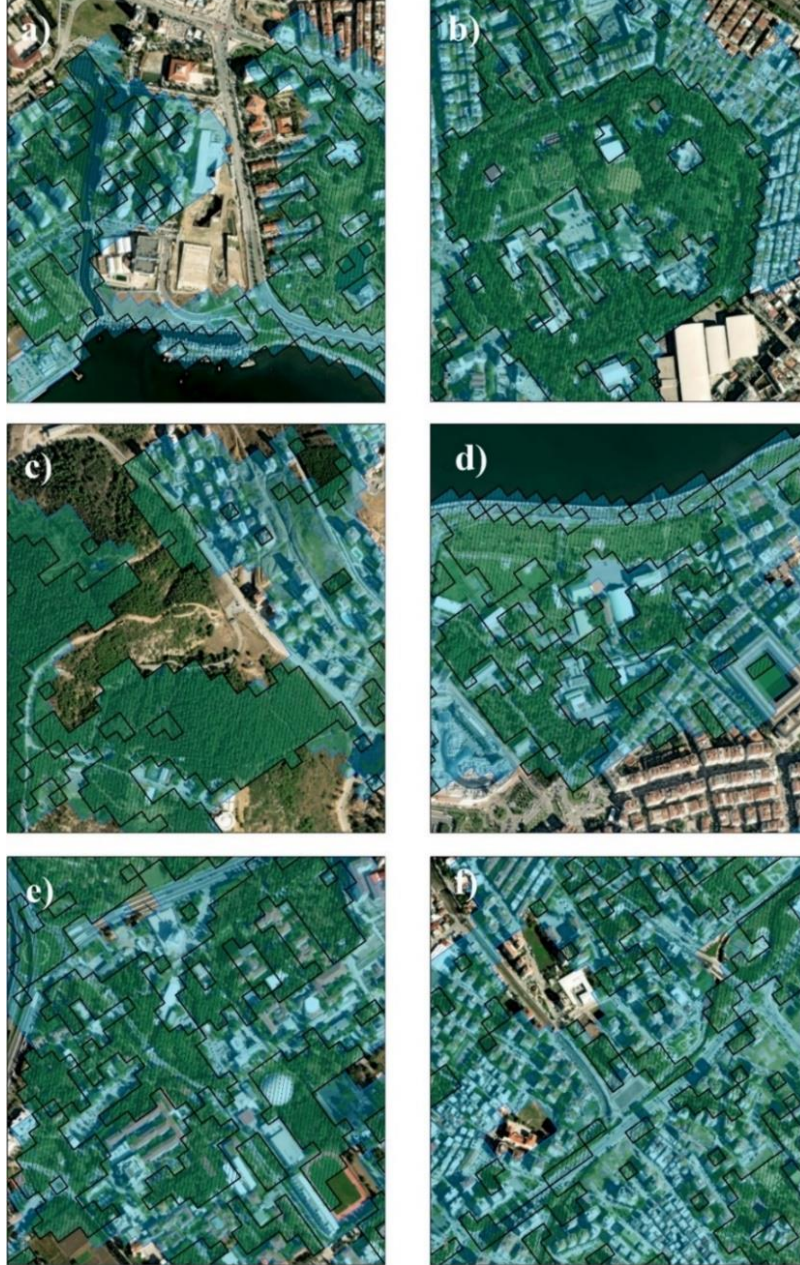
Şekil 6. Soğutma yayılım alanı ortalama ve minimum yüzey sıcaklığı histogram grafiği



Şekil 7. Kentsel soğuk ada ortalama ve minimum yüzey sıcaklığı histogram grafiği

En düşük YS değerlerine sahip olan kentsel soğuk adalar, farklı büyüklük ve mekânsal dağılım göstermekle birlikte genellikle yeşil alanların kümelendiği bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Buna göre, kentsel soğuk adalar İzmir ili kentsel alanında kıyı boyunca konumlanan İnciraltı Kent Ormanı ve Kültürpark gibi büyük yeşil alanlar ve konut alanlarında yoğunlaşmakla birlikte Ege Üniversitesi, Hava Eğitim Komutanlığı gibi kampüs tipi kamusal yapılaşmanın görüldüğü bölgelerde; Manavkuyu gibi bazı

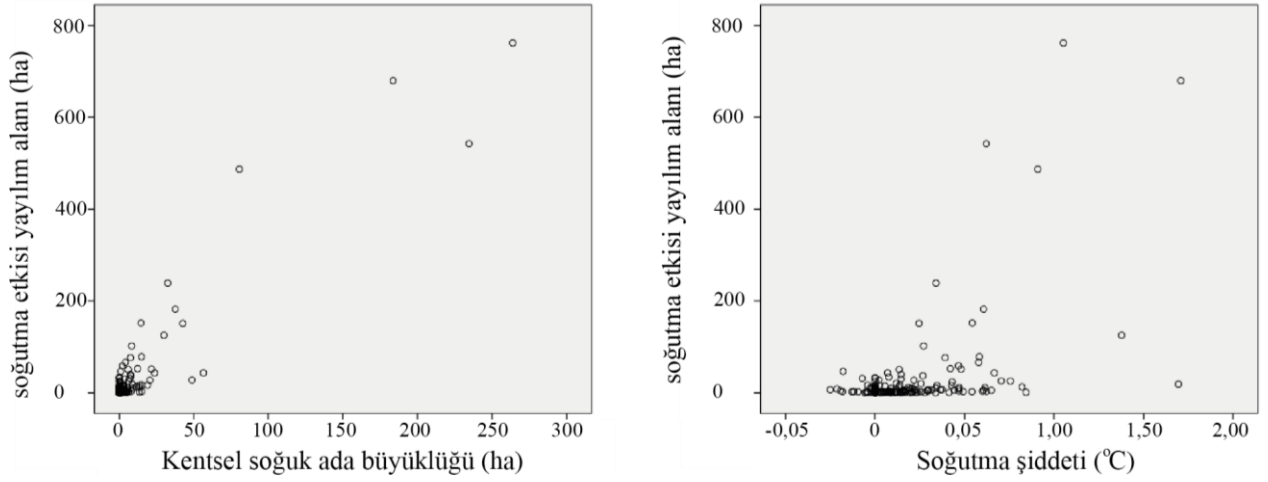
İç kesimde kalan konut bölgelerinde ve kent çeperindeki orman alanlarına yakın konumda konumlanan Evka 3 ve Narlıdere gibi konut çevrelerinde görülmektedir. Bu alanların soğutma etkisi farklı uzaklıklara erişerek yayılım alanlarını tanımlamıştır (Şekil 6).



Şekil 8.İzmir kentsel görece soğuk alanlarından örnekler ((a)Mavişehir ve Atakent konut alanları, (b) Kültürpark, (c) Basın yayını ve Gazeteciler hatıra ormanı ve çevresi, (d) Hava Eğitim Komutanlığı ve çevresi, (e) Ege Üniversitesi Kampüsü, (f) Evka 3 konut alanları) Examples of relatively cold urban areas of İzmir

Şekil 9’da yayılım alanı ile soğutma şiddeti ve kentsel soğuk ada büyüklüğü arasındaki ilişki saçılım grafiği ile gösterilmiştir. Soğutma şiddeti, başka bir ifadeyle, yayılım alanı ve bitişiğinde bulunan kentsel soğuk adalar arasındaki sıcaklık farkı incelendiğinde maksimum 1,70 °C dereceye kadar ulaştığı ve kısıtlı alanlarda yayılım alanının soğuk adalardan daha düşük sıcaklıklara sahip olduğu gözlenmiştir.

