



Received: 18 March 2023 | Revised: 21 May 2023 | Accepted: 25 May 2023

KENTSEL ISI ADASININ İKLİM PARAMETRELERİ VE UZAKTAN ALGILAMA ÜZERİNDEN İNCELENMESİ: İSTANBUL KENTİ ÖRNEĞİ

Investigation of Urban Heat Island on Climate Parameters and Remote Sensing: The Case of Istanbul City

Pervin AKSAK¹

pervinaksak@hotmail.com

Şeyda KARTUM ÖZTÜRK¹

Manisa Celal Bayar Üniversitesi,
Coğrafya Bölümü,
Manisa-Türkiye
seydakartum@hotmail.com

Ömer ÜNSAL¹

İstanbul Üniversitesi,
Sosyal Bilimler Enstitüsü
İstanbul-Türkiye
oomer.unsal@gmail.com

Abstract

Anthropogenic factors that are effective in the change of cities have negatively affected the urban climate. Urban heat islands (UHI) are formed with the increase in the temperature difference between rural and urban areas. The aim of this study is to establish the connection between urbanization and UHI. Accordingly, three regions (Istanbul Bolge, Sarıyer, Şile) from Istanbul, which is one of the places where urbanization is most intense in Turkey, were selected as samples. Meteorological data obtained from the General Directorate of Meteorology (MGM) for the selected regions from 1950 to 2021, as well as Landsat TM 5 satellite images from 1990 to 2009 and Landsat 8 satellite images from 2021, constituted the main data sets of the study. Five parameters including mean-maximum-minimum temperatures, total precipitation, and average wind speed were analyzed for the Istanbul Bolge, Sarıyer, and Şile meteorological stations. Mann-Kendall method was applied as time series analysis. An increasing trend was observed in all long-term temperature parameters of the three selected stations, starting from the first half of the 1980s. There was a decreasing trend in precipitation at Istanbul Bolge station and an increasing trend at Sarıyer and Şile stations. A decreasing trend was observed in the wind speeds of the stations. In the years 1990-2009-2021, there was a general increase in the land surface temperature (LST) values. Especially in Istanbul Bolge, where urbanization is the most intense, the average LST of the study area is 25.5°C in 1990, 28.8°C in 2009 and 32.8°C in 2021. Sarıyer study area has an average of 23.4°C in 1990, 26.2°C in 2009 and 29.3°C in 2021. Şile study area has an average LST of 22.7°C in 1990, 23.8°C in 2009 and 26.3°C in 2021. As a result of the study, the connection between urbanization and UHI was revealed.

Keywords: Urbanization, Meteorological Parameters, Remote Sensing, Urban Heat Island, Istanbul.

Öz

Kentlerin değişiminde etkili olan antropojenik faktörler, kent iklimini olumsuz etkilemiştir. Kır ile kent arasındaki sıcaklık farkının artışıyla kentsel ısı adaları (KIA) oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı kentleşme ile KIA arasındaki bağlantıyı ortaya koyabilmektir. Buna göre Türkiye’de kentleşmenin en yoğun yaşandığı yerlerden olan İstanbul’dan üç bölge (İstanbul Bölge, Sarıyer, Şile) örneklem olarak seçilmiştir. Seçilen bölgelerin Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) alınan meteorolojik verileri (1950-2021) ile 1990-2009 yılı Landsat TM 5 ve 2021 yılı Landsat 8 uydu görüntüleri, çalışmanın temel veri setlerini oluşturmuştur. İstanbul Bölge, Sarıyer ve Şile meteoroloji istasyonlarının ortalama-maksimum-minimum sıcaklık, toplam yağış, ortalama rüzgâr hızı olmak üzere 5 parametre incelenmiştir. Zaman serisi analizi olarak Mann-Kendall yöntemi uygulanmıştır. Seçilen üç istasyonun uzun yıllık tüm sıcaklık parametrelerinde 1980’li yılların ilk yarısında artış eğilimi görülmüştür. İstanbul Bölge istasyonunda yağışlarda azalma, Sarıyer ve Şile istasyonlarında ise artış eğilimi gözlemlenmiştir. İstasyonların rüzgâr hızlarında azalma eğilimi görülmüştür. 1990-2009-2021 yıllarında yer yüzeyi sıcaklığı (YYS) değerlerinde genel olarak artış görülmüştür. Özellikle kentleşmenin en yoğun görüldüğü İstanbul Bölge istasyonu inceleme alanının 1990 YYS ortalaması, 25,5°C, 2009’da 28,8°C, 2021’de 32,8°C’dir. Sarıyer inceleme alanı 1990 YYS ortalaması 23,4°C, 2009’da 26,2°C, 2021’de 29,3°C’dir. Şile inceleme alanı 1990 YYS ortalaması 22,7°C, 2009’da 23,8°C, 2021’de 26,3°C’dir. Çalışma sonucunda kentleşme ile KIA arasındaki bağlantı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kentleşme, Meteorolojik Parametreler, Uzaktan Algılama, Kentsel Isı Adası, İstanbul.

¹ Sorumlu Yazar/ Corresponding author

1. GİRİŞ

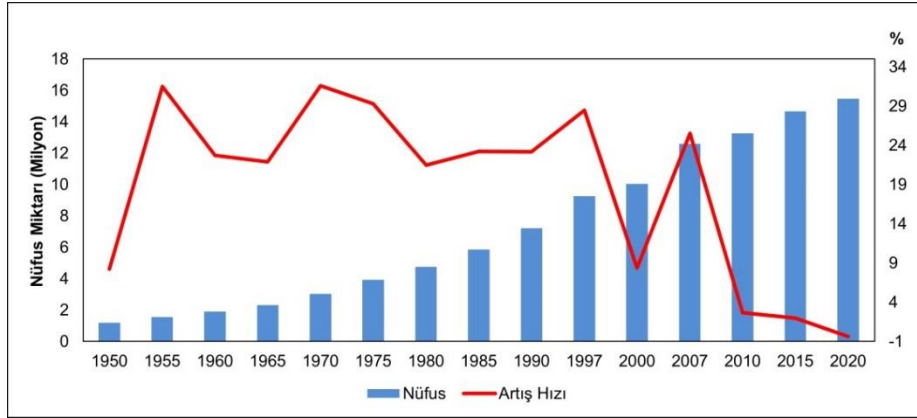
Sanayileşme ile kentlerde fosil yakıt kullanımı ve atmosfere salınan sera gazı salımının artması ile iklimsel değişimler hızlanmış, ortalama sıcaklıklarda artış eğilimleri gözlemlenmiştir (Intergovernmental Panel on Climate Change, [IPCC], 2022). Bilhassa son kırk yılda gerçekleşen neoliberal kentleşme ile kent peyzajında radikal değişiklikler yaşanmıştır. Kentler bir yandan dikey olarak büyürken diğer yandan yatay bir şekilde genişlemiştir. Böylece yoğun bir yapılaşmanın olduğu ve yeşil alanların azaldığı kentsel mekanlarda, kentsel ısı adalarının oluşması kaçınılmaz olmuştur. Bu bağlamda temel problemimiz, kentin yapılı çevresindeki değişime bağlı olarak oluşan *kentsel ısı adalarının*, kent iklimini olumsuz yönde etkilemesidir.

Kentsel ısı adası, kentsel alanlardaki sıcaklığın çevresindeki kırsal alanlara göre daha yüksek olmasıdır (Oke, 1982; Kim, 1992). Kırsal alanlarda güneş ışınları herhangi bir engelle karşılaşmadan bitki ve topraktaki suyun buharlaşmasına yardımcı olur ancak kentlerde güneş radyasyonunun bir kısmı kent geometrisini etkileyen unsurlar tarafından absorbe edilir, tutulur ve sonrasında ortama ısı olarak yansır. İşte bu durum “*kentsel ısı adası*” olarak ifade edilir (Tozam & Bulut-Karaca, 2018). Isı adaları, kentsel ve kırsal alanlar arasında yerel ölçekteki sıcaklık farklılıklarını tanımlarken, küresel ısınma, dünya çapında ortalama yüzey sıcaklıklarının kademeli olarak yükselmesini ifade etmektedir. Kentsel ısı adaları küresel ısınmanın kent ölçeğindeki karşılığı olarak görülmektedir (Environmental Protection Agency, [EPA], 2003). Kent ve kırsal arasındaki mutlak sıcaklık farkı “*kentsel ısı adası şiddeti*” olarak ifade edilmektedir. Gece 21.00-22.00 arası kentsel ısı adası şiddeti en fazla olmakla birlikte bu değer günlük kentsel ısı adası şiddetidir (Yılmaz, 2013). Kentsel ısı adası etkisi, kentin morfolojik yapısına bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte (Oke, 1981) sokak ve caddelerin genişliği, binaların kat sayısı gibi özellikler, “*kentin geometrisini*” belirleyen faktörlerden olmuştur. Dar sokakların ve yüksek binaların meydana getirdikleri kentsel boşluklar ise “*kentsel kanyonları*” meydana getirmiştir. Öyle ki kentsel kanyonlar ve kentsel ısı adası ilişkisi birçok çalışmaya da konu olmuştur (Kum, 2006; Theeuwes vd. 2014; Canan, 2017).

Oke (1982)’yi referans alan Arnfield (2003)’e göre, kentsel ısı adası yoğunluğu, artan rüzgar hızı ve bulutluluğun artması ile azalır. Yüksek basınç koşullarında en fazladır ve en iyi yazın ya da yılın sıcak yarısında gelişir. Kentsel ısı adası etkisi gündüz yok olabilir ya da kent, çevresindeki kırsal alanlara oranla daha serin olabilir (Oke, 1982; Arnfield, 2003). Bu konuda yapılan ilk bilimsel çalışma Luke Howard’ın (1800-1833) Londra’nın verileriyle oluşturduğu dökümanlardır (Howard, 1833; Stewart, 2011; Özbilge, 2020). Rao (1972) Uydu tabanlı termal verileri analiz ederek, kentsel yüzey ısı adası gözlemlerini ilk kez rapor etmiştir. Oke (1981) kanyon geometrisi ve kentsel ısı adası oluşumu ile ilgili model oluşturmuştur. 1990’lardan sonra hızlı kentleşmenin kent iklimine etkisi dikkate alınmış ve bilhassa termal uzaktan algılama ile yapılan çalışmaların sayısı (Kim, 1992; Voogt & Oke, 1998 vb.) giderek artmıştır (Voogt & Oke, 2003). Sözelimi, Akinoru Lino ve Akira Hoyano (1996)’nın ısı adası potansiyelini tahmin etmek için ortaya çıkardıkları indeksle geliştirdikleri metod bu konuda yapılan ilk çalışmalardandır. Yeraltı kentsel ısı adası (Menberg vd. 2012), ısı dalgaları ve kentsel ısı adası oluşumu (Ward vd. 2016), hızlı kentleşme ve bölgesel kentsel ısı adaları (Yu vd., 2019; Shahfahad vd., 2022) bu konudaki çeşitliliği gösteren çalışmalardır. Türkiye’de de kentleşmeye bağlı kentsel ısı adaları ile ilgili çalışmalar (Çiçek & Doğan, 2005; Duman-Yüksel & Yılmaz, 2013; Gülten, 2014; Özbilge, 2020; Sarp vd. 2021; Yasdıman, 2021; Diren-Üstün vd. 2022) giderek artmıştır.

Bu çalışma, kentleşmenin (aynı zamanda neoliberal kentleşmenin) en yoğun yaşandığı yer olan İstanbul’un gerek uzaktan algılama gerekse meteorolojiden alınan seçilmiş iklim parametreleriyle birlikte değerlendirilmesi açısından önemli ve farklıdır. Kırsal, yarı kentsel ve kentleşmiş üç araştırma alanının seçilmesi hızlı kentleşmenin etkilerini göstermesi açısından önemli olmakla birlikte, en düşük 167 km², en yüksek 280 km²’lik alanlar (seçilen bölgelerin karada kalan oranı) belirleyip YYS haritalarının bu alanlar bazında değerlendirilmesi, sıcaklığın yüksek ve düşük olduğu noktalardaki arazi kullanımının seçilen yıllar içerisindeki değişiminin yorumlanması, bu çalışmayı diğer çalışmalardan farklı kılmıştır. Bu noktadan hareketle amacımız hızlı ve yoğun kentleşme ile kentsel ısı adaları arasındaki bağlantıyı ortaya koyabilmektir. Kentleşmenin temel göstergelerinden biri olan nüfus sayısındaki artışa bakıldığında İstanbul’un nüfusu 1945 yılında ilk kez 1 milyonun (1.078.399) üzerine çıkmış, 2022 yılı itibari ile de 15 milyon 907 bin 951’e (Türkiye İstatistik Kurumu, [TÜİK], 2023) ulaşmıştır.

1950'den 2020'ye İstanbul'un nüfusu artmış, artış hızında ise son yıllarda bir düşüş yaşanmıştır (Şekil 1). Doğum oranlarının azalması ve göç gibi unsurlar nüfus artış hızını düşüren temel faktörlerden olmuştur.



Şekil 1- İstanbul'un nüfus miktarı ve nüfus artış hızı (%) (1950-2020) Kaynak: TÜİK, 2023

Figure 1- The amount of population of Istanbul and the rate of population growth (%) (1950-2020) Source: TÜİK, 2023

İstanbul ısı adası etkisini daha iyi gösterebilecek hem kentsel hem de kırsal istasyonlara sahiptir. Buna karşın seçilen merkezlerin İstanbul'un farklı iklim tiplerine sahip alanlarında olması, topografya farklılıkları, etkili hava kütleleri, İstanbul Boğazı'nın varlığı kentsel ısı adası etkisini ortaya koymada olumsuz ve sınırlayıcı faktörler olmuştur. Bu bağlamda öncelikle bu unsurlar gözönünde bulundurularak veri ve yöntem açıklanmıştır. Sonrasında bulgulara yer verilerek, meteorolojik parametreler incelenmiştir. Zaman serisi analizleri Mann-Kendall yöntemi ile ele alınmıştır. 1990-2009 yılı Landsat TM 5 ve 2021 yılı Landsat 8 (OLI-TIRS) uydu görüntüleri üzerinden seçilen üç yerin (İstanbul Bölge, Sarıyer, Şile) YYS değerleri açıklanmıştır. Uygulanan her iki yöntemde de öne çıkan sonuç, kentleşmenin yoğun bir şekilde yaşandığı günümüzde, kentsel ısı adası oluşumunun kaçınılmaz olmasıdır.