Ancak ortalama 0,113 °C sıcaklık farkı yayılım alanları ile kentsel soğuk ada arasında sıcaklık farkının çok yüksek olmadığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar soğutma etkisi yayılım alanı ve soğutma şiddeti arasında pozitif yönde doğrusal bir korelasyon ilişkisinin olduğunu ortaya koymuştur. Soğutma şiddeti arttıkça, özellikle 0,05 °C değerinin üzerinde bir değer gösterdikçe yayılım alanı oldukça artmıştır. Benzer sonuç, yayılım alanı ile kentsel soğuk ada büyüklüğü arasında da ölçülmüştür. İzmir kentsel alanında yayılım alanı 0-200 ha değerleri arasında yoğunlaşmaktadır. Bu yayılım alanlarında kentsel soğuk ada büyüklüğü 0-50 ha arasında yoğunlaşmakta ve doğrusal bir artış göstermektedir. Buna karşın soğutma şiddeti değeri daha dağınık bir desene sahiptir.



Şekil 9. Kentsel soğuk alan büyüklüğü ve soğutma şiddetinin soğutma etkisi yayılım alanına göre dağılım grafiği

3.2. Soğutma Etkisi Yayılım Alanının Tahminlenmesi

İzmir kentsel alanında yayılım alanı büyüklüğünün tahmin edilmesinde kentsel soğuk ada büyüklüğü ve soğutma şiddeti açıklayıcı olmuştur. Regresyon modelde kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenlere ilişkin betimleyici istatistikler Çizelge 3'te sunulmuştur.

Araştırma kapsamında geliştirilen doğrusal çoklu regresyon modelin sonuçlarına göre kentsel soğuk ada büyüklüğünün ve soğutma şiddetinin, bağımlı değişken olan yayılım alanı büyüklüğünün varyansını açıklamada $p=0,01$ (%99) düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı olduğu tespit edilmiştir. 292 tane satırdan meydana gelen veri seti kullanılarak oluşturulan çoklu doğrusal regresyon modeli 2.5'ten küçük Dublin Watson değerine ve 5'ten küçük Varyans Enflasyon Faktörü (VIF) değerlerine sahip olması nedeniyle model güvenilirlik testinden geçmiştir (Rogerson, 2010). Bağımsız değişkenlerin göreceli öneminin ölçülmesi için standardize edilmiş regresyon katsayısı (beta değeri) incelenmiştir. Modeldeki bağımsız değişkenlerin önem sırası incelendiğinde kentsel soğuk ada büyüklüğü ($\beta= 0,875$, $p<0,001$), soğutma şiddetine göre ($\beta= 0,129$, $p<0,001$) göre yaklaşık 7 kat daha açıklayıcıdır. Soğutma etkisi yayılım alanı ile kentsel soğuk ada büyüklüğü ve soğutma şiddeti arasında doğrusal ve pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Başka bir deyişle kentsel soğuk ada büyüklüğü arttıkça soğutma yayılım alanı artmaktadır (Çizelge 3). Buna ek olarak, kentsel soğuk ada ile yayılım alanı arasında sıcaklık farkı arttıkça soğutma yayılımı artmaktadır. Bu durum kentsel soğuk ada YS değerinin azalarak çevresindeki kentsel alan ile olan sıcaklık farkının artmasından kaynaklı olabilir.

Çizelge 3. Çoklu doğrusal regresyon model sonuçları (bağımlı değişken soğutma etkisi yayılım alanı) (n=292)

Değişken	Tahmin edilen katsayılar (Standardize edilmemiş)	Tahmin edilen katsayılar (Standardize edilmiş)	Güvenilirlik düzeyi	VIF
Sabit	-0,120			
Kentsel soğuk ada büyüklüğü	2,731	0,872	0,000	1,318
Kentsel soğuk ada soğutma şiddeti	39,915	0,130	0,000	1,317

Model özeti

$R^2 = 0,890$

Dublin Watson = 2,060

Model sonuçlarına göre kentsel soğuk alan büyüklüğü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\text{Soğutma yayılım alanı} = 0,872(\text{Kentsel soğuk ada büyüklüğü}) + 0,130(\text{Soğutma şiddeti}) \quad (1)$$

Model, kentsel soğuk alan büyüklüğündeki varyansın %89'ini açıklamaktadır ($R^2=0,890$). Modelde yer alan bağımsız değişkenler ortalama değerlerini aldığı yayılım alanının 4,210 ha; maksimum değerleri aldığı ise 230,160 ha olması beklenmektedir (1) (Çizelge 2-3). Kentsel soğuk ada ve soğutma şiddetinin maksimum değerleri alması halinde yaklaşık 324 futbol sahası büyüklüğünde soğutma yayılım alanı beklenmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Kentsel ısı adası etkisinin azaltımında soğutma etkisinin önemli bir unsur olarak gören mikro ölçekteki çalışmaların (Cheng vd., 2015; Lin vd., 2015; Wang ve Zu, 2011) aksine bu araştırma kent ölçeğinde bir yaklaşım geliştirmiştir. Kentsel mekânın soğutma verimliliğinin artırılmasında soğutma şiddeti ve soğutma yayılım alanı önemli iki bileşen olarak ele alınmaktadır (Gao vd., 2022). Kentsel soğuk adalar, soğukluğun yayılmasına neden olmakta (Chang ve Li, 2014; Cheng vd., 2015; Lin vd., 2015) ve bu yayılım alanları bir araya gelerek kentte daha kuvvetli bir soğutma etkisi yaratmaktadır (Zhang vd., 2017). Ancak bu bulgular önceki çalışmalar tarafından genellikle mikro ölçekte elde edilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen araştırma ölçeği yaklaşımında, soğutma kapasitesi bulunan kentsel soğuk adaların tespitinde bir dizi mekânsal analizden yararlanılmıştır. Bu yöntem ile elde edilen kentsel soğuk ada sınırları kentsel yeşil alan veya su yüzeyleri ile örtüşse de park alanlarının geçirimsiz yüzeylerle kaplı alanlarını sınır dışına çıkarmış ve bitişiğinde bulunan yeşil alanlarla süreklilik göstererek daha geniş bir sınır tariflemiştir. Bu durum Şekil 8'de yer alan Kültürpark ve çevresinde açıkça gözlenmektedir. Kültürpark'ın güneyinde yer alan hangar ve otopark alanlarının yer aldığı kısım soğuk ada sınırından çıkmıştır. Ayrıca kuzeyindeki okul bahçeleri ile birleşerek park sınırlarını aşmıştır. Buna ek olarak bazı konut alanları da kentsel soğuk ada sınırları içinde kalmıştır. Doğrudan kentsel yeşil alan sınırını (Chang ve Li, 2014; Cheng vd., 2014; Cheung ve Jim, 2019; Ren vd. 2013; Vidrih ve Medved, 2013) veya bitki örtüsü ile kaplı yüzeyleri (Guo vd., 2019; Rakoto vd., 2021) kentsel soğuk ada olarak kabul eden çalışmaların aksine bu çalışmanın sonuçları farklı bir bulgu ortaya koymuştur. Çalışma kapsamında tespit edilen kentsel soğuk adaların yerel iklimi düzenlemede etkili olduğu sayısal bulgularla kanıtlanmıştır. Bu bulgular sıcaklığın mekânsal dağılımının araştırılması konusundaki araştırmalara katkı sunmaktadır.

İzmir kentsel alanında kentsel soğuk adalar ve bitişiğindeki kentsel alanlarda daha düşük sıcaklıkların kümelendiği tespit edilmiştir. Bu durum önceki çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir (Gao vd., 2022; Liu vd., 2017; Orhan, 2021; Shi vd., 2023; Şentürk ve Çubukçu, 2022). Çalışmanın bulgularına göre İzmir kentsel alanının %26,7'sini kentsel görece soğuk alanlar kaplamaktadır. Benzer bir sonuç Shenzen ili için de %29,80 olarak ölçülmüştür (Guo vd., 2019). Kentsel soğuk adalar etrafındaki radyal sıcaklık deseninin İzmir Körfezi boyunca konumlanan kıyı alanlarında süreklilik gösterdiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, Yüksel ve Coşkun Hepcan (2023), İzmir ili Karşıyaka ilçesinde kıyı çizgisi boyunca düşük sıcaklıkların kümelenerek serin adaları oluşturduğunu ortaya koymuştur (Şekil 2). Bu durum, İzmir ili ikliminin belirlenmesinde önemli bir soğutma unsuru olan denizin yüksek serinletme etkisinden kaynaklı olduğu söylenilir. Önceki çalışmalarda da benzer şekilde kentsel mekânda konumlanan dere ve deniz gibi su yüzeyleri ve bitişiğinde en düşük sıcaklıklar ölçülmüş (Du vd., 2016; Kesgin Atak ve Ersoy Tonyalıoğlu, 2020; Ünal Çiçek, 2022).

İzmir kentsel soğuk adaları ağırlıklı olarak Kültürpark ve Hasanağa Parkı gibi İzmir'in büyük yeşil alanları ile kıyı kordon alanı boyunca gözlenmekle birlikte her yeşil alan sınırı soğuk ada olarak tanımlanmamıştır. Benzer şekilde, Shenzen ili için yapılan çalışmada park alanlarının arazi yüzey sıcaklığının kümelenmesiyle tariflenen soğuk alanlar ile %64 oranında örtüştüğünü ortaya konmuştur (Peng vd., 2021). Park ve kıyı alanlarına ek olarak, İzmir ili Evka-3, Mavişehir ve Narlıdere gibi bölgelerde yeşil alanlarla birlikte tasarlanmış bazı konut alanlarında da kentsel soğuk adalar gözlenmiştir. Yazında da benzer şekilde yeşil alanlarla birlikte tasarlanmış açık kentsel alanların kentsel konforu yüksek yerel iklim bölgelerini meydana getirdiği vurgulanmaktadır (Lee ve Oh, 2018; Zheng vd., 2023). Yeşil alanlar ve bitki örtüsü, sıcaklıkları azaltıcı etkiye sahiptir (Yamak vd., 2021). Özellikle şehirlerin ağaçlandırılması önem taşımaktadır (Kuşçu Şimşek ve Şengezer, 2012). Ağaçlar gölgelendirme işlevi sayesinde gündüz yüzeyin ısınması veya solar radyasyona maruz kalmasını önlemekte ve bu durum yerel iklimi biçimlendirmede oldukça etkili rol oynamaktadır (Kesgin Atak, 2020). Sonuç olarak, sıcaklığı emerek termal dengeyi sağlayan kentsel soğuk adalar çoklu bir soğutma etkisi yaratacak kentte düşük sıcaklıkların kümelenmesine yol açmaktadır. Buradan yola çıkarak "Serin Şehir" oluşturma sürecinde bitkilendirme gibi kenttin soğutma kapasitesini arttıran unsurların hem kentsel tasarım hem de şehir planlama ölçeğinde uygulanması oldukça önemlidir (C40 Cities, 2020).

Bu çalışmanın bulgularına göre kentsel soğuk ada büyüklüğü ve bu alanların soğutma şiddeti soğutma etkisinin hissedildiği kentsel alanların artmasına neden olmaktadır. Bu çalışma kapsamında tespit edilen kentsel soğuk adaların ortalama büyüklüğü yaklaşık 5 ha olarak ölçülmüştür (Çizelge 2). 2 ha'dan daha büyük yeşil alanların anlamlı bir soğutma etkisine sahip olduğu varsayımına (Cao vd., 2010) göre İzmir kentsel soğuk adaları yerel iklimi düzenlemede önemli bir etkiye sahiptir. Önceki çalışmalar iklimsel koşullara göre optimal yeşil alan büyüklüğünün değişim gösterebileceğini vurgulamıştır. Örneğin, Geng vd. (2022), yeşil alan büyüklüğünün ekvatora yaklaştıkça daha önem kazanabileceğini vurgulamıştır. Regresyon modeli tahminlerine göre kentsel soğuk ada büyüklüğünün bir plan kare artması, yani 0,09 ha artması sonucunda yayılım alanı yaklaşık 0,08 ha artmaktadır. Soğutma şiddetinin bir derece (1°C) artması sonucunda ise yayılımın 0,13 ha artması beklenmektedir. Benzer şekilde önceki çalışmalar kentsel soğuk ada büyüklüğünün artması sonucunda soğutma yayılım

alanının arttığını ortaya koymuştur (Cheng vd., 2015; Ren vd., 2013). Bu durum, kentsel soğuk adalar ile bitişik kentsel alan arasında orta sıcaklıklara sahip bir geçiş alanı yaratmaktadır (Şentürk ve Çubukçu, 2023). Yazında bu geçiş alanı, kentsel soğuk ada iklim düzenleme işlevinin etki düzeyini anlamaya yardımcı olan soğuma etkisinin hissedildiği alan olarak da tanımlanmıştır (Wang ve Zhu, 2011).