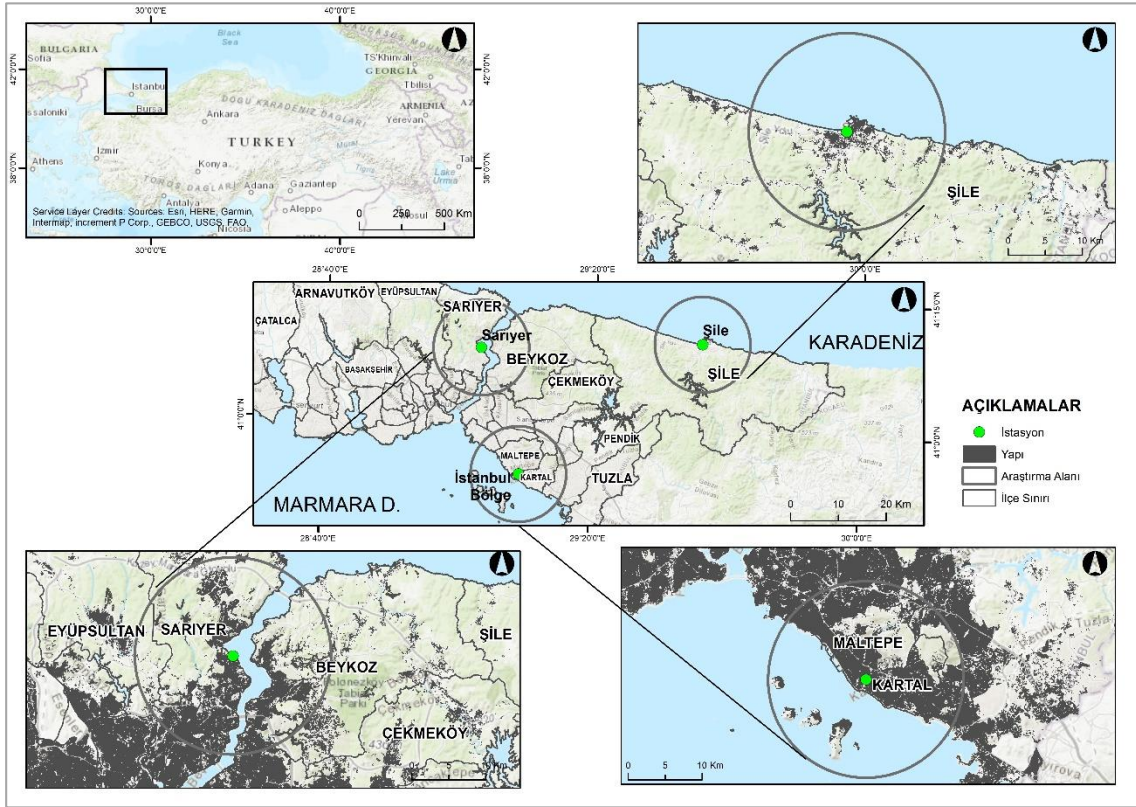
2. VERİ VE YÖNTEM

Genel olarak kentsel ısı adaları ile ilgili çalışmalarda kentsel ısı ada etkisinin tam olarak anlaşılabilmesi için yapılı çevrenin yoğun olduğu merkezle, yapılaşmanın çok sık olmadığı merkez ya da merkezler karşılaştırılmaktadır (Magee vd., 1999; Duman-Yüksel & Yılmaz, 2013; Yılmaz, 2013; Ünal vd., 2020; Diren-Üstün vd., 2022).

Araştırma alanları belirlenirken öncelikle İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden alınan güncel yapı verisi kullanılarak, İstanbul'un yapı yoğunluk haritası oluşturulmuştur. Yapı yoğunluğu baz alınarak, uzun yıllık meteorolojik verilerine ulaşabildiğimiz kentleşmiş (İstanbul Bölge), yarı kentleşmiş (Sarıyer) ve kentleşmenin görülmesine karşın kırsal özelliği daha belirgin olan bir merkez (Şile) araştırma alanları olarak belirlenmiştir (Şekil 2). İstanbul'un Anadolu Yakası'nda Kartal ilçesinde yer alan İstanbul Bölge istasyonu, batıda Maltepe, kuzeyde Sancaktepe, kuzeydoğuda Sultanbeyli ve doğuda Pendik, güneyde Marmara denizi ile çevrilidir. Avrupa Yakası'nda, yer alan Sarıyer, kuzeyinde Karadeniz, doğusunda İstanbul Boğazı ile çevriliyken, güneyinde Kağıthane ve Beşiktaş, batısında ise Eyüp ilçelerine komşudur. Anadolu Yakası'nda yer alan Şile, kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Kocaeli'nin Gebze ilçesi, doğusunda Kocaeli'nin Kandıra ilçesi, batısında Beykoz ve güneybatısında, Kartal, Pendik ile Çekmeköy'e komşudur (Şekil 2).

Çalışmada kullanılan meteorolojik parametrelerin veri kontrolleri yapılmıştır. Bu amaçla uygulanan Kruskal-Wallis türdeşlik sınaması sonuçlarına göre istasyonların verileri homojenken, İstanbul Bölge istasyonunun verileri inhomojendir, istasyonun 90'lı yıllarda Göztepe'den Kartal'a taşınması sebebiyle veri seti homojenliğini kaybetmiştir. Ancak bu istasyon çalışmada kullanılmıştır. Bunun sebebi taşındığı yerin kentleşme özelliği ile önceki alanının özellikleri paraleldir ve coğrafi olarak da sahalar birbirine benzer özellik göstermektedir. Uzun yıllık veri setlerinin gidişleri ve ortalamaları grafik haline getirilmiştir. Bu grafiklere uzun yıllık eğilim çizgisi eklenerek genel gidiş yönü saptanmıştır. Genel gidiş yönünün istatistik açıdan anlamlılığı,

varsa gösterdiği trend ve yönü Mann-Kendall Sıra Korelasyon Yöntemi (Türkeş, 2004) ile sınanmıştır. Bu sınamaya SPSS Statistics 21.0 programında analiz edilmiştir. Analiz sonuçları tablolaştırılmıştır.



Şekil 2- Araştırma alanlarının lokasyon haritası
Figure 2- Location map of the research areas

USGS (2022) veri tabanından 1990 ve 2009 yılına ait Landsat 5 TM, 2021 yıllarına ait Landsat 8 (OLI ve TIRS-2019) gündüz görüntüleri internet adresinden (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) indirilmiştir. İstasyonlara ait tarih, saat ve sıcaklık bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1- Meteorolojik veri ve Landsat uydu görüntülerine ait bilgiler
Table 1- Informations of meteorological data and Landsat satellite images

Meteoroloji İstasyonu Tarih ve Saat	İstanbul Bölge	Sarıyer	Şile
13 Haziran 1990 / 10:03	24,7°C	27,3°C	25,0°C
17 Haziran 2009 / 10:33	25,1°C	26,4°C	25,3°C
5 Ağustos 2021 / 11:45	32,0°C	29,4°C	29,6°C
Uydu Görüntüleri	İstanbul Bölge	Sarıyer	Şile
13 Haziran 1990 / 10:05	30,4°C	22,8°C	23,3°C
17 Haziran 2009 / 10:33	30,4°C	24,1°C	24,1°C
5 Ağustos 2021 / 11:45	33,0°C	27,3°C	26,5°C

YYs oluşturma işlemi altı aşamadan oluşmaktadır. Landsat 8 için birinci aşamada termal bant ve çeşitli değerler kullanılarak atmosfer üstü spektral yansıtım (top of atmospheric spectral radiance-TOA) haritası elde edilmiştir. L , watt/(m² * ster * µm) cinsinden TOA spektral parlaklığını, M_L banda özgü çarpımsal yeniden ölçeklendirme faktörünü, A_L banda özgü ilave yeniden ölçeklendirme faktörünü, Q_{cal} ise düzeltilmiş dijital sayı değerini ifade eder. Landsat 5 için birinci aşamadaki Eşitlik 2 kullanılmıştır (Chander & Markham, 2003; Sobrino vd., 2004; Sobrino vd., 2008; Barsi vd., 2014).

İkinci aşamada spektral radyans haritasından ilgili görüntünün termal sabit değerleri kullanılarak celsius cinsinden sensör parlaklık sıcaklığına (brightness temperature-BT) dönüştürülmüştür. K_1 , watt/(m² * ster * µm) ve K_2 , Kelvin cinsinden sıcaklığı ifade eder ve kalibrasyon sabitleridir. Kullanılan her görüntü için bu sabitler değişebilmektedir (Chander & Markham, 2003; Coll vd., 2010).

Üçüncü aşamada Landsat 8 için yakın kızılötesi (NIR) ve kırmızı (R) bant kullanılarak NDVI haritası üretilmiştir. 1990 ve 2009 NDVI haritasını üretmek için Landsat 5 TM sensörüne ait kırmızı (bant 3) ve yakın kızılötesi (bant 4) kullanılmıştır (Tucker, 1979). Dördüncü aşamada NDVI haritasının minimum ve maksimum değerleri kullanılarak bitki örtüsü oranı (proportion of vegetation- P_v) haritası elde edilmiştir. Beşinci aşamada bitki örtüsü oranı ve sabitler kullanılarak yer yüzeyi yayınlılık (land surface emissivity-LSE) haritası üretilmiştir (Sobrino vd., 2004; Sobrino vd., 2008; Avdan & Jovanovska, 2016). Son aşamada ise ikinci adımda üretilen parlaklık sıcaklığı, yer yüzeyi yayınlılık haritası ve çeşitli sabitler (Boltzmann, Planck's ve ışık hızı) kullanılarak YYS haritası elde edilmiştir (Sobrino vd., 2004; Sobrino vd., 2008; Avdan & Jovanovska, 2016).

Birinci aşama

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{CAL} + A_L \quad (1)$$

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{CAL_{max}} - Q_{CAL_{min}}} (Q_{CAL} - Q_{CAL_{min}}) + L_{min} \quad (2)$$

İkinci aşama

$$BT = (K_2 / \ln(K_1 / L) + 1)) - 273.15 \quad (3)$$

Üçüncü aşama

$$NDVI = (Band\ 5(IR) - Band\ 4(R)) / (Band\ 5(IR) + Band\ 4(R)) \quad (4)$$

Dördüncü aşama

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

Beşinci aşama

$$\varepsilon = 0.004 * P_v + 0.986 \quad (6)$$

Altıncı aşama

$$YYS = (BT / (1 + 0.0015 * BT / 1.4388) * \ln(\varepsilon)) \quad (7)$$

Bu işlemler ArcGIS for Desktop 10.8 yazılımı kullanılarak yapılmıştır. 1990, 2009, 2021 yıllarına ait YYS haritaları birbirinden çıkarılarak 1990-2009, 2009-2021, 1990-2021 YYS fark haritaları oluşturulmuştur. Seçilen araştırma alanlarının meteorolojik veri ve YYS verisi açısından net ve keskin sınırları olamayacağı için alanları ifade ettiği düşünülen (kentsel alan ayrımları, anayollar ve orman alanları vb.) 167 ve 280 km²'lik alanlar belirlenmiş ve YYS haritaları bu alanlar bazında değerlendirilmiştir. İncelenen bir bölgenin alanı EPSG 5254'e göre çıkarılmış olup 314,2 km²'dir (Tablo 2).

Tablo 2- YYS haritalarına dahil olan alanlar

Table 2- Areas included in the LST maps

Bölge Adı	Bölgenin Karada Kalan Oranı	Yapı Sayısı	Konut Sayısı	İşyeri Sayısı	Yapı Taban Alanı	Toplam İnşaat Alanı
İstanbul Bölge	% 54,9 (172,5 km ²)	155.419	531.387	79.103	27,8 km ²	146 km ²
Sarıyer	% 89,2 (280,1 km ²)	152.136	332.912	55.687	21,6 km ²	91,8 km ²
Şile	% 53,2 (167,1 km ²)	11.612	11.294	907	1,5 km ²	3,6 km ²

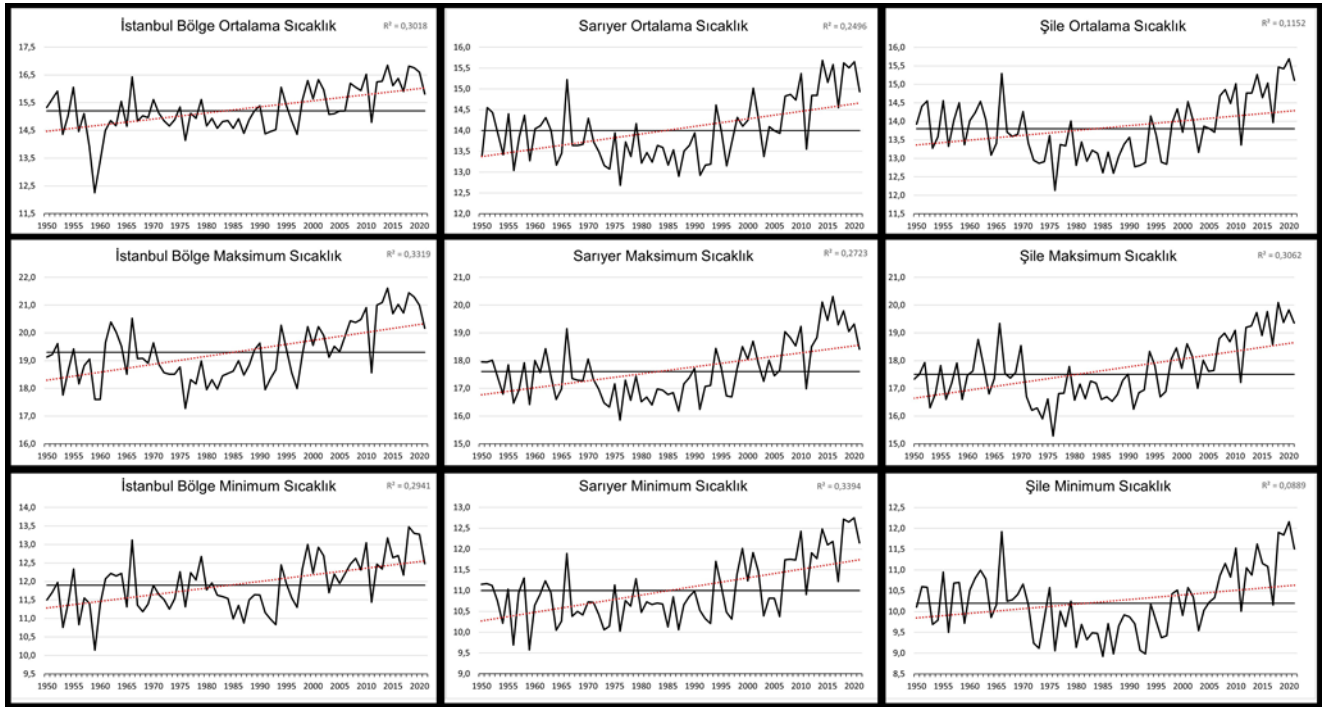
Kaynak: İBB (2021) verilerinden düzenlenmiştir.