Kentsel ısı adası etkisinin önlenmesinde kentsel mekânın soğutma kapasitesinin geliştirilmesi önemli bir yaklaşımdır. Soğutma potansiyelinden optimum değerde yararlanılması için hem soğutma şiddeti hem de soğutma yayılımının artırılması gerekmektedir (Gao vd., 2022). Daha geniş alanda hissedilen soğutma etkisi daha fazla sayıda kentlinin soğutma etkisinden yararlanarak (Shi vd., 2023) kentsel ısı adası etkisine karşı kırılabilirliğin azalmasına neden olmaktadır. İzmir kentsel alanı soğutma yayılım alanının tahminlenmesinde kentsel soğuk ada büyüklüğü soğutma şiddetine göre çok daha etkili olmuştur (Çizelge 3). Bu sonuç önceki çalışmalar ile örtüşmektedir (Chen vd., 2012). Benzer şekilde önceki çalışmalar soğuk ada büyüklüğünün soğutma etkisini açıklamada en etkili parametre olduğunu ortaya koymuştur (Du vd., 2017; Ekwe vd., 2020; Geng vd., 2022; Peng vd., 2020). Geng vd. (2022) farklı yerel iklim koşullarında soğutma yayılımı varyasyonunun yaklaşık %50'sini park soğuk ada büyüklüğünün açıkladığını tespit etmiştir. Buna ek olarak İzmir kentsel soğuk adaların büyüklüğü arttıkça doğrusal olarak yayılım alanı da artmaktadır (Şekil 9). Benzer şekilde, Lin vd. (2015) soğutma yayılımı ile park soğuk ada büyüklüğü arasında 0,94 korelasyon katsayısı ile oldukça kuvvetli bir ilişki ölçmüştür. Daha büyük kentsel soğuk adalar genellikle daha büyük soğutma alanı tanımlamamaktadır. Çalışma kapsamında tespit edilen yayılım alanı ortalama büyüklüğü, kentsel soğuk ada ortalama büyüklüğünün yaklaşık üç buçuk katıdır. Du vd. (2022) mahalle parkından bölgesel parklara kadar çeşitli büyüklükteki parkları incelemiş ve soğutma yayılımının kentsel soğuk adanın yaklaşık beş katı büyüklükte olduğunu ölçmüştür. Çalışmanın bulgularına göre soğutma etkisi yayılım alanları oldukça yüksek bir standart sapma değerine sahiptir (Çizelge 2). Benzer sonuçlar önceki çalışmalarda da elde edilmiştir (Cheng vd., 2015).

İzmir kentsel soğuk ada ile yapılı çevre arasındaki sıcaklık farkı 2,48 °C'ye ulaşmıştır. Benzer bir sonuç İzmir Karşıyaka ilçesi mavi-yeşil altyapı alanları ile 300 metre uzaklıktaki yapılı çevre arasında yaklaşık 2 °C olarak ölçülmüştür (Yüksel ve Coşkun Hepcan, 2023). Geng vd. (2022), 207 kentsel parkın soğutma şiddetini ölçmüş ve %58'inin 0 ile 2 °C arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Ancak bu çalışma ile ölçülen 0, 11°C ortalama soğuk ada soğutma şiddeti önceki çalışmaların bulguları ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. Du vd. (2022), 65 parkı incelediği çalışmada soğuk alanların kümelenmediği bölgede konumlanan parkların ortalama 0.78 °C etrafından daha soğuk olduğunu tespit etmiştir. İzmir kentsel alanında soğutma şiddeti arttıkça yayılım alanı da artmış ancak bu ilişki doğrusal değildir. Gao vd. (2022) benzer şekilde soğutma şiddeti ve soğutma yayılımı arasında pozitif yönlü logaritmik bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. İzmir kentsel soğuk ada ortalama soğutma şiddetinin düşük olması, bu alanların halk sağlığı açısından yüksek sıcaklık değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum kentsel soğuk adaların etrafı ile termal etkileşiminden kaynaklı olabilir (Shih, 2017). Başka bir deyişle kentsel alanlar soğuk adaların soğutma etkisini kısıtlıyor olabilir.

Bu çalışma veri ve yöntem açısından bazı kısıtlara sahiptir. İlk olarak, bu çalışma kentsel mekânda sıcaklığın mekânsal dağılımını araştırmayı amaçladığı için çalışma alan sınırı kentsel alan sınırı olarak belirlenmiştir. Ancak çalışma alan sınırına kent çeperindeki doğal alanlar dahil edildiğinde

kentsel görece soğuk alan ve soğuk ada sınırları farklılaşabilir. İkinci olarak, çalışma kapsamında yararlanılan mekânsal analizlerde kentsel ısı adası etkisinin en yoğun gözlemlendiği yaz aylarına ait YS değerleri dikkate alınmıştır. Ancak YS deseni mevsimsel olarak farklılık gösterebilmektedir (Guo vd., 2019). Üçüncü olarak, bu çalışma kapsamında yalnızca kentte düşük sıcaklıkların kümelenmediği alanların incelenmesi sıcaklıkların görece daha yüksek olduğu kentsel alanlardaki yeşil alanların soğutma etkisini kapsam dışı bırakmıştır. Ancak, bu kısıtlarla birlikte çalışma kapsamı itibarıyla kentte düşük sıcaklıkların kümelenmesinde hangi faktörlerin önemli olduğunu araştırma konusunda etkili sonuçlar ortaya koymuştur. Kentte sıcaklık deseninin etkileyen değişkenler ve yerel iklimi şekillendiren unsurlar sayısal bulgularla tartışılmıştır. Ancak, yerel iklim koşullarının YS desenine etkisi yalnızca denizin soğutma etkisi dikkate alınarak gözlemsel olarak ele alınmıştır. Önceki çalışmalar yerel iklimin soğutma verimliliğine nasıl bir etki yarattığının kesin olarak bilinmediğini ve karmaşık bir yapıya sahip olduğunu vurgulamaktadır (Fan vd., 2019; Yu vd., 2020). Özellikle, değişen rakım ile atmosferik sıcaklık ve nemin bitkilerin terleme fonksiyonun engellemesi nedeniyle soğutma kapasitesine nasıl bir etki yaptığının açıklanmasının oldukça karmaşık olduğu vurgulanmıştır (Fan vd., 2019). Buna ek olarak kentin iklimini belirleyen orman ve deniz alanı gibi doğal alanlar ile ısıtma etkisi bulunan kentsel sıcak adaların nasıl bir termal etkileşim içinde olduğunu ayrıca araştırılmasına ihtiyaç vardır. Son olarak, soğutma yayılımı kentin bazı kısımlarında sınırlı bir alanda genişlerken bazı kısımlarında daha geniş çevrelerde gözlenmiştir. Ancak bu çalışma kapsamında yayılım alansal büyüklük ile tariflendiği için soğutma etkisinin maksimum kaç metreye kadar ulaştığı veya hangi yönlerde daha geniş yayılım gösterdiğine ilişkin sonuçlar üretilen haritalar sayesinde yalnızca gözlemsel olarak elde edilmiştir. Örneğin, veri seti içinde en büyük kentsel soğuk adalardan biri olan Kültürpark'ın doğu kesiminde yayılım alanı kısıtlı kalırken batı kesiminde daha genişlemiştir. Bu farklılıkların nedenselliğini leke ölçekte yürütülen bu çalışma açıklamak konusunda kısıtlı kalmıştır. Bu duruma hangi unsurların neden olduğunun ayrıca tartışılmasına ihtiyaç vardır.