Son olarak araştırma alanı içinde kalan çeşitli kentsel arazi örtüsü/arazi kullanımı (kentsel AÖ/AK) sınıflarının 2021 yılı ortalama, minimum ve maksimum YYS değerleri hesaplanmıştır. Kullanılan sınıflar, sürekli kentsel alan (>%80), sanayi ve üretim alanları, maden ocağı ve boşaltım sahaları, orman alanı, su alanı, mevcut kullanımı olmayan alanlardır (Copernicus, 2012; Özmekik, Tonyaloğlu & Göktuğ, 2022). Bu hesaplama için 2021 yılı YYS haritası ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2019 yılında tamamlanan kent atlası (ÇŞİDB, 2019) verisi ArcGIS for Desktop 10.8 yazılımındaki Zonal Statistics aracı kullanılarak yapılmıştır.

3. BULGULAR

Çiçek (2005)'e göre kentleşmeden en çok etkilenen iklim elemanı sıcaklıktır. Seçilen üç istasyonun uzun yıllık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık analizleri incelendiğinde dikkati çeken temel benzerlik, tüm sıcaklık parametrelerinde bir artış eğiliminin olmasıdır. Bu eğilimler tüm istasyonlar ve tüm sıcaklık parametrelerinde 1980'li yılların ilk yarısında uzun süreli ortalamanın üstüne çıkarak, artış yönünde bir trend göstermiştir. Genel olarak, istasyonlardaki sıcaklık gidişleri, analizlerin ortak başlangıç yılı olan 1950 ve 1970 yılları arasında görece ortalama çevresinde, 1970-1998 yılları arası ortalamanın altında, 1998 ve 2021 yılına kadar da ortalamanın üstünde bir gidiş göstermiştir. Sıcaklık gidişindeki kısa dönemli dalgalanmalar, her üç istasyonda da 2005 yılı ve sonrası, uzun süreli ortalama altına inmeden devam etmiştir (Şekil 3). 2011 yılındaki düşüşün sebebi, MGM (2012)'ye göre bu yıldaki La Nina hadisesinin son 60 yılın en şiddetlisi olması ve birçok iklim ekstremünün görülmesine yol açmasıdır.

Genellikle kentleşme ile yağış değişimi arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır (Gümüş, 2015). Toplam yağış miktarındaki artış, her zaman verimli bir şekilde yıl içinde ya da belirli aylarda yayılmış bir yağış demek değildir. Özellikle kentleşmenin olumsuz etkileri ile kısa süreli yağışların miktar ve şiddetinde afet boyutundaki artışlar, yıllık toplam ortalama yağışlara artış şeklinde yansiyabilmektedir. Seçilen istasyonlardan İstanbul Bölge istasyonunda yağışlarda bir azalma, Sarıyer ve Şile istasyonlarında ise bir artış eğilimi gözlemlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 3- Seçilen istasyonların uzun yıllık ortalama, maksimum, minimum sıcaklıkları

Kalın düz siyah çizgi uzun yıllar ortalaması, kesik kırmızı çizgi doğrusal trend

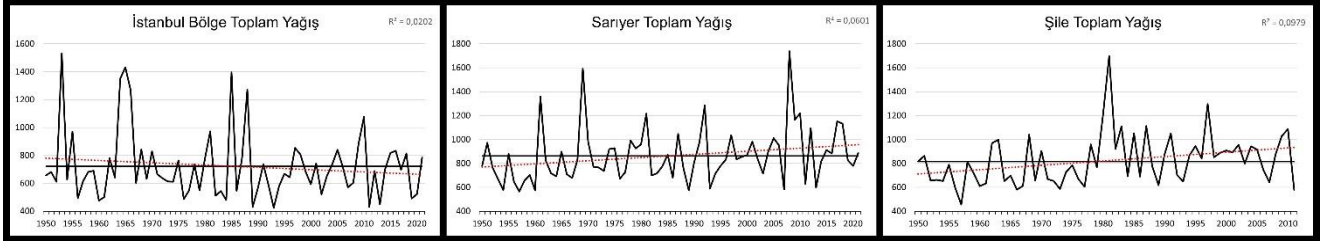
Figure 3- Long-term average, maximum, minimum temperatures of selected stations

The bold solid black line is long-term average, dashed red line is linear trend

Bu azalış ve artışların şiddeti düşüktür. Ancak bu gidişlerde dikkat çeken nokta gerek artış yönünde olsun gerek azalış, istasyonlarda değişkenliğin uzun yıllık ortalamayı yakalayıp eğilim gösterdiği yılın ortalama 1980 yılı olmasıdır (Şekil 4). Hem sıcaklıklarda hem de yağışlarda önemli yıllar seçilen istasyonlarda ortaktır. Ancak şiddetlerinde değişkenlik söz konusudur. Bu durum, aynı ilde olan bu üç istasyonun yapı yoğunluğu farklılıkları ile açıklanabilir.

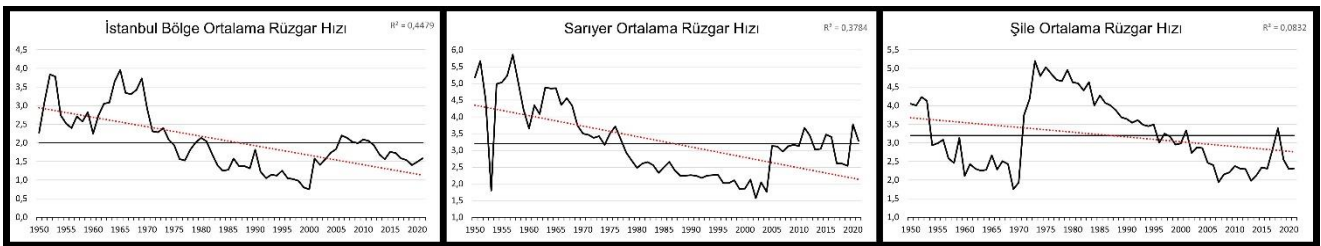
İstasyonların rüzgar hızlarında azalma eğilimi vardır. Eğilim, istasyonlarda 1985 yılı ve sonrası uzun süreli ortalamasının altında seyretmiştir. Bu açıdan rüzgar hızı da diğer tüm meteorolojik parametreler ile ortaklık

göstermektedir. 4,0 m/sn ile 0.8 m/sn arasında maksimum ve minimum gidiş gösteren rüzgar hızı, özellikle 2000 ve sonrası uzun dönemli ortalamayı neredeyse hiç geçmemiştir (Şekil 5). Bu bulgu literatürle de benzerlik göstermektedir. Sözgelimi Dadaser-Çelik & Cengiz (2014) 206 istasyonu inceledikleri çalışmalarında, istasyonların büyük çoğunluğunda yıllık ortalama rüzgâr hızının azaldığını saptamışlardır.



Şekil 4- Seçilen istasyonların uzun yıllık toplam ortalama yağışları

Figure 4- Long-term total average rainfall of selected stations



Şekil 5- Seçilen istasyonların uzun yıllık ortalama rüzgar hızları

Figure 5- Long-term average wind speeds of selected stations

İstasyonların meteorolojik parametrelerine uygulanan Mann-Kendall analiz sonuçları Tablo 3'teki gibidir. İstanbul Bölge istasyonunda toplam yağışların ortalaması dışında, her istasyon için her parametrede istatistik açıdan anlamlılıklar görülür (Tablo 3).

Tablo 3- Bazı meteorolojik parametrelere uygulanan Mann-Kendall analizi sonuçları

Table 3-Results of Mann-Kendall analysis applied to some meteorological parameters

İstasyonlar	Ortalama Sıcaklık	Maksimum Sıcaklık	Minimum Sıcaklık	Toplam Yağış	Rüzgar Hızı
İstanbul Bölge	.359**	.369**	.362**	-.016	-.452**
Sarıyer	.295**	.314**	.351**	.225**	-.438**
Şile	.188*	.378**	.171*	.179*	-.285**

Şile istasyonunun bazı parametreleri (ortalama sıcaklık, minimum sıcaklık ve yağışta 0.05 olmak üzere) dışında tüm parametrelerde istatistik açıdan 0.01 anlam düzeyinde kuvvetli trendler söz konusudur. Bu trendlerin yönü, tüm sıcaklık parametrelerinde artış yönünde, toplam yağışlarda Sarıyer ve Şile için artış yönünde ve rüzgar hızı için tüm istasyonlarda kuvvetli bir azalma yönündedir. İstanbul Bölge istasyonunda yağışlarda bir anlamlılık olmamakla birlikte, azalma yönünde bir eğilim görülmektedir. Buna karşın Sarıyer ve Şile istasyonlarının yağış verilerine göre yağışlarda artış trendi görülmektedir. Nitekim Şen & Aksu (2021)'ya göre de İstanbul Bölge istasyonunun bulunduğu Kartal ilçesinde yağışlarda azalma, Sarıyer ve Şile'de ise monotonik artan trend saptanmıştır ve yüksek yağışlarda artış daha fazladır. Çeşitli süreli (5 dk ile 18 sa arası değişen) yıllık en büyük yağış yüksekliklerindeki artış, sellerle de ilişkilendirilmiştir.

Tüm bu parametreler içerisinde, özellikle her istasyon için 0.01 anlam düzeyi ile en kuvvetli trend, maksimum sıcaklık ve rüzgar hızı parametrelerindedir. Her istasyon için maksimum sıcaklıkların artma eğilimi, özellikle sıcaklıklarda önemli değişkenlik veren 2000'li yılların başları olup, 2005 yılından sonra bir trend

göstermiştir. Efe vd. (2015) de tüm Türkiye için yıllık minimum sıcaklıklardaki artış eğiliminin 2005 yılından itibaren başladığını saptamıştır. Bu değişkenlik noktalarının tarihleri, seçilen istasyonların kentleşme hızlarına göre değişim göstermektedir. İstanbul Bölge istasyonu en kuvvetli artışı göstermektedir. Aynı il ve görece aynı etkiler altındaki bu istasyonlarda, farklı ortalama sıcaklıklar ve artış eğiliminde kuvvet farklılıkları, kentsel mekânın yoğunluğuna bağlı olarak ısı adası varlığını saptamada en açık göstergedir. Bu bağlamda analiz sonuçları tek başına değerlendirildiğinde bile İstanbul Bölge istasyonu daha yoğun kentleşmeye sahipken, Şile'nin daha az kentleşme özelliği gösterdiği söylenebilir. Lokasyon haritasında verilen yapı yoğunluklarında da (Şekil 1) görüldüğü gibi, seçilen istasyonlardan en yoğun kentleşmenin görüldüğü yerler sırasıyla İstanbul Bölge, Sarıyer ve Şile'dir.

Grafik ve analizler ile belirlenen önemli yıllara ait sıcaklık ortalamaları değerlendirildiğinde (Tablo 4), belirli yıl aralıklarının karşılaştırılması günümüze doğru daraltıldıkça, sıcaklık ortalamalarındaki artış dikkat çekmektedir. Bu durum kentleşmenin yoğunlaştığı tarihler ile paralellik göstermektedir ve artan kentsel alanlar ile ısınmanın doğru orantılı olduğunun bir göstergesidir. İstanbul Bölge istasyonunun 72 yıllık sıcaklık ortalaması 15,2°C iken, 2010-2021 yılları arasındaki sıcaklık ortalaması 16,3°C'dir. Yani geçmiş yıllar sıcaklık ortalamalarını aşağı çekerken, özellikle 2000 ve sonrası, geçmişe göre fark eden ortalama +1°C ile kentleşmenin yoğunluk kazandığı iki ayrı dönem olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer istasyonlarda da bu değişim benzer şekilde görülmektedir (Tablo 4). Ayrıca bu tablo ile yine aynı ildeki istasyonlar arasındaki sıcaklık ortalamaları farklılıklarının kentleşme yoğunluğuyla ilişkisi de kurulabilmektedir (Şekil 1).

Tablo 4- Belirli yıl aralıklarındaki sıcaklık ortalamaları
Table 4- The averages of temperature at certain year ranges

İstasyonlar	1950-2021	1950-1999	2000-2021	2005-2021	2010-2021
İstanbul Bölge	15,2	14,9	16,0	16,1	16,3
Sarıyer	14,0	13,7	14,8	14,9	15,1
Şile	13,8	13,5	14,5	14,7	14,9

1990-2009-2021 yılları için LST haritalarından oluşturulan YYS öncelikle seçilen yıllar bazında daha sonra yıllar arası oluşan sıcaklık farklılıkları şeklinde açıklanmıştır. Bunu yaparken de sıcaklığın yüksek ve düşük olduğu noktalar öne çıkarılmış, uydu görüntülerinden bu noktaların seçilen yıllardaki görüntüleri ve literatürde yer alan bilgiler doğrultusunda yorumlar yapılmıştır. İncelenen alanlar içerisinde kalan her üç merkezde YYS ortalamaları 1990'dan 2021'e artış göstermiştir. En fazla artış kent dokusunun diğerlerine göre daha fazla olduğu İstanbul Bölge istasyonundadır. 1990-2021 yılları arasındaki fark ortalamaları her üç bölgede en yüksek farklılıkların görüldüğü yıllar olmuştur (Tablo 5).

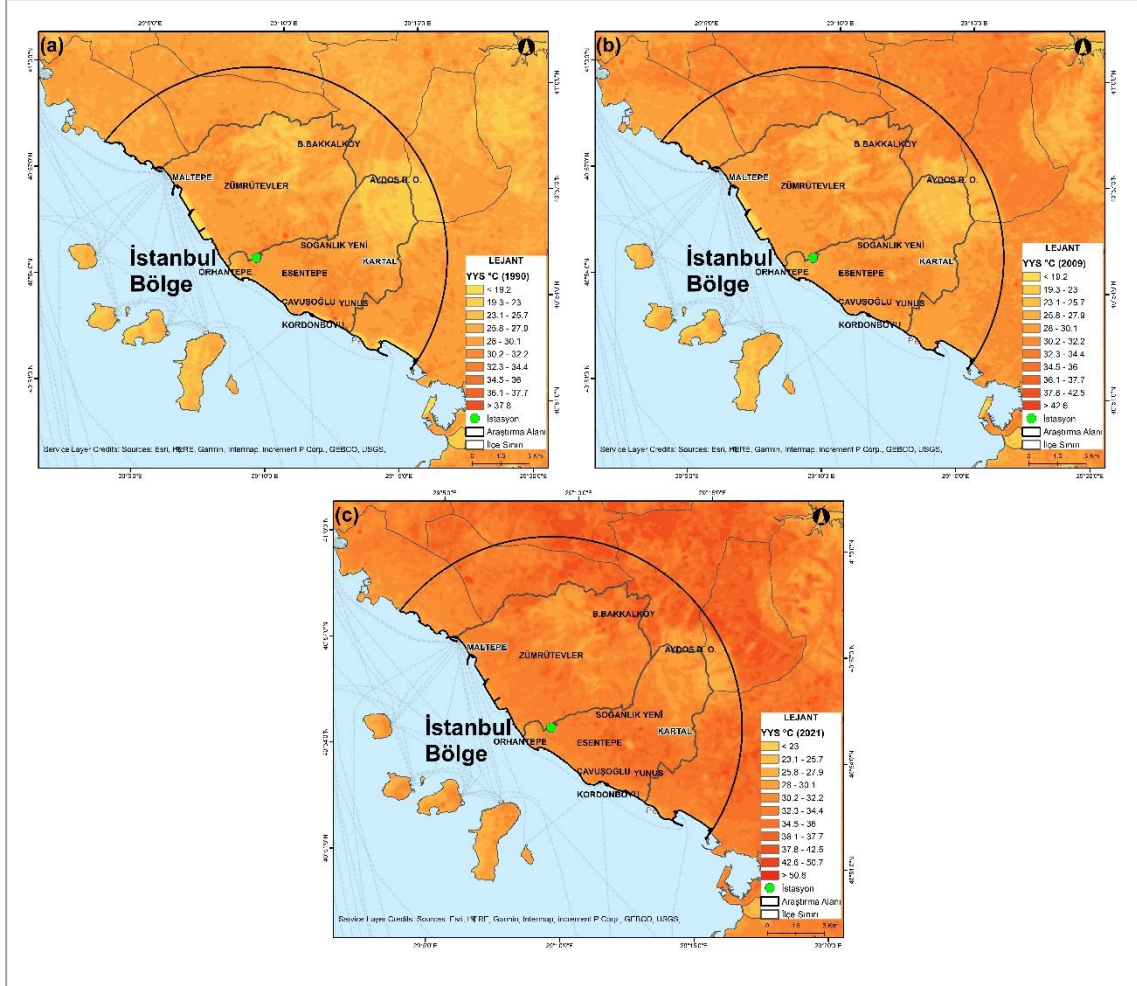
Tablo 5- İncelenen alanlardaki YYS ve YYS fark ortalamaları (°C)
Table 5- LST and LST difference averages in the examined areas (°C)

Bölge Adı	1990 Ortalaması	2009 Ortalaması	2021 Ortalaması	1990-2009 Fark	2009-2021 Fark	1990-2021 Fark
İstanbul Bölge	25,5	28,8	32,8	3,3	4	7,3
Sarıyer	23,4	26,2	29,3	2,8	3,1	5,9
Şile	22,7	23,8	26,3	1,1	2,5	3,6

3.1. İstanbul Bölge

İncelenen bölge içerisindeki sürekli kentsel alan (>%80) 24,9 km² olup, minimum YYS 26,9°C, maksimum 39,1°C, ortalama 33,7°C'dir. Orman alanı 27,5 km² olup, minimum YYS 22,7°C, maksimum 26,6°C, ortalama 29,6°C'dir. Sanayi ve üretim alanı 5,5 km² olup, minimum YYS 30,8°C, maksimum 43,3°C, ortalama 36,6°C'dir. Su alanı 0,5 km² olup, minimum YYS 26,4°C, maksimum 38,9°C, ortalama 30,9°C'dir. Mevcut kullanımı olmayan alanlar 2,1 km² olup, minimum YYS 24,6°C, maksimum 38,7°C, ortalama 34,1°C'dir.

1990 yılında D-100 hattı üzerinde ölçüm alınan nokta üzerinde yüzey sıcaklığı 30,8°C iken, D-100 çevresinde 28,7°C, 2021’de yer yüzey sıcaklığı D-100 üzerinde 35,0°C iken, çevresinde ise 33,0°C’dir (Şekil 6a, c). Bu durum 1990-2021 arasında yaklaşık 5°C’lik bir farkın olduğunu göstermektedir. 1990 yılında Kartal Aydos Ormanları’ndan alınan bir noktada 20,6°C ile sıcaklıkların daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktada sıcaklıklar, 2009 yılında 22,4°C, 2021 yılında 28,7°C şeklinde olup, yıllara göre bir artış eğilimi göstermiştir (Şekil 6b, c). Ormanlık alanda ağaç yoğunluğunun daha az olduğu adacıklardaki (en yoğun adacıktaki sıcaklıklara örnek vermek gerekirse; 1990 yılında, 26,2°C, 2009 yılında 24,1°C, 2021’de 30,1°C) YYS, yoğun olduğu alanlara göre daha fazla olmuştur.



Şekil 6- İstanbul Bölge 1990(a), 2009(b) ve 2021(c) YYS haritaları

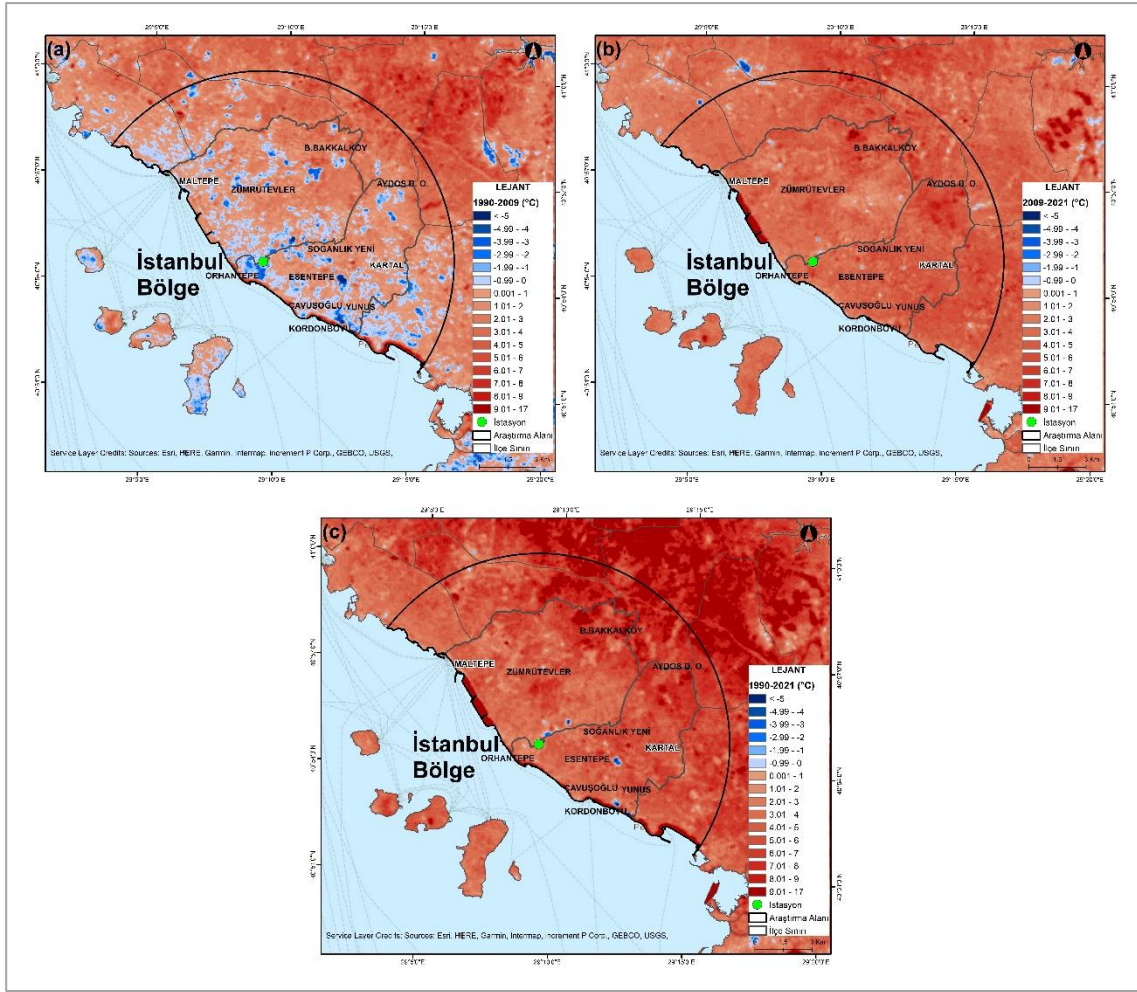
Figure 6- Istanbul Bölge 1990(a), 2009(b) and 2021(c) LST maps

Kartal’da Orhantepe Mahallesi’nde eski tütün fabrikası olup, sonradan üniversite olan yerin YYS değerleri 1990 yılında 30,0°C, 2009’da 26,7°C’ye düşmüş, 2021’de 34,0°C’ye çıkmıştır. 1990-2009 yılları arasında 3,3°C’lik bir soğuma olmakla birlikte (Şekil 7a), 2009-2021 arasında artışın şiddeti (7,3°C) daha yüksek olmuştur (Şekil 7b).

1990’da Soğanlık Mahallesi’nde yer alan adacıkta sıcaklık 28,8°C iken, uydu görüntülerine göre 2009 yılında AVM’ye dönüşen adacıkta sıcaklık 37,2°C olmuş, 2021 yılında da YYS değeri 41,1°C’ye çıkmıştır. Yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi konutun ve yapılaşmanın arttığı merkezlerde sıcaklık, diğer yerlere göre artış eğiliminde olmuştur (Bernatzky, 1982; EPA 2003; Duman-Yüksel & Yılmaz, 2013).

Kartal Aydos Ormanı’nda, YYS değerinin yüksek ve düşük olduğu iki yer incelendiğinde; farkın yüksek olduğu yerde sıcaklık, (x değeri 29.232-y değeri 40.94) 1990’da 22,4°C, 2009 yılında 23,7°C, 2021 yılında

32,8°C; farkın düşük olduğu yerde (x değeri 29.24-y değeri 40.945) 1990’da 25,0°C, 2009’da 23,3°C, 2021’de 28,6°C’dir.



Şekil 7- İstanbul Bölge 1990-2009(a), 2009-2021(b) ve 1990-2021(c) YYS fark haritaları
Figure 7- Istanbul Bölge 1990-2009(a), 2009-2021(b) and 1990-2021(c) LST difference maps

Aydos Devlet Ormanları Mahallesi’nde 1990 yılında minimum sıcaklık 18,8°C, maksimum sıcaklık 28,4°C, ortalama sıcaklık ise 22,9°C’dir. 2009 yılında minimum sıcaklık 21,9°C, maksimum sıcaklık, 28,8°C, ortalama 24,0°C dir. 2021’de minimum sıcaklık 27,0°C, maksimum sıcaklık 33,3°C, ortalama 29,6°C’dir.

Maltepe Büyükbakkalköy Mahallesi’nde 2009-2021 yılları arasında, 1°C daha düşük bir artış vardır (Şekil 7b). 1990 ve 2021’de hava sıcaklığı yüksek olmasına karşın belirgin bir yüzey sıcaklığı farkı çıkmamıştır. Bu durum albedo etkisini arttıracak faktörlerin bir arada bulunması ile açıklanabilir. Sözelimi sıcaklığı azaltacak yeşil alan varlığı ya da çatı sistemlerinin ısıyı iyi yansıtması gibi faktörler öne çıkmış olabilir (Tozam & Bulut-Karaca, 2018).

Maltepe Zümrütevler Mahallesi’nde yoğun yapılaşmanın YYS sıcaklıklarına artış şeklinde yansıdığı görülmüştür. Zümrütevler Mahallesi Begonyalık Sokak çevresinde YYS 1990’da 28,0°C, 2009’da 30,4°C, 2021’de 37,0°C’dir. Bu mahalle özelinde 1990-2021 aralığında 9°C’lik bir YYS artışı vardır (Şekil 7c). Kentsel ısı adası etkisi, kentin morfolojik yapısına bağlı olarak değişiklik göstermekle birlikte (Oke, 1981), kent peyzajına hakim olan *kentsel kanyonlar* güneş ışınlarının emilip yansımada zamansal ve bölgesel farklılıkların oluşmasını da beraberinde getirmiştir (Duman-Yüksel & Yılmaz, 2013).