Bu çalışmanın sonuçlarından yola çıkarak kentsel ısı adası etkisinin önlenmesi için sürdürülebilir kentsel planlama ve yönetimi kapsamında sıradaki çıkarımlarda bulunulabilir: (1) Kentsel alanlarda soğutma etkisinin mekânsal deseninin incelenmesinde düşük sıcaklıkların kümelenmediği alanlardan veya kentsel görece soğuk alanlardan yararlanılabilir; (2) yerel iklimin düzenlenmesinde kentsel soğuk ada büyüklüğü ve soğutma şiddetinin artırılması önemli araçlar arasında yer almaktadır ve (3) kentsel soğuk ada büyüklüğü soğutma yayılımını açıklamada oldukça etkilidir. Düşük sıcaklıkların kümelenmediği kentsel alanların yaygınlaşması kentsel ısı adası etkisinin yaratmış olduğu riski azaltmak açısından önemli bir araç olarak ele alınabilir. Ayrıca, mevcut kentsel mekânda yer alan soğutma etkisi bulunan alanların soğutma şiddetinin artırılmasının tek başına yeterli olmadığı çalışma sonuçları ile ortaya konmuştur. Akdeniz iklimine sahip kentlerde iklim değişikliğine bağlı atmosfer sıcaklığının yüksek artış eğilimi gösterdiği dikkate alındığında soğutma kapasitesinin artırılması İzmir ili için daha da önem taşımaktadır. Özetle, hem şehir planlama ölçeğinde yoğunluk ve arazi örtüsü desenine; hem de kentsel tasarım ölçeğinde uygulamalara ilişkin mekânsal kararlar yapıları çevrenin termal konforunu arttıracak yönde olmalıdır. Çalışmanın ortaya koyduğu yöntem ve nicel sonuçların kentsel planlama pratiğine katkı sunması ve gelecekte üretilecek planlama kararlarına yol göstermesi açısından önemlidir.

Teşekkür ve Bilgilendirme

Bu çalışma Prof. Dr. Kemal Mert Çubukçu danışmanlığında yürütülen “Akıllı şehircilik kapsamında kentsel yeşil alanların soğutma etkisinin araştırılması” isimli doktora tezi kapsamında üretilmiştir. Tez izleme komitesinde yer alan Prof. Dr. Çiğdem Coşkun Hepcan ve Prof. Dr. Mediha Burcu Silaydın’a katkılarından dolayı teşekkür ederim.



Investigating Cooling Extend in the Urban Area, Case of İzmir

Yasemin Şentürk^{*a}, K. Mert Çubukçu^b

Submitted: 10.08.2023

Accepted: 25.09.2023

EXTENDED ABSTRACT

1. Introduction

Today, global climate change has emerged as a significant environmental issue due to the rise in urbanization, industrialization, consumption patterns, and environmental pollution. Among the C40 countries, the urban heat island (UHI) effect rank as the third most frequently reported natural event linked to climate change (C40 Cities, 2020). Urban green spaces, parks, wetlands, and urban forests, constitute both natural and artificial urban blue and green infrastructure (Bolund and Hunhammar, 1999). They play a crucial role in regulating local temperatures to counteract the warming effect of non-vegetated areas (Hardin and Jensen, 2007). In urban environment, lower temperatures have been observed in proximity to green areas, while higher temperatures prevail in densely urban areas (Liu et al., 2017). These localized areas with lower temperatures, which influence temperature distribution, are referred to as heat sinks (Li et al., 2017), urban cold islands (UCIs) (Kong et al., 2014), local cold islands (Chang and Li, 2014), or park cold islands (Gao et al., 2022) in the literature. UCIs play a role in regulating the local climate of nearby built environments, thanks to their cooling capacity. In this way, the “Cool City” approach, which is one of the important approaches to mitigating the UHI effect, emphasizes that the development of elements that increase the cooling capacity of the city, such as UCIs (C40 Cities, 2020).

In studies conducted to measure the relationship between the spatial distribution of temperature and the cooling capacity, it was usually directly considered park (Gao et al., 2022; Geng et al., 2022), tree-covered area (Kong et al. 2014; Shih et al., 2017), wetland or water surface (Peng et al., 2020) as the UCIs boundary. While the studies have been dedicated to optimizing the size and cooling intensity of urban cold islands to combat the UHI effect, there has been relatively limited comprehensive investigation into the factors influencing cooling capacity (Du et al., 2016; Peng et al., 2020). In order to contribute to these limited studies, a method based on spatial statistics was used in analyzing

* **Corresponding Author:** iyteyaseminsenturk@yahoo.com

^aDokuz Eylül University, Institute of Science, Department of City and Regional Planning, İzmir/Turkiye, <https://orcid.org/0000-0002-7158-6657>

^b Dokuz Eylül University, Faculty of Architecture, Department of City and Regional Planning, İzmir/Turkiye, <https://orcid.org/0000-0003-3604-7014>

temperature distribution in this study. Specifically, the study focused on the Izmir urban area and conducted experimental research to explore the factors affecting the cooling extends.

The study aimed to achieve the following objectives: 1) examining the distribution of urban cooler clusters and UCIs within the Izmir urban area, 2) assessing the role of UCIs in enhancing the cooling capacity, 3) analyzing the contribution of UCI size and its cooling intensity in explaining the cooling extends. The results obtained through this study approach were anticipated to make valuable contributions to investigations involving factors that influence temperature patterns throughout the city. These findings can be particularly relevant in the context of sustainable urban planning and management, aiding in the adaptation to climate change processes.

2. Methodology

Within the scope of the study, the urban area boundary of Izmir metropolitan area was determined as the study area because the study was aimed to identify areas where relatively lower temperatures are clustered in urban space. The study area boundary covered the built-up parts of the central districts with 25428.6 ha.

Remote sensing techniques were used to map the temperature and vegetation presence in this study. Land surface temperature (LST) was measured by using Landsat Satellite images belonging to July August and September 2020. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which was widely used in measuring the presence of vegetation, was used. Anselin Local Moran I, one of the local spatial autocorrelation methods, was used to map the relatively cool areas. Moreover, two different statistical methods were gradually used in the determination of UCIs. In the first stage, k-means cluster analysis was applied in 7 classes in order to measure the transition of the gradual change of LST in each urban relatively cool area. With the results obtained, in the second stage, the “forest-based classification and regression tool”, was used to determine the boundaries of UCIs. This method is based on the random forest method, which is based on supervised machine learning (Breiman, 2001). In the implementation of this analysis, the results of the k-means set created in 7 classes were used as inputs. Accordingly, first of all, 1., 2., 3. and 4. the pixels included in the class were defined as “UCIs” and the other pixels were defined as “non-UCI”. NDVI has been selected for learning values and continuous variable to be used for estimating other pixels to be defined as UCI. By means of this method, pixels with relatively lower LST values within the boundaries of each urban relatively cool area were defined as UCIs (Figure 1).

In order to investigate the factors affecting the size of the cooling extends, multiple linear regression model was used to measure the relationship between the variables. In the regression model, the size of the UCIs and their cooling intensity were determined as independent (explanatory) variables.