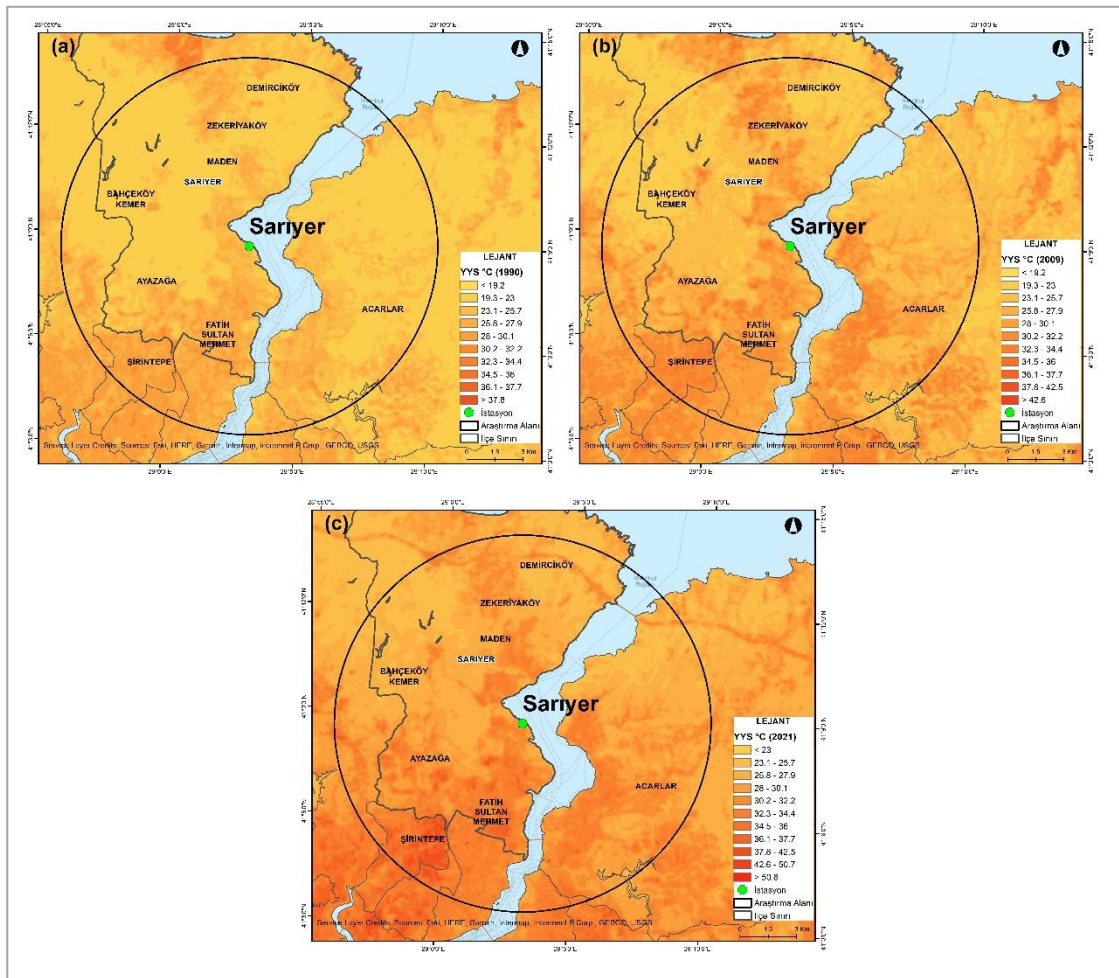
Maltepe Büyükbakkalköy Mahallesi’nde Ferhatpaşa Yolu Sokak (x değeri 29.177-y değeri 40.973) YYS haritalarında 1990 ve 2009 yıllarında çok fazla sıcaklık göstermeyen bir alanken, 2021 yılında ciddi bir artış

görülmüştür. Bu durum ormanlık alanın çıplak araziye dönüşmesiyle açıklanmaktadır. Bu bölgenin YYS değerleri 1990 yılında 22,0°C, 2009'da 24,1°C, 2021'de ise 36,4°C'dir.

3.2. Sarıyer

İncelenen bölge içerisindeki sürekli kentsel alan (>%80) 12,6 km² olup, minimum YYS 25,3°C, maksimum 39,6°C, ortalama 34,6°C'dir. Orman alanı 107,3 km² olup, minimum YYS 23,6°C, maksimum 36,4°C, ortalama 27,6°C'dir. Sanayi ve üretim alanı 2,1 km² olup, minimum YYS 25,0°C, maksimum 38,8°C, ortalama 33,2°C'dir. Su alanı 1,6 km² olup, minimum YYS 22,4°C, maksimum 36,0°C, ortalama 24,4°C'dir. Maden ocağı ve boşaltım alanı 1,6 km² olup, minimum YYS 29,1°C, maksimum 36,0°C, ortalama 33,2°C'dir. Mevcut kullanımı olmayan alanlar 1,0 km² olup, minimum YYS 25,0°C, maksimum 37,9°C, ortalama 31,8°C'dir.

Sarıyer için yapılan YYS haritalarına göre sıcaklık artışı ve düşüşünün olduğu dikkat çekici noktalara baktığımızda öne çıkanlar şu şekildedir: Maden Mahallesi'nde x 29,04-y değeri 41.179 olan noktada 1990 yılında 22,0°C, 2009'da 27,1°C, 2021'de 33,4°C'lik sıcaklıklar görülmüştür (Şekil 8a, b, c). 1990'dan 2021'e 11,4°C'lik bir fark varken, 2009-2021 aralığında 6,3°C'lik bir sıcaklık farkı görülmüştür. Uydu görüntüleri incelendiğinde, 1990 ve 2009 yıllarında ormanlık alan olan bu yerde 2021'de yapılaşmanın olduğu görülmüştür.

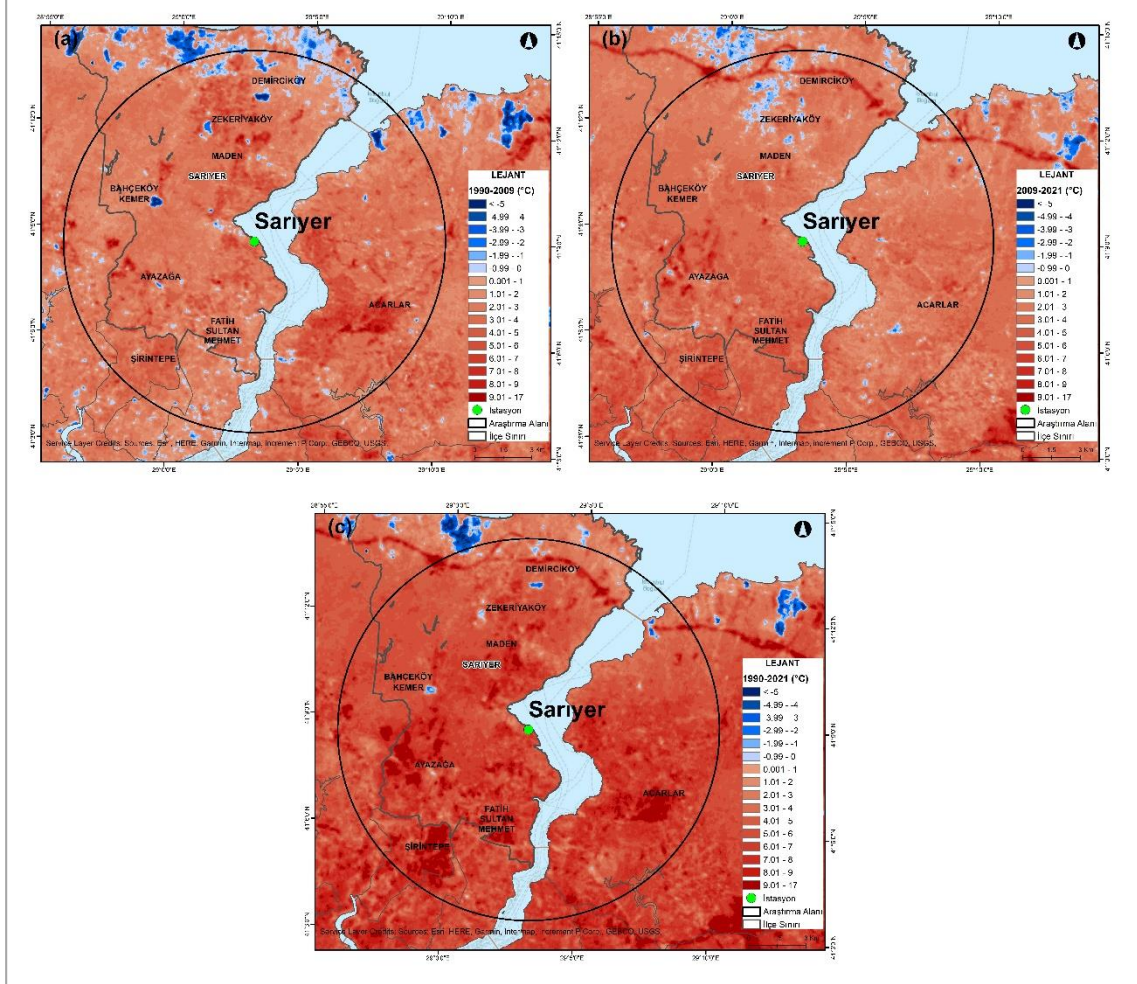


Şekil 8- Sarıyer 1990(a), 2009(b) ve 2021(c) YYS haritaları

Figure 8- Sarıyer 1990(a), 2009(b) and 2021(c) LST maps

Demirciköy Mahallesi'nde x değeri 29,053-y değeri 41,215 olan nokta, 1990 yılında 29,6°C, 2009 da 22,0°C, 2021'de 25,1°C'dir. 1990'dan 2021'e -4,5°C bir soğuma gerçekleşmiş buna karşın 2009'dan 2021'e 3,1°C bir ısınma görülmüştür (Şekil 9c, b). 1990'da bu alan çıplak arazi olduğu için YYS sıcaklıkları yüksek çıkmış, 2009 ile 2021'de ise ormanlık alana dönüştürüldüğü için yüzey sıcaklığı düşmüş ve fark haritalarında soğuma alanı olarak görülmüştür (Şekil 9b).

Demirciköy Mahallesi'nde Kuzey Marmara Otoyolu'nun olduğu hatta (x değeri 29,059-y değeri 41,227) YYS değerlerinde bir artış görülmektedir. 1990'da 21,0°C, 2009'da 24,1°C, 2021'de 31,9°C'dir. 1990-2021 aralığında 10,9°C, 2009-2021 aralığında 7,8°C sıcaklık farkı görülmüştür. 1990 ve 2021 yılları arasındaki farkın yüksek olma nedeni Kuzey Marmara Otoyolu'nun ısınmayı artırıcı etkisi olduğu düşünülmektedir. Nitekim yol, cadde, sokak gibi geçirimsiz yüzeyler kentsel ısı adalarının oluşumunu arttıran unsurlardır (Oke, 1982; Kim, 1992).



Şekil 9- Sarıyer 1990-2009(a), 2009-2021(b) ve 1990-2021(c) YYS fark haritaları

Figure 9- Sarıyer 1990-2009(a), 2009-2021(b) and 1990-2021(c) LST difference maps

Zekeriyaköy Mahallesi x değeri 29.018-y değeri 41,201 olan noktada, 1990 yılında 27,9°C, 2009 yılında 24,1°C, 2021 yılında 26,6°C'dir. Gözlemlenen değerlere göre yıllar arası bir sıcaklık düşüşü olmuştur. 1990'dan 2021'e -1,3°C'lik bir sıcaklık düşüşü görülürken, 2009'dan 2021'e 2,5°C'lik sıcaklık artışı görülmüştür. 1990 yılı uydu görüntülerinde çıplak arazi olarak görülen alanın YYS değeri yüksekken, 2009 yılında orman alanı olarak görülmüş ve 2021'de orman örtüsü korunmuştur. Literatüre göre kentsel ısı adası yoğunluğu, kentin büyüklüğü ve/veya popülasyonunun artmasıyla büyüme eğilimindedir (Oke, 1982; Arnfield, 2003). 2009-2021 yılındaki 2,5°C'lik YYS artışı, kuzeydeki kentsel alanın seçilen noktaya doğru genişlemesiyle açıklanabilir. Haritalarda bu kentsel alan genişlemesi bölgenin 1 km kuzeydoğusunda (x değeri 29.03-y değeri 41.203) 8,5°C'lik bir YYS artış alanı oluşturmuştur.

Bahçeköy Kemer Mahallesi'nde x değeri 28.987-y değeri 41.164 olan noktanın YYS değerleri incelendiğinde düşüş görülmüştür. Bu değerler, 1990 yılında 30,0°C, 2009 yılında 24,1°C, 2021'de 27,2°C'dir. 1990'dan 2021'e -2,8°C'lik bir YYS düşüşü görülmüştür. 2009'dan 2021'e ise 3,1°C YYS artışı olmuştur. YYS düşüşünün en kuvvetli olduğu aralık 5,9°C ile 1990-2009 yıllarıdır (Şekil 9a). 1990 uydu görüntülerinde bu alan

çıplak arazi iken 2009 ve 2021’de ormanlık alan olarak gözlemlenmiştir. Bu alanın 1 km kuzeyinde YYS artışı gözlemlenen yerin (x değeri 28.99-y değeri 41.174) değerleri 1990 yılında 23,7°C, 2009 yılında 32,9°C, 2021 yılında 34,0°C’dir. Bu alanda 1990-2021’de 10,3°C’lik bir fark varken, 2009-2021’de 1,1°C’lik bir fark vardır. Uydu görüntüleri incelendiğinde, 1990 yılında çıplak arazi olarak gözlemlenen alanın, 2021’de yapılaşmış bir alana dönüştüğü dikkat çekmektedir. Nitekim çıplak arazinin ısıyı yansıtma kapasitesinin (albedo) daha düşük olduğu bilinmektedir (Schlünzen & Katzfey, 2003).

Ayazağa Mahallesi’nde (x değeri 28.972-y değeri 41.134) seçilen noktanın 1990 yılında YYS değeri 21,1°C iken 2009’da 30,8°C, 2021’de 35,8°C’dir. 1990’dan 2021’e 14,7°C’lik bir artış (Şekil 9c) ve 2009’dan 2021’e 5,0°C’lik bir artış görülmüştür (Şekil 9b). Bu durum uydu görüntüleriyle incelendiğinde bölgede 4 adet öbek şeklinde açık maden işletmesi olduğu görülmüştür.

Fatih Sultan Mahallesi’nde Boğaz Köprüsü’ne ulaşımı sağlayan otoyolun kuzeyinde (x değeri 29.039-y değeri 41,096) 1990’da 25,4°C, 2009’da 30,4°C, 2021’de 36,5°C’lik bir YYS değeri görülmektedir. 1990’dan 2021’e 11,1°C’lik artış görülürken, 2009’dan 2021’e 6,1°C’lik artış görülmüştür.

Sarıyer istasyonu sınırları içerisinde kalan Beykoz’da Acarlar Mahallesi’nde (x değeri 29.129-y değeri 41.108) 1990’da 20,2°C, 2009’da 30,0°C, 2021’de 32,3°C’lik bir YYS artışı görülmüştür. 1990’dan 2009’a 9,8°C’lik bir YYS değeri artışı görülmüştür. 1990’dan 2021’e 12,1°C’lik bir artış görülmüştür. Yine incelenen bölge içerisinde yer alan Kağıthane’de Şirintepe Mahallesi x değeri 28.993-y değeri 41.091 olan noktada 1990 YYS değeri 26,3°C, 2009’da 32,8°C, 2021’de 38,3°C’lik bir YYS değeri görülmüştür. 1990’dan 2021’e 12°C’lik bir artış görülmüştür. 1990’dan 2009’a 6,5°C’lik bir artış görülürken, 2009’dan 2021’e 5,5°C’lik bir artış görülmüştür. Uydu görüntülerine göre, bu noktada 1990’da yapılaşma daha seyrekken, 2021’de yapılaşmanın daha sık olduğu görülmüştür. Bu noktada yapılaşma ve yeşil alanın paralel bir şekilde artmaması YYS değerlerinin artışı üzerinde etkili olmuştur.

3.3. Şile

İncelenen bölge içerisindeki sürekli kentsel alan (>%80) 0,5 km² olup, minimum YYS 27,3°C, maksimum 31,2°C, ortalama 29,7°C’dir. Orman alanı 1,4 km² olup, minimum YYS 24,5°C, maksimum 30,0 °C, ortalama 26,0°C’dir. Sanayi ve üretim alanı 0,03 km² olup, minimum YYS 29,5°C, maksimum 33,0°C, ortalama 32,5°C’dir. Su alanı 0,01 km² olup, minimum YYS 27,8°C, maksimum 31,9°C, ortalama 29,4°C’dir. Mevcut kullanımı olmayan alanlar 0,15 km² olup, minimum YYS 24,0°C, maksimum 34,3°C, ortalama 30,2°C’dir.

Seçilen diğer bölgelere göre daha kırsal bir yapıda olduğu için YYS haritalarında en az sıcaklık artışının olduğu merkezdir. Buna göre haritalarda sıcaklıklardaki artış ve düşüşte dikkat çeken noktalarla ilgili bazı değerlendirmeler şu şekildedir:

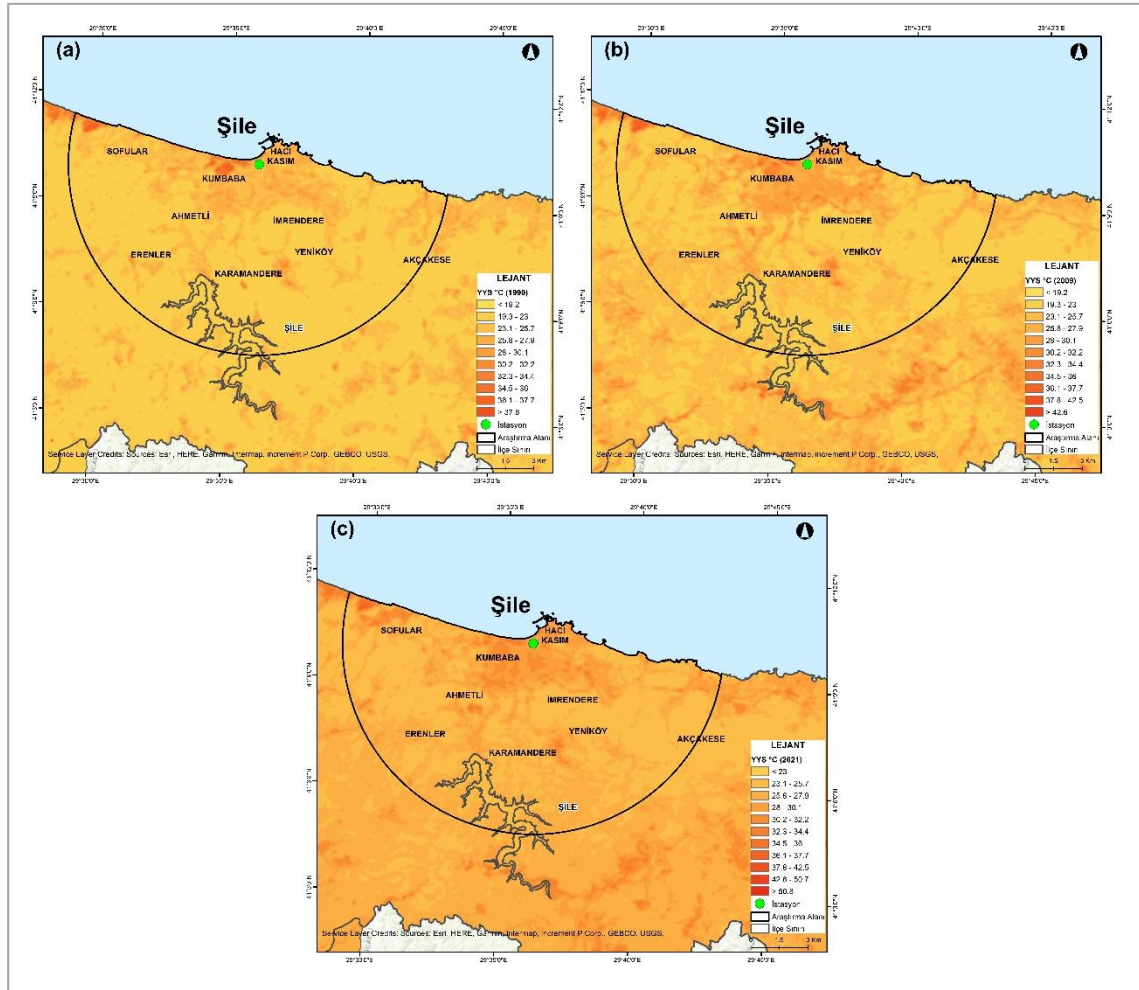
Şile Ahmetli Mahallesi x değeri 29.563-y değeri 41.138 olan noktanın 1990 YYS değeri 21,1°C, 2009’da 23,3°C, 2021’de 34,1°C olarak ölçülmüştür (Şekil 10a, b, c). 1990-2021 aralığında 13°C’lik, 1990’dan 2009’a 2,2°C’lik, 2009’dan 2021’e 10,8°C’lik bir artış görülmüştür. Uydu görüntülerine göre, 1990’da ormanlık arazi olan alan 2009’da maden ocağı olmuştur. 2021’de ise maden ocağı genişlemiştir. Bu nedenle sıcaklıklar artmıştır.

Şile merkezde Hacıkasım Mahallesi’nde x değeri 29,608-y değeri 41.177 olan yerin 1990 YYS değeri 18,4°C, 2009’da 25,8°C, 2021’de 29,4°C olarak ölçülmüştür. 1990’dan 2021’e 11°C’lik bir artış görülmüştür. 1990’dan 2009’a 7,4°C, 2009’dan 2021’e 3,6°C’lik bir sıcaklık artışı gözlemlenmiştir (Şekil 11c, a, b). Uydu görüntülerine bakıldığında bu alan, 1990 yılında su yüzeyi iken 2009’da dolgu alanı haline getirilmiştir. 2021’de ise marina yapılan alanda, otopark, açık hava spor etkinlik alanları ve boş arazi olduğu görülmüştür.

İmrandere Mahallesi’nde x değeri 29.619-y değeri 41.15 olan noktanın 1990 YYS değeri 22,4°C, 2009’da 30,8°C, 2021’de 30,4°C olarak ölçülmüştür. 1990’dan 2021’e 8°C’lik bir artış görülürken, 2009’dan 2021’e -0,4°C’lik bir düşüş olduğu görülmüştür. Uydu görüntülerine göre 1990’da ormanlık alan olan bu yerin, 2009’da Melen boru hattının geçtiği güzergâh olduğu gözlemlenmiştir. 2021’de de boru hattı vardır.

Sofular Mahallesi’nde x değeri 29.504-y değeri 41.176 olan noktanın 1990’da YYS değeri 22,8°C iken, 2009’da 22,4°C, 2021’de 32,4°C olduğu gözlemlenmiştir. 1990’dan 2009’a sıcaklık değerlerinde büyük farklılık görülmezken, 1990’dan 2021’e 9,6°C’lik bir artış görülmüştür. 2009’dan 2021’e ise 10°C’lik bir artış olmuştur.

Uydu görüntüleri ve Orman Genel Müdürlüğü (OGM, 2022)'ne göre 2 Ağustos 2020'de çıkan orman yangını sonrasında bu alan günümüzde çıplak arazi haline gelmiştir. Bu durum orman yangınlarının küresel ısınma ve bunun yereldeki karşılığı olan kentsel ısı adaları üzerindeki sıcaklığı artırıcı etkisi ile açıklanabilir (IPCC 2022; Türkeş, 2014).

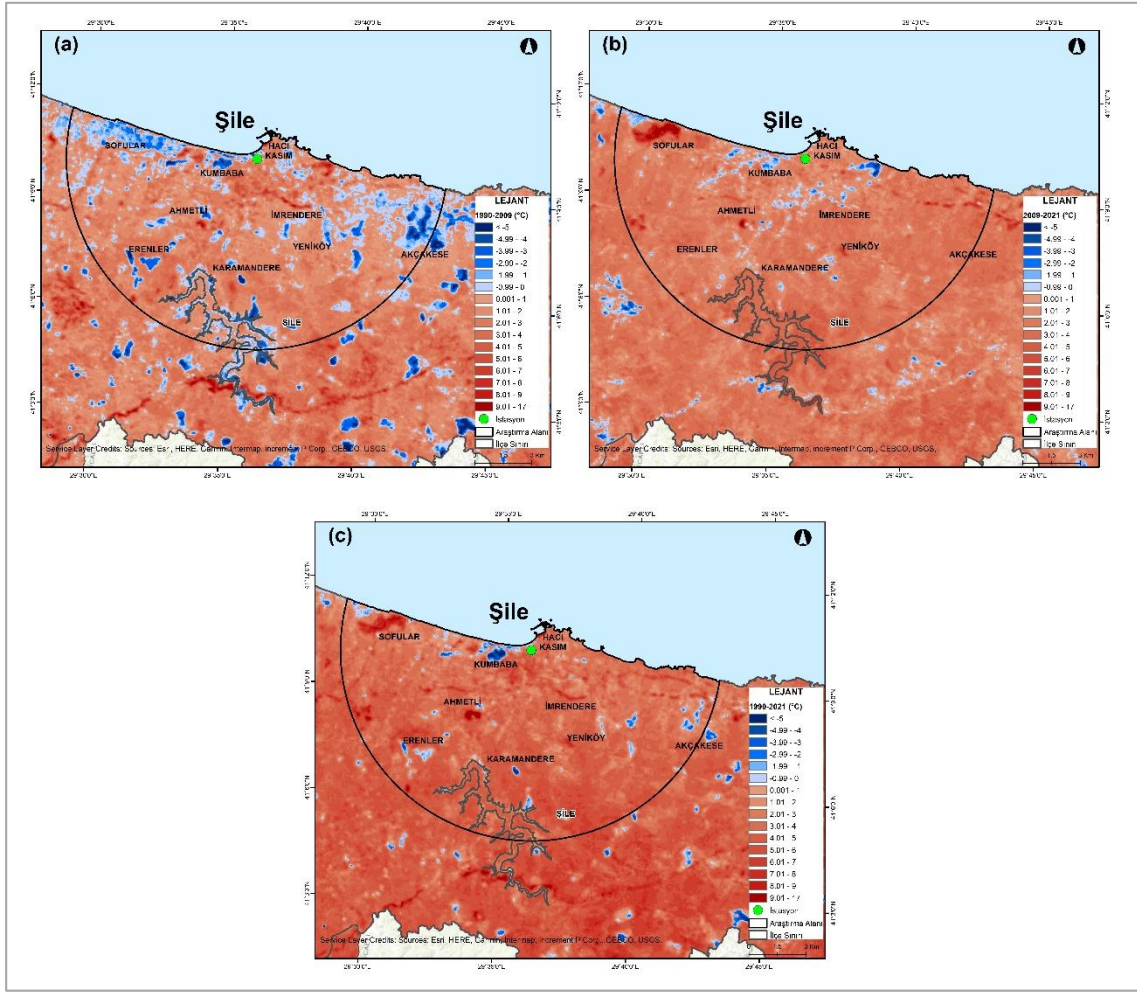


Şekil 10- Şile 1990(a), 2009(b) ve 2021(c) YYS haritaları

Figure 10- Şile 1990(a), 2009(b) and 2021(c) LST maps

Karamandede Mahallesi'nde x değeri 29.594-y değeri 41.11 olan noktanın 1990 YYS değeri 31,7°C iken, 2009'da 23,3°C, 2021'de 25,4°C olarak ölçülmüştür. 1990-2021 aralığında 6,3°C'lik bir düşüş görülürken, 1990'dan 2009'a 8,4°C'lik bir düşüşün olduğu görülmüştür. 2009'dan 2021'e 2,1°C'lik artış olmuştur. Uydu görüntülerine göre, 1990'da çıplak arazi olan bu yer, 2009'da ormanlık alan haline gelmiştir. Dolayısıyla çıplak araziden orman örtüsü haline gelen bir yerin ısı adası etkisini azalttığı görülmüştür.