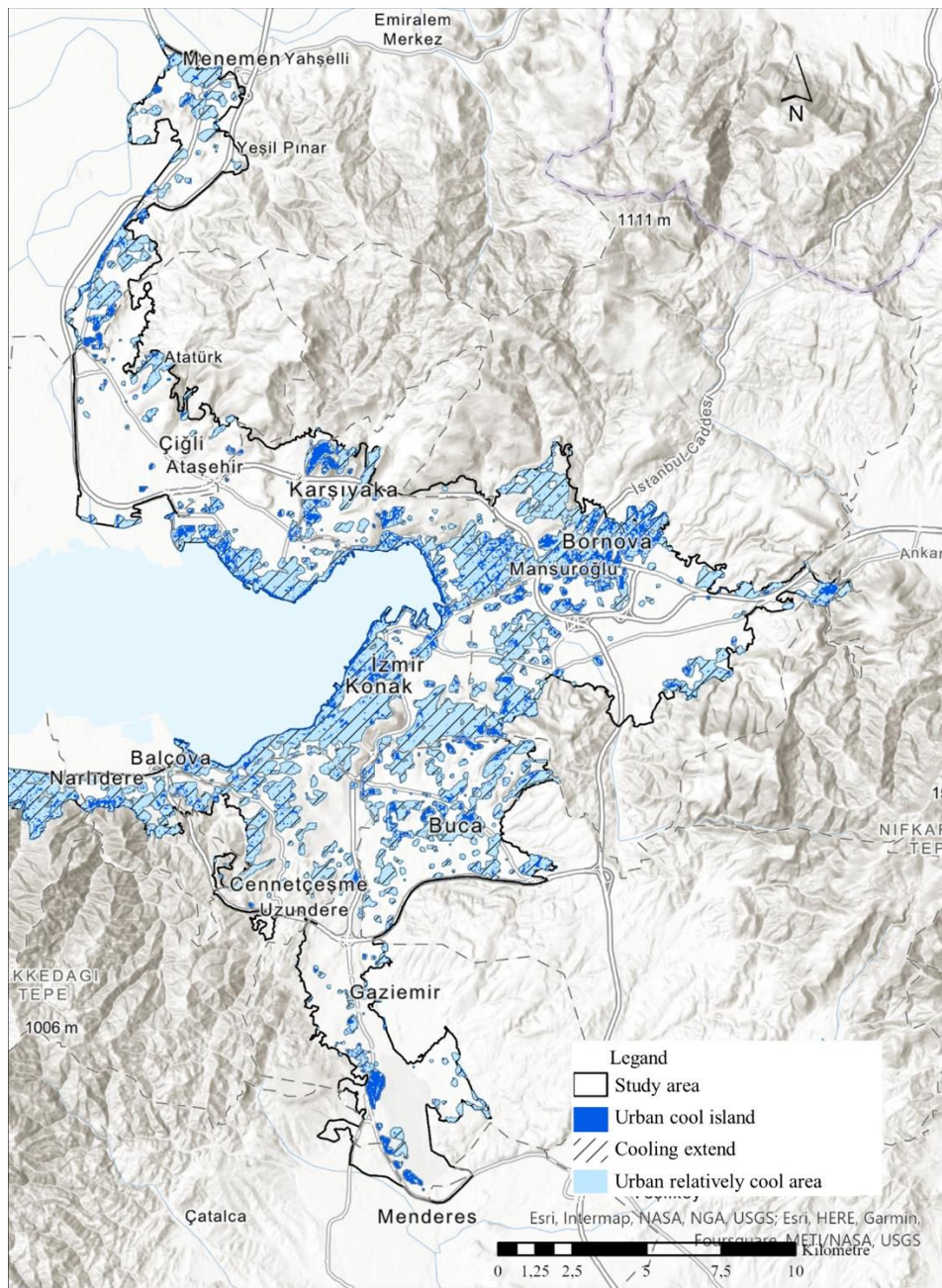


Figure 1. LST distribution in İzmir Urban Area

3. Result

LST in the urban areas of İzmir province was distributed between 25.082 °C and 39.032 °C. Although relatively lower LST values clustered along the coast, they were also observed in some residential areas. Although there were different sizes, it has been measured that the urban cold islands covered a total area of 1450,260 ha. In other words, about 5.7% of the İzmir urban area consists of UCI. Additionally, the extends area, where the cooling effect was felt, covered about %21 of the study area

with a total of 5290,110 ha. Accordingly, the cooling effect was felt in an area of about 3.5 times the size of the UCIs.

UCIs, which had the lowest YS values, showed different sizes and spatial distribution, but were generally concentrated in areas where green areas were clustered. Accordingly, UCIs were concentrated in large green areas and residential areas such as Inciraltı Urban Forest and Kültürpark located along the seaside in the urban area of İzmir province, but in areas where campus-type public construction was seen, such as Aegean University, Air Training Command; It is observed in some residential areas in the interior, such as Manavkuyu, and residential areas such as Evka 3 and Narlıdere, which were located close to forest areas on the city perimeter (Figure 2).



Figure 2. Examples of UCIs of İzmir and their adjacent urban area ((a)Mavişehir ve Atakent residential district, (b) Kültürpark, (c) Press Broadcasting and Journalists Memorial Forest, (d) Air Training Command and its surroundings, (e) Aegean University Campus (f) Evka 3 residential district)

According to the results of the linear multiple regression model developed within the scope of the study, it was found that the UCI size and the cooling intensity were statistically significant at the level of $p=0.01$ (99%) in explaining the variance of the dependent variable the cooling extends. When the order of importance of the independent variables in the model was examined, the size of the UCI ($\beta= 0.875$, $p<0.001$) was about 7 times more explanatory than the cooling intensity ($\beta= 0.129$, $p<0.001$) (Table 1).

Table 1. Results of the multiple linear regression model (dependent variable was size of the cooling extends) (n=292)

Variable	Unstandardized Coefficients	Standardized Coefficients (Beta)	Sig.	VIF
Constant	-0,120			
Size of UCIs	2,731	0,872	0,000	1,318
Cooling intensity of UCIs	39,915	0,130	0,000	1,317
Model summary				
$R^2 = 0,890$	Dublin Watson = 2,060			

4. Discussion

On the contrast to micro-scale studies (Cheng et al., 2015; Lin et al., 2015; Wang and Zu, 2011) this study developed an urban-scale approach. Although the UCI boundaries, obtained by the method developed by this study, generally overlapped with urban green areas or water surfaces, it also excluded some parts of the parks, covering impervious surface, and showed continuity with the adjacent green areas. It was found that lower temperatures clustered both UCIs and their adjacent urban areas. This finding coincided with the results of previous studies (Gao et al., 2022; Liu et al., 2017; Orhan, 2021; Shi et al., 2023). According to the findings of this study, 26.7% of the urban area of Izmir was covered by urban relatively cool areas. A similar result was measured as 29.80% for Shenzhen province (Guo et al., 2019). Moreover, the lowest LST values were measured along the seaside of Izmir urban area (Figure 2). This could be caused by the high cooling effect of the sea, which was an important cooling element in determining the climate of Izmir (Yüksel and Coşkun Hepcan, 2023).

In order to increase the cooling efficiency of urban space, cooling intensity and the cooling extends were considered as two important components in the literature (Gao et al., 2022). Regression model results of this study showed that the size of the UCIs was much more effective in estimating the cooling extends of the Izmir urban area compared to the cooling intensity. This result was consistent with previous studies (Chen et al., 2012). Similarly, previous studies showed that the size of the cool island was the most effective parameter in explaining the cooling effect (Du et al., 2017; Ekwe et al., 2020; Geng et al., 2022; Peng et al., 2020). In İzmir, the average cooling intensity of UCIs showed very low LST which means that, these areas had high temperature values in terms of public health. This may be due to the thermal interaction of UCIs with their surroundings (Shih, 2017). In other words, urban areas may be limiting the cooling effect of UCIs.