Erenler Mahallesi'nde x değeri 29.524-y değeri 41.121 olan yerin 1990 YYS değeri 30,8°C, 2009 değeri 22,8°C, 2021 değeri 26,0°C olarak ölçülmüştür. 1990'dan 2021'e 4,8°C'lik bir düşüş görülürken, 1990'dan 2009'a 8°C'lik bir düşüş görülmüştür. Bu durum uydu görüntülerine göre çıplak araziden ormanlık alana geçişle açıklanabilir. 2009'dan 2021'e 3,2°C'lik bir artışın olduğu görülmüştür. Bu artış hava sıcaklıklarındaki sıcaklıkların artışıyla da paralellik göstermektedir.



Şekil 11- Şile 1990-2009(a), 2009-2021(b) ve 1990-2021(c) YYS fark haritaları
Figure 11- Şile 1990-2009(a), 2009-2021(b) and 1990-2021(c) LST difference maps

Kumbaba Mahallesi x değeri 29.583-y değeri 41.167 olan yerin 1990 YYS değeri 36,5°C, 2009'da 32,1°C, 2021'de 30,4°C olarak ölçülmüştür. 1990'dan 2021'e 6,1°C'lik düşüş görülürken, 2009'dan 2021'e 1,7 °C'lik bir düşüş, 1990'dan 2009'a 4,4°C'lik bir düşüş görülmüştür. Uydu görüntülerine göre bu nokta 1990 da çıplak arazi iken, 2009 da seyrek ve düşük yoğunluklu bir yerleşme haline gelmiş, 2021'de de yerleşmelerin artış gösterdiği görülmüştür.

Akçakese Mahallesi'nde x değeri 29,702-y değeri 41.135 olan yerin 1990 yılında YYS değeri 28,4°C iken, 2009 yılında 21,1°C, 2021 yılında ise 24,3°C olarak ölçülmüştür. 1990'dan 2009'a 7,3°C'lik bir düşüş varken, 2009'dan 2021'e 3,2°C'lik bir artış vardır. 1990'dan 2021'e ise 4,1°C'lik düşüş görülmüştür. Uydu görüntülerine bakıldığında bu nokta, 1990'da çıplak arazi iken 2009'da ormanlık alan haline dönüşmüştür.

Yeniköy Mahallesi'nde x değeri 29.627-y değeri 41.127 olan yerin 1990 YYS değeri 21,9°C iken, 2009'da 22,8°C, 2021'de 30,0°C'dir. 1990'dan 2021'e 8,1°C'lik bir artış olmuş, 1990'dan 2009'a 0,9°C'lik artış olmuştur. 2009'dan 2021'e 7,2°C'lik bir artış görülmüştür. 1990 ve 2009'da ormanlık alan olan yerde, 2021 yılında maden ocağı yapıldığı uydu görüntüleriyle saptanmıştır.

4. TARTIŞMA

Son yıllarda hızlı kentleşmeye bağlı iklim değişikliği ve kentsel ısı adaları (Arnfield, 2003; EPA, 2003; Stewart, 2011; IPCC, 2022) sıklıkla tartışılan konular olmuştur. Bu çalışmada İstanbul'dan 3 farklı istasyon (İstanbul Bölge, Sarıyer ve Şile), 2 farklı yöntemle çalışılmıştır. 1950-2021 yılları aralığındaki, ortalama sıcaklık, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, toplam yağış, ortalama rüzgar hızı olmak üzere 5 farklı meteorolojik

parametre; United States Geological Survey -USGS- 'den alınan 1990 ve 2009 yılı Landsat TM 5 ve 2021 Landsat 8 -OLI-TIRS- uydu görüntüleri üzerinden oluşturulan YYS haritaları ile kentsel ısı adası oluşumu incelenmiştir.

Erlat, Türkeş & Aydın-Kandemir (2021)'e göre sıcak hava dalgası özelliklerinin trend analizi, Türkiye'nin 1950'den bu yana daha sık ve daha uzun sıcak hava dalgaları yaşadığını göstermektedir. Bu çalışmada da analizlerin ortak başlangıç yılı olan 1950'den bu yana İstanbul Bölge, Sarıyer ve Şile istasyonlarında tüm sıcaklık parametrelerinde artış eğilimi söz konusudur. Bu artış eğilimi Şile istasyonunda görece daha düşük olmakla birlikte yine tüm istasyonlarda özellikle maksimum sıcaklıklarda (0.01 anlam düzeyi) istatistiksel açıdan anlamlılık göstermiştir. Nitekim Yasdıman (2021) da İstanbul ve Şile istasyon çifti için 69 yıllık sıcaklık veri seti karşılaştırmasında kentsel ısı adası varlığını ispat etmiştir. Buna göre aylık maksimum, aylık minimum ve aylık ortalama sıcaklık ortalamalarına ait tüm mevsimlerde kent istasyonu olan İstanbul, kırsal istasyon olan Şile'den daima daha fazla ısınmıştır.

Firozjaei vd. (2020) mega kentler, aşırı nüfus artışı, kentsel alan genişlemesi, insan faaliyeti, artan enerji tüketimi ve artan antropojenik ısı nedeniyle ciddi sorunlarla karşı karşıya olduğunu yaptıkları çalışma ile ispatlamaya çalışmıştır. Buna göre 1985-2019 yılları aralığında yaptıkları modellemede Los Angeles, Atlanta, Atina, İstanbul, Tahran ve Pekin gibi mega kentlerin antropojenik yer yüzeyi sıcaklık ortalamalarının artış göstermesi, ısı adalarının kentlerdeki etkisinin önemli boyutlarda olduğunu göstermiştir. Duman-Yüksel (2008), günümüz büyük kentlerinde yeşil alanların ve buharlaşma yüzeylerinin azalması; beton ve asfaltla kaplanmış yüzeyler ile yapısal alanların artması ve bu alanlarda kullanılan yapı malzemelerinin sıcaklığı daha iyi iletme ve yüksek sıcaklık depolama özelliklerine sahip olmaları gibi nedenlerle meteorolojik parametrelerin değişerek, yerel ve bölgesel ölçekte iklim değişimine neden olduğunu belirtmiştir. İstasyonların yağış değerleri İstanbul Bölge istasyonu dışında artış eğilimine sahiptir. İstanbul Bölge'deki azalma eğilimi herhangi bir anlam düzeyine girmemiştir. Bu durum kentsel ısı adası etkisinin yağışlar üzerinde azaltıcı etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Kadıoğlu (1997), Marmara Bölgesi'nde şehirleşmenin yağış üzerine etkisini araştırdığı makalesinde şehirlerdeki aşırı yoğunlaşma çekirdekleri nedeniyle yağışlı gün sayısında artış olurken, şiddetli yağışlarda (> 30 mm gün-1) azalma saptamıştır. Yazar bu durumu aşırı yağışları besleyecek kadar yağışa geçebilir su buharının atmosferde birikmeden eskiye nazaran daha sık yere ulaşmasıyla açıklamaktadır. İstasyonlarda yine şiddetli azalma trendi gösteren diğer parametre ortalama rüzgar hızıdır. Tüm istasyonlarda 0.01 anlam düzeyinde saptanmıştır. Yapılı çevre yoğunluğu arttıkça rüzgar hızının düştüğü görülmüştür. Nitekim Bernatzky (1982), yapılaşma yoğunluğu, materyal seçimi, yüksek binaların rüzgâr hızını kesmesi, yağış akışkanlığının olumsuz etkilenmesi, vejetasyon eksikliği nedeni ile buharlaşmanın azalması ve sis oluşumunun artması nedeni ile kentlerde bir sıcaklık artışından söz etmiştir.

1990, 2009, 2021 YYS haritaları sonuçlarına göre, seçilen üç bölgede yapılaşmanın ve çıplak arazinin artması, orman örtüsünün azalması, maden ocaklarının varlığı, sanayi tesislerinin varlığı, günümüze doğru YYS değerlerini arttırmıştır. Bu sonuç literatürle de örtüşmekle birlikte, kent yoğunluğunu arttıracak geçirimsiz yüzeylerin ısı adaları oluşumunu tetiklediği ile açıklanmıştır (Svensson & Eliasson 2002; Çiçek & Doğan 2005; Dadaser-Çelik & Cengiz, 2014; Yu vd., 2019; Shahfahad vd., 2022). Seçilen üç istasyon arasında kentleşme düzeyi en fazla olan İstanbul Bölge'den Sarıyer'e ve kırsal bir özellik taşıyan Şile'ye doğru YYS değerlerinde de bir düşüş söz konusu olmuştur. Bu durum literatürle de örtüşmektedir. Sözelimi, Özbilge (2020)'nin MODIS ve Landsat 8 uydu görüntüleri ile İstanbul'un yüzey sıcaklıklarını incelediği çalışmasında, Şile'nin yüzey sıcaklıkları tüm yıl boyunca İstanbul Bölge ve Sarıyer'i de içeren bölgelere göre daha düşük çıkmıştır. Yine Sarp vd. (2021)'nin İstanbul genelinde uzaktan algılama yöntemi kullanarak yaptıkları çalışmalarında, ilçelerin kentsel obje oranlarına bakıldığında en yüksek kentsel obje oranı %52 ile Güngören ilçesidir. Kentsel obje oranının en düşük olduğu ilçe ise %2 ile Şile'dir. Karşılaştırma, kentsel obje oranları ile yüzey sıcaklığı arasındaki pozitif doğrusal ilişkiyi ortaya koymaktadır. İstanbul Bölge'de incelenen bölge içerisindeki alanda geçmişte fabrika olan yerlerin YYS değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, Sarp, Temurçin & Aldırmaz (2018)'in, uzaktan algılama yöntemi kullanarak sanayileşmenin kentsel ısı adası oluşumu üzerindeki etkisini Bağcılar (İstanbul) özelinde inceledikleri çalışma ile de örtüşmektedir. Çalışmada sanayileşmiş bölgelerde ısı adalarının oluşumunda bir artış görüldüğü saptanmıştır.

İstanbul Bölge istasyonu İstanbul'un en yoğun kentleşme gösteren yerlerinden biri, Sarıyer istasyonu kentleşmenin hız kazandığı yarı kentsel bir yer, Şile istasyonu ise çevresine göre daha kırsal bir özellik göstermektedir. Bu durum sıcaklık gidişlerinde aynı yönde olsa da şiddet bakımından farklılık göstermelerine sebep olmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'nin birçok yeri gibi hızlı yapılaşmanın sürdüğü Şile istasyonunda da kentleşme hızının devam etmesi durumunda, zaman içinde daha da şiddetlenen bir ısınma eğilimi olacağı düşünülmektedir.

Yapılı çevrenin hızla değiştiği ve birim alandan daha fazla gelir elde edilen çok katlı yapılaşmayla birlikte kentlerde nüfus yoğunluğu artmaktadır. Bu nüfusun ihtiyacı olan yeşil alanlar, yapılaşmaya bağlı olarak azalmaktadır. Gerek toplumun ihtiyacını karşılamak gerekse kentsel ısı adalarının oluşumunu azaltmak için yeşil alanlar ve ağaçlandırma artırılmalıdır. Bilimsel araştırmalar ağaç ve bitki örtüsünün bir binanın soğutma enerjisi tüketimini %25'e kadar azalttığını göstermektedir (EPA, 2003). Yapıların çatı sistemleri (yeşil çatı, serin çatı vb.) güneş ışınlarını absorbe etmeyecek, yayılımı kolaylaştıracak malzemelerden üretilmelidir. Nitekim Zoras vd. (2014)'nin Florina'da (Yunanistan) kentsel bir alanda geleneksel malzemeleri soğuk malzemelerle değiştirdikleri simülasyon çalışmalarında, soğuk malzemelerle değiştirilen simülasyonda en sıcak günün öğle saatlerinde ortalama maksimum hava sıcaklığı 1,39°C azalırken, ortalama yüzey sıcaklığında 3,52°C azalma gerçekleşmiştir.

5. SONUÇ

Kentler, bitki örtüsünün yok edildiği, geçirimsiz yüzeylerin ve yapı alanlarının yoğun olduğu, doğal drenaj ve su akışının değiştirildiği; su, enerji, bitki örtüsü, topografya ve yapı malzemelerinde çok büyük dönüşümlerin yaşandığı mekânlar haline gelmiştir. Kentsel mekânlardaki yapılaşma ve yüzey değişiklikleri nedeniyle radyasyon dolaşımının bozulması, kent mekânında ısınmış alanların yani kentsel ısı adalarının oluşumunu beraberinde getirmiştir. Bu çalışmada kentsel ısı adası, kentsel yoğunlukları farklı olan üç merkezde (İstanbul Bölge, Sarıyer, Şile), meteorolojik parametreler ve uzaktan algılama yöntemi ile elde edilen sonuçlar üzerinden değerlendirilmiştir. 5 farklı parametrenin 1950-2021 dönemi yıllık zaman serilerindeki trendler incelenmiştir. Meteorolojik verilere Mann-Kendall Sıra Korelasyon Analizi yöntemi uygulanmıştır. 1990-2009-2021 yıllarına ait Landsat görüntüleri kullanılarak YYS elde edilmiştir. Bu görüntüler üzerinden araştırma alanları bazında yıllar arası YYS değerlerindeki durum ve farklılaşma açıklanmıştır.