This study had some limitations in terms of data and method. Firstly, the study area boundary was determined as the urban area boundary. When the natural areas on the city periphery were included in the analysis area, the extends and UCIs boundaries could differ. Secondly, in the spatial analyses used within the scope of the study, LST values of the summer months were considered. However, LST pattern

may vary seasonally (Guo et al., 2019). Thirdly, analyzing only lower temperature clusters brought about excluding the cooling effect of green areas in urban areas where temperatures were relatively higher than natural areas. However, the study occurred effective results in terms of researching which factors were important in developing the cooling capacity in the urban space. Previous studies explained that it was not known how the local climate affects cooling efficiency and that it had a complex structure (Fan et al., 2019; Yu et al., 2020). As a result, there is a need to investigate how the UHIs, which had a heating effect, were in thermal interaction with natural areas such as forest and sea area that determined the climate of the city for the future studies.

5. Conclusions

The results of this study, the following conclusions can be made within the scope of sustainable urban planning and management to prevent the urban heat island effect: (1) areas where low temperatures cluster or urban relatively cool areas can be used to study the spatial pattern of the cooling effect in urban areas; (2) increasing the size of UCIs and cooling intensity are among the important tools for regulating the local climate, and (3) UCIs is very effective in explaining the cooling extend. The expansion of urban areas where low temperatures are clustered can be considered as an important tool to reduce the risk posed by the UHI effect. In summary, there is a need to redesign the built-up areas and make them available in the city as an urban cold island. The methods and quantitative results revealed by the study are important in terms of contributing to urban planning practice and guiding planning decisions to be made in the future.

Referanslar/References

- Baykara, M. (2023). An assessment of long-term urban heat island impact on İstanbul's climate, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 10(2), 40-47. doi: 10.30897/ijegeo.1230381
- Bolund, P., Hunhammer, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301. doi: 10.1016/S0921-8009(99)00013-0
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32. doi: 10.1023/A:1010933404324
- C40 Cities. (2022). Good Practice Guide, Cool Cities. <https://www.c40.org/wp-content/uploads/2022/02/C40-Good-Practice-Cities-Guide-Cool-Cities.pdf> adresinden erişilmiştir.
- C40 Cities. (2023, Haziran 1). A health warming for cities. <https://www.c40.org/what-we-do/scaling-up-climate-action/adaptation-water/the-future-we-dont-want/heat-extremes/#:~:text=Cities%20with%20little%20green%20space,%2C%20kidney%20diseases%2C%20and%20death.> adresinden erişilmiştir.
- 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, 224-231. doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.03.008
- Chang, C. R., Li, M. H. (2014). Effects of urban parks on the local urban thermal environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13, 672-681. doi: 10.1016/j.ufug.2014.08.001
- Chen, X., Su, Y., Dan, L., Huang, G., Chen, W., Chen, S. (2012). Study on the cooling effects of urban parks on surrounding environments using LandsatTM data: A case study in Guangzhou, southern China, *International Journal of Remote Sensing*, 33(18), 5889-5914. doi: 10.1080/01431161.2012.676743
- Cheng, X., Wei, B., Chen, G., Li, J., Song, C. (2015). Influence of Park Size and Its Surrounding Urban Landscape Patterns on the Park Cooling Effect. *J. Urban Plann. Dev.*, 141(3), A4014002 1-10 doi: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000256
- Cheung, P. K., Jim, C. Y. (2019). Differential cooling effects of landscape parameters in humid-subtropical urban parks. *Landscape and Urban Planning*, 192, 103- 651. doi: 10.1016/j.landurbplan.2019.103651
- Çubukçu, K. M. (2015). Basic Statistics and Spatial Statistics in Planning and Geography (1). Ankara: Nobel Academic Publications.

- Das, M., Das, A., Momin, S. (2022). Quantifying the cooling effect of urban green space: A case from urban parks in a tropical mega metropolitan area (India). *Sustainable Cities and Society*, 87, 104062. doi: 10.1016/j.scs.2022.104062
- Du, C., Jia, W., Chen, M., Yan, L., W. K. (2022). How can urban parks be planned to maximize cooling effect in hot extremes? Linking maximum and accumulative perspectives. *Journal of Environment Management*, 317, 115346. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115346
- 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 For. Urban Green*, 27, 24–31. doi: 10.1016/j.ufug.2017.06.008
- Du, S., Xiong, Z., Wang, Y., Guo, L. (2016). Quantifying the multilevel effects of landscape composition and configuration on land surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 178, 84–92. doi: 10.1016/j.rse.2016.02.063
- Ekwe, M.C., Adamu, F., Gana, J., Nwafor, G.C., Aderoju, O.M. (2020). The effect of greenspaces on the urban thermal environment during a hot-dry season: A case study of Port Harcourt Nigeria. *Environ Dev Sustain.*, 23, 10056–10079. doi: 10.1007/s10668-020-01046-9
- Fan, H., Yu, Z., Yang, G., Liu, T., Liu, T., Hung, C., Vejre, H. (2019). How to cool hot-humid (Asian) cities with urban trees? An optimal landscape size perspective. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, 338–348. doi: 10.1016/j.agrformet.2018.11.027
- Gao, Z., Zaitchik, B., Hou, Y., Chen, W. (2022). Toward park design optimization to mitigate the urban heat Island: Assessment of the cooling effect in five U.S. cities. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103870. doi: 10.1016/j.scs.2022.103870
- Geng, X., Yu, Z., Zhang, D., Li, C., Yuan (2022). The influence of local background climate on the dominant factors and threshold-size of the cooling effect of urban parks. *Science of the Total Environment*, 823, 153806–153816. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153806
- Guo, G., Wu, Z., Chen, Y. (2019). Complex mechanisms linking land surface temperature to greenspace spatial patterns: Evidence from four southeastern Chinese cities. *Science of the Total Environment*, 674, 77–87. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.402
- Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135, 1–10. doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.11.007
- Hardin, P. J., Jensen, R. R. (2007). The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: A Terre Haute case study. *Urban Forestry & Urban Greening*, 6(2), 63–72. doi: 10.1016/j.ufug.2007.01.005
- İzmir Büyükşehir Belediyesi (İBB) (2019). *2015-2019 Stratejik Planı*, İzmir.
- İzmir Büyükşehir Belediyesi (İZŞB) ve Peyzaj Araştırmaları Derneği (2019). *İklim Değişikliğine Dirençli Kentler için bir Çerçeve: Yeşil Odaklı Uyarılama Kılavuzu*, Pardus Yayınevi.
- Kesgin Atak, B. (2020). Analysing the relationships between land use/land cover and urban land surface temperature using regression tree in İzmir. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 41, 280–291. doi: 10.32003/igge.632841
- Kesgin Atak, B., Ersoy Tonyaloğlu, E. (2020). Alan kullanım/arazi örtüsü ve bitki örtüsündeki değişimin arazi yüzey sıcaklığına etkisinin değerlendirilmesi: Aydın ili örneği. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 21(4), 489–497. doi: 10.18182/tjf.786827
- Kong, F., Yin, H., Wang, C., Cavan, G., 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, 846–853. doi: 10.1016/j.ufug.2014.09.009
- Kuşçu Şimşek, Ç., Şengezer, B. (2012). İstanbul Metropolitan Alanında Kentsel Isınmanın Azaltılmasında Yeşil Alanların Önemi. *Megaron*, 7(2), 116–128. http://jag.journalagent.com/megaron/pdfs/MEGARON_7_2_116_128.pdf adresinden edinilmiştir.
- Leconte, P., Bouyer, J. Claverie., R., Petrisans, M. (2015). Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. *Building and Environment*, 83, 39–49. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.05.005
- Lee, D., Oh, K. (2018). Classifying urban climate zones (UCZs) based on statistical analysis. *Urban Climate*, 24, 503–516. doi: 10.1016/j.uclim.2017.06.005
- Lin, W., Yuc, T., Changa, X., Wua, W., Zhanga, Y. (2015). Calculating cooling extents of green parks using remote sensing: Method and test. *Landscape and Urban Planning*, 134, 66–75. doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.10.012
- Liu, L., Lin, Y., Wang, L., Cao, J., Wang, D., Xue, P., 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, 82-95. doi: 10.1016/j.buildenv.2016.12.018
- Liu, L., Lin, Y., Wang, L., Wang, D., TShui, T., Chen, X. (2017). Analysis of local-scale urban heat island characteristics using an integrated method of mobile measurement and GIS-based spatial interpolation. *Building and Environment*, 117, 191-207. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.03.013
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2022, Nisan). *Resmi İstatistikler*. 20 Nisan, 2023 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=IZMIR> adresinden edinilmiştir.
- Nemani, R., Running, S. (1989). Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal-IR AVHRR data. *Journal of Applied Meteorology*, 28(4), 276-284. doi: 10.1175/1520-0450(1989)028<0276:EORSRT>2.0.CO;2
- Orhan, O. (2021). Mersin ilindeki kentsel büyümenin yer yüzey sıcaklığı üzerine etkisinin araştırılması. *Geomatik Dergisi*, 6(1), 69-76. doi:10.29128/geomatik.679858
- Peng, F., Wong, M. S., Ho, H. C., Nichol, J., Chan, P.W. (2017). Reconstruction of historical datasets for analyzing spatiotemporal influence of built environment on urban microclimates across a compact city. *Building and Environment*, 123, 649-660. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.07.038
- Peng, J., Dan, Y., Qiao, R., Liu, Y., Dong, J., Wu, J. (2021). How to quantify the cooling effect of urban parks? Linking maximum and accumulation perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112135. doi: 10.1016/j.rse.2020.112135
- Peng, J., Liu, Q., Xu, Z., Lyu, D., Du, Y., Qiao, Wu, J. (2020). How to effectively mitigate urban heat island effect? A perspective of waterbody patch size threshold. *Landscape and Urban Planning*, 202, 103873-103883. doi: 10.1016/j.landurbplan.2020.103873
- Quin Z., Zhang M., Amon K., Pedro B. (2001). Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM 6 data. *Acta Geogr. Sin.*, 56, 456-466.
- Rakoto P. Y., Deilami, K., Hurley, J., Amati, J., Sun, Q. (2021). Revisiting the cooling effects of urban greening: Planning implications of vegetation types and spatial configuration. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127-266. doi: 10.1016/j.ufug.2021.127266
- Ren, Z., He, X., Zheng, H., Zhang, D., Yu, X., Shen, G., 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, 868-886. doi: 10.3390/f4040868
- Rogerson, P. A. (2010). *Statistical Methods for Geography: A Student's Guide*. (4th Edition ed.). Sage Publications.
- Sekertekin, A., Kutoglu, S. H., Kaya, S. (2016). Evaluation of spatio-temporal variability in land surface temperature: A case study of Zonguldak, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1), 30. doi: 10.1007/s10661-015-5032-2
- Shi, M., Chen, M., Jia, W., Du, C., Wang, Y. (2023). Cooling effect and cooling accessibility of urban parks during hot summers in China's largest sustainability experiment. *Sustainable Cities and Society*, 93, 104519. doi: 10.1016/j.scs.2023.104519
- Shih, W. (2017). Greenspace patterns and the mitigation of land surface temperature in Taipei metropolis. *Habitat International*, 60, 69- 80. doi: 10.1016/j.habitatint.2016.12.006
- Sun, X., Tan, X., Chen, K., Song, S., Zhu, X., Hou, D. (2020). Quantifying landscape-metrics impacts on urban greenspaces and waterbodies cooling effect: The study of Nanjing, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126838- 126849. doi: 10.1016/j.ufug.2020.126838
- Şentürk, Y., Çubukçu, K. M. (2022). Kentsel Soğuk Alan Kapasitesinin Araştırılması, İzmir Örneği. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 1,106-126. <https://dergipark.org.tr/en/pub/csid/issue/69388/1102333> adresinden edinilmiştir.
- Şentürk, Y., Çubukçu, K. M. (2023). Kentsel Yeşil Alanların Yerel İklim Etkileri: Mekânsal Planlamaya Öneriler. Saygın, H, Balyemez, S., Oral, H.V. (Eds) içinde *Sürdürülebilir Kent Planlama Ekseninde Enerji Verimliliği ve Ekoloji* (s. 103-130). Nobel Akademik Yayınları.
- Tan, P. N., Steinbach, M., Kumar. V. (2005). *Introduction to Data Mining*. (1st Edition ed.). Addison Wesley.
- TÜİK. (2020). Nüfus İstatistikleri Portalı. <https://nip.tuik.gov.tr/> adresinden erişilmiştir
- Ünal Çiçek, M. (2022). Kentsel Yüzey Isı adalarının belirlenmesinde yer yüzey sıcaklık verilerinin kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 33, 213-222. doi: 10.31590/ejosat.1039572

- Ünal, Y. S., Sonuc, C. Y., Incecik, S., Topcu, H. S., Diren-Ustun, D. H., Temizoz, H. P. (2020). Investigating urban heat island intensity in Istanbul. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1–2), 175–190. doi:10.1007/s00704-019-02953-2
- Vidrih, B., Medved, S. (2013). Multiparametric model of urban park cooling island. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12 (2013) 220– 229. doi: 10.1016/j.ufug.2013.01.002
- Yamak, B., Yağcı, Z., Bilgilioğlu, B. B., Comert, R. (2021). Investigation of the effect of urbanization on land surface temperature example of Bursa. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 1-8. doi: 10.26833/ijeg.658377
- Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M., Vejre, H. (2020). Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: a threshold-size perspective. *Urban For. Urban Green.* 49, 1–11. doi: 10.1016/j.ufug.2020.126630
- Yüksel, A., Coşkun Hepcan, Ç. (2023). Kentsel Yüzey sıcaklığı ve mavi-yeşil altyapı ilişkisi: Karşıyaka Örneği . *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), 91-98. doi: 10.25308/aduziraat.1214763
- Wang, C., Zhu, W. (2011). Analysis of the Impact of Urban Wetland on Urban Temperature Based on Remote Sensing Technology. *Procedia Environmental Sciences*, 10,1546-1552. doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.246
- Zhang Y., Murray, A. T., Turner, B. I. (2017). Optimizing green space locations to reduce daytime and nighttime urban heat island effects in Phoenix, Arizona. *Landscape and Urban Planning*, 165, 162-171. doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.04.009
- Zheng, Y., Ren, C., Shi, Y., Yim, S., Lai, D., Xu, Y., Fang, C., Li, W. (2023)._Mapping the spatial distribution of nocturnal urban heat island based on Local Climate Zone framework. *Building and Environment*, 234, 110197. doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110197