Seçilen üç istasyonun uzun yıllık sıcaklık analizleri incelendiğinde, tüm sıcaklık parametrelerinde bir artış eğilimi saptanmıştır. Bu eğilimler 1980'li yılların ilk yarısında uzun süreli ortalamanın üstüne çıkarak, artış yönünde bir trend göstermiştir. Şile istasyonunun ortalama sıcaklık, minimum sıcaklık ve yağışta 0.05, maksimum sıcaklık ve ortalama rüzgarda istatistik açıdan 0.01 anlam düzeyinde kuvvetli trendler söz konusudur. Bu trendlerin yönü, istasyonların tüm sıcaklık parametrelerinde artış yönünde, toplam yağışlarda Sarıyer ve Şile'de artış yönünde ve rüzgar hızı için ise tüm istasyonlarda kuvvetli bir azalma yönündedir. İstanbul Bölge istasyonunda yağışlar anlamlılık vermemiştir ve azalma yönünde bir eğilim görülmüştür. Buna karşın Sarıyer ve Şile istasyonlarında yağışlarda artış trendi saptanmıştır. 1990-2009-2021 yıllarına ait seçilen bölgelerin Landsat uydu görüntülerine göre ise YYS değerlerinde genel olarak artış görülmüştür. Bu artış kentleşmenin en yoğun olduğu İstanbul Bölge'de daha fazladır. Sonrasında Sarıyer ve Şile takip etmektedir.

Bu çalışmada incelenen alanların meteorolojik verileri ve Landsat uydu görüntülerinden elde edilen YYS sonuçları kentsel ısı adası oluşumunu göstermekle birlikte, kentleşmenin kent iklimi üzerinde ısı arttırıcı etkisine örnek olmuştur.

Çıkar Çatışması / <i>Conflict of Interest</i>	Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. <i>The authors declared no conflict of interest</i>
Finansal Destek / <i>funding conditions</i>	Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmiştir. <i>The authors declared that this study has received no financial support</i>
Yazar Katkıları/Author Contributions	Yazarlar/Authors
Çalışmanın içeriği ve tasarımı/ <i>Conception/Design of Study</i>	P. Aksak - Ş. Kartum Öztürk - Ö. Ünsal
Metodoloji/ <i>Methodology</i>	P. Aksak - Ş. Kartum Öztürk - Ö. Ünsal
Veri toplama-oluşturma-iyileştirme/ <i>Data Curation</i>	P. Aksak - Ş. Kartum Öztürk - Ö. Ünsal
Analiz/ <i>Analysis and interpretation of data</i>	Ş. Kartum Öztürk - Ö. Ünsal - P. Aksak
Görselleştirme/ <i>Visualization</i>	Ö. Ünsal - Ş. Kartum Öztürk - P. Aksak
Yazı taslağı/ <i>Writing - Original Draft</i>	P. Aksak - Ş. Kartum Öztürk - Ö. Ünsal
Yazma - İnceleme ve Düzenleme/ <i>Writing - Review & Editing</i>	P. Aksak - Ş. Kartum Öztürk - Ö. Ünsal
Proje yönetimi/ <i>Project administration</i>	P. Aksak - Ş. Kartum Öztürk - Ö. Ünsal

REFERANSLAR

- Arnfield, A.J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island. *International journal of Climatology*, 23, 1-23. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Hindawi Publishing Corporation Journal of Sensors*, Article ID 1480307, 8 pages. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Barsi, J., Schott, J., Hook, S., Raqueno, N., Markham, B., & Radocinski, R. (2014). Landsat 8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626. <https://doi.org/10.3390/rs6111607>
- Bernatzky, A. (1982). The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and Buildings*, 5(1), 1-10. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(82\)90022-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(82)90022-6)
- Canan, F. (2017). Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 69-80. doi: <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.357202>
- Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674-2677. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.818464>
- Coll, C., Galve, J. M., Sánchez, J. M., & Caselles, V. (2010). Validation of Landsat-7/ETM+ thermal band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(1), 547-555. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2024934>
- Copernicus. (2012). Urban Atlas Supplement I. Retrieved from <https://acp.copernicus.org/preprints/acp-2019-127/acp-2019-127-supplement.pdf>
- Çiçek, İ. (2005). Ankara'da şehir ve kırsal sıcaklık farklarındaki değişiklikler (1970-2002). *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(2), 1-16. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/firatsbed/issue/45191/565903>
- Çiçek, İ., & Doğan U. (2005). Ankara'da şehir ısı adasının incelenmesi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 3(1), 57-72. doi: https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000049
- ÇŞİDB. (2019). Urban Atlas Retrieved from http://ecbsservis.csb.gov.tr/arcgis/rest/services/YAYIN/urbanatlas_ondokuz/MapServer
- Dadaser-Çelik, F., & Cengiz, E. (2014). Wind speed trends over Turkey from 1975 to 2006. *International Journal of Climatology* 34(6), 1913-1927. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.3810>
- Diren-Üstün, D., Kaplan, E., & Ünal, Y. (2022). İstanbul şehir ısı adası ve kentsel gelişim senaryolarına bağlı değişimi. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23(1), 55-68. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/itucis/issue/68628/1084267>
- Duman-Yüksel, Ü. (2008). Kentlerde yapısal ve yeşil alanlardaki hava ve yüzey sıcaklıklarının irdelenmesi: Ankara örneği. *Ekoloji*, 18(69), 66-74. doi: <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2008.699>
- Duman-Yüksel, Ü., & Yılmaz, O. (2013). Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisinin yaz aylarında uzaktan algılama ve meteorolojik gözlemlere dayalı olarak saptanması ve değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4). <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6678/88558>

- Efe, B., Toros, H., & Deniz, A. (2015). Türkiye geneli yağış ve sıcaklık verilerinde eğilimler ve salınımlar. VII. *Atmospheric Science Symposium Bildiriler Kitabı* içinde, (s.791-800). 28-30 Nisan, İstanbul.
https://web.itu.edu.tr/toros/yayinlar/2015/turkiye_geneli_yagis_ve_sicaklik_verilerinde1.pdf
- Environmental Protection Agency-EPA. (2003). Cooling summertime temperatures/Strategies to reduce heat islands. EPA, publication number: 430-F-03-014. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-06/documents/hiribrochure.pdf>
- Erlat, E., Türkeş, M. & Aydın-Kandemir, F. (2021). Observed changes and trends in heatwave characteristics in Turkey since 1950. *Theoretical and Applied Climatology*, 145:137–157 <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03620-1>
- Firozjaeia, M. K., Wengb, Q., Zhaoc, C., Kiavarza, M., Lud, L. & Alavipanah, S. K., (2020). Surface anthropogenic heat islands in six megacities: An assessment based on a triple-source surface energy balance model. *Remote Sensing of Environment*, 242, 1-22.
- Gülten, A. (2014). *Kentsel yüzeylerde ısı adası etkisinin simülasyon yöntemi ile araştırılması*. Yayımlanmamış doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gümüş, A. E. (2015). *Ankara kenti ısı adası oluşumunun saptanması ve değerlendirilmesi*. Yayımlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Howard, L. (1833). *The climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it*. London.
https://books.google.com.tr/books?id=tHAAAAAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=tr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Dodman, D., Hayward, B., Pelling, M., Castan Broto, V., Chow, W., Chu, E., Dawson, R., Khirfan, L., McPhearson, T., Prakash, A., Zheng, Y., & Ziervogel, G. (2022). Cities, settlements and key infrastructure. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In (pp. 907–1040). Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.008>.
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_Chapter06.pdf
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2021, Haziran 10). <https://www.ibb.istanbul/icerik/bilgi-hizmetleri>
- Kadioğlu, M. (1997). Trends in surface air temperature data over Turkey. *International Journal of Climatology*, 17, 511-520. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199704\)17:5<511::AID-JOC130>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199704)17:5<511::AID-JOC130>3.0.CO;2-0)
- Kim, H. H. (1992). Urban heat island. *International Journal of Remote Sensing*, 13, 2319 – 2336. doi: <https://doi.org/10.1080/01431169208904271>
- Kum, G. (2006). *Göztepe, Kandilli ve Şile sıcaklık verileri kullanılarak istanbul'da şehir ısı adası etüdü*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Lino, A., & Hoyano, A. (1996). Development of a method to predict the heat island potential using remote sensing and GIS data. *Energy and Buildings*, 23, 199-205. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(95\)00945-0](https://doi.org/10.1016/0378-7788(95)00945-0)
- Magee, N., Curtis, J., & Wendler, G. (1999). The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, 64(1-2), 39-47. doi: <https://doi.org/10.1007/s007040050109>
- Menberg, K., Bayer, P., Zosseder, K., Rumohr, S. & Blum, P. (2012). Subsurface urban heat islands in German cities. *Science of the Total Environment*, 442, 123–13. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.043>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2012). Türkiye 2011 yılı iklim değerlendirmesi. Şubat 2012, Ankara.
<https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/2011-yili-iklim-degerlendirmesi.pdf>
- Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3), 237-254. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Orman Genel Müdürlüğü-OGM (2022, Eylül 18). <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi/FaaliyetRaporu/Orman%20Genel%20M%C3%BCd%C3%BCr%C3%BCr%C3%BCr%C4%9F%C3%BC%202020%20Y%C4%B1%20Faaliyet%20Raporu.pdf>
- Özbilge, M. K. (2020). *Şehir ısı adası ile yüzey ısı adası kavramları arasındaki farklar ve İstanbul örneği*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Özmeçik İ. M., Tonyaloğlu E. E. & Göktuğ T.H. (2022). Kent atlası verilerinden kentsel saçaklanmanın belirlenmesi: Samsun ili örneği. *Turkish Journal of Landscape Research*, 5 (2), 102-111. doi: <https://doi.org/10.51552/peyad.1222058>
- Rao, P. K. (1972). Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 53, 647-648.
- Sarp, G., Baydoğan, E., Güzel, F., & Otlukaya, T. (2021). Evaluation of the relationship between urban area and land surface temperature determined from optical satellite data: A case of Istanbul. *Advanced Remote Sensing*, 1(1), 31-37.
- Sarp, G., Temurçin, K. & Aldırmaz, Y. (2018). Evaluation of industrialization effects on urbanization and heat island formation using remote sensing technologies: a case of *Istanbul Bağcılar District*. *SDU Faculty Of Arts And Sciences Journal Of Social Sciences*, 44, 1-13.
- Schlünzen, K. H., & Katzfey, J. J. (2003). Relevance of sub-grid-scale landuse effects for mesoscale models. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 55(3), 232-246. doi: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v55i3.12095>
- Shahfahad, Talukdar, S., Rihan, M., Hang, H. T., Bhaskaran, S., & Rahman, A. (2022). Modelling urban heat island (UHI) and thermal field variation and their relationship with land use indices over Delhi and Mumbai metro cities. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 3762–3790. doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01587-7>
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Guillem, Sòria, M., Luis Guanter, R., Moreno J., Plaza, A., & Martínez., P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46, 316-327. doi: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.904834>
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.003>
- Stewart, I. D. (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, 31, 200-217. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.2141>
- Svensson, M. K., & Eliasson, I. (2002). Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and urban planning*, 61(1), 37-54. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00076-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00076-2)
- Şen, K., & Aksu, H. (2021). İstanbul için standart süreli gözlenen en büyük yağışların eğilimleri. *Teknik Dergi*, 32 (1), 10495-10514. doi: <https://doi.org/10.18400/tekderg.647558>
- Theeuwes, N. E., Steeneveld, G. J., Ronda, R. J., Heusinkveld, B. G., van Hove, L. W. A. & Holtslag, A. A. M. (2014). Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(684), 2197–2210. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.2289>
- Tozam, İ., & Karaca, Ü. B. (2018). Kentsel ısı adası etkisi ve serin çatılar. 9. *Ulusal Çatı & Cephe Konferansı 12 - 13 Nisan 2018 T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi – Ataköy Yerleşkesi–Akıngüç Oditoryumu*. <http://catider.org.tr/pdf/sempozyum9/5%20Kentsel%20Is%C4%B1%20Adas%C4%B1%20Etkisi%20ve%20Serin%20C3%87at%C4%B1lar.pdf>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. *Journal of Remote Sensing Environment*, 8(2), 127-150. doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Türkeş, M. (2004). İklimsel ve atmosferik verilerin türdeşlik ve rasgelelik çözümlemesi. DMIGM Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Temel İstatistik Kursu Notları, Ankara, 39 s.
- Türkeş, M. (2014). İklim değişikliğiyle savaşım, Kyoto Protokolü ve Türkiye. *Mülkiye Dergisi*, 32(259), 101-131. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mulkiye/issue/259/746>
- Türkiye İstatistik Kurumu-TÜİK (2022, Şubat 6) <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2022-49685> (Erişim Tarihi 6.03.2023)
- Türkiye İstatistik Kurumu-TÜİK (2023, Nisan 27) <https://www.tuik.gov.tr/>
- U.S. Geological Survey-USGS (2022, Eylül 20). <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Ünal, Y., Sonuç, C.Y., İncecik, S., Topçu, S., Üstün, D.D., & Temizöz, P. (2020). Investigating urban heat island intensity in İstanbul. *Theoretical and Applied Climatology*, 139, 175–190. doi: <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02953-2>
- Voogt, J. A., & Oke T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384. doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)

- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (1998). Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 895-920. doi: <https://doi.org/10.1080/014311698215784>
- Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 527–539. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>
- Yasdıman, K. (2021). *Türkiye’de Nüfusu 500.000 ve Üzeri Kentlerin Isı Adası Etüdü*. Yayınlanmamış doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, E. (2013). *Ankara şehrinde ısı adası oluşumu*. Yayınlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Yu, Z., Yao, Y., Yang, G., Wang, X., & Vejr, H. (2019). Spatiotemporal patterns and characteristics of remotely sensed region heat islands during the rapid urbanization (1995–2015) of Southern China. *Science of the Total Environment*, 674, 242-254. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.088>
- Zoras, S., Tsermentselis, A., Kosmopoulos, P., & Dimoudi, A. (2014). Evaluation of the application of cool materials in urban spaces: A case study in the center of Florina. *Sustainable Cities and Society*, 13, 223-229. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.01.007>

