

# İSTANBUL VE ANKARA'NIN SICAKLIK KAYITLARINDAKİ KENTSEL ETKİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: BİREYSEL OLARAK METROPOLLER KENTSELLEŞMEYE YANITTA NASIL FARKLILIK GÖSTEREBİLİR?

**Kutay Dönmez, Berkay Dönmez, Cemre Yürük Sonuç, Yurdanur Ünal**

İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü  
donmezk16@itu.edu.tr, donmezb16@itu.edu.tr, yurukc@itu.edu.tr, sunal@itu.edu.tr

## Özet

Bu çalışma, Türkiye'nin stratejik metropolleri olan İstanbul ve Ankara'nın kentsel ve kırsal bölgelerindeki sıcaklık değişkenliğini, 2011-2018 dönemini kapsayan periyot için uydu, yer gözlemleri ve Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) reanaliz verilerini kullanarak incelemektedir. Bu çalışmanın uygulaması iki temel bileşenden oluşmaktadır. İlk olarak, istasyon gözlemlerinden sağlanan saatlik 2 metre ortalama sıcaklık verileri kullanılarak kentsel ve kırsal istasyonların yıllık, mevsimsel ve aylık sıcaklık özelliklerindeki farklılıklar şehir özelinde analiz edilmiştir. İkinci olarak, GHS Yerleşim Modeli 1 km çözünürlüğünde veri seti kullanılarak kentsel ve kırsal grid noktaları belirlenmiş ve MODIS-Terra günlük yüzey sıcaklık verileriyle kentsel ve kırsal grid noktaları arasındaki uzun vadeli farklılıkları ortaya konmuştur. Ayrıca, grid tabanlı analizde, her şehirde kentsel ve kırsal alanlarda günlük maksimum sıcaklığın belirli bir eşiği aşan gün sayısını karşılaştırmak için yüksek çözünürlüklü CHIRTS-günlük sıcaklık ürünü kullanılmıştır. Sonuçlar, kentsel ısı adası (UHI) etkisi olarak adlandırılan kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkı değişkenliği incelenmiştir. Ancak, bu değişkenlik, kentsel alanların toplam çalışma alanının yaklaşık %20'sini oluşturduğu İstanbul için kentsel alanların %4'ten daha az olduğu Ankara'ya göre çok daha yüksek tespit edilmiştir. İstanbul'daki kentsel kullanımı dikkate aldığımızda, gözlemlenen sıcaklık değerlerinin, olasılık dağılım fonksiyonunun (PDF) daha sıcak bir tarafına kaydığına dair net bir sinyal bulunmakta ve bu durum kernel yoğunluk kestirimi analizi ile ortaya konmaktadır. Ancak, Ankara için karşılık gelen PDF analizinde dikkate değer bir değişiklik görülmektedir. Uzun vadeli UHI analizleri de bu bulguları desteklemekte olup, İstanbul'un kentsel ve kırsal konumları arasındaki yıllık, mevsimsel ve aylık sıcaklık farkı, Ankara'ya kıyasla daha belirgindir. Bu çalışma, farklı şehirlerde kentsel etkinin geniş bir genelleştirmesinden kaçınmanın önemini aktarmaktadır.

*Anahtar kelimeler: Kentsel Isı Adası, Kentleşme, Sıcaklık, Uzaktan Algılama, Arazi Örtüsü*

## ASSESSMENT OF THE URBAN IMPACT ON THE TEMPERATURE RECORDS OF ISTANBUL AND ANKARA: HOW CAN INDIVIDUAL METROPOLES DIFFER IN RESPOND TO URBANIZATION?

### Abstract

This study examines the temperature variability over urban and rural sites of Istanbul and Ankara, two strategic metropolises in Turkey, using multiple data sources, including satellite, ground observations, and a reanalysis product for the period of 2011-2018. The practice of this study is twi-formed. Firstly, we introduce a location-based analysis, in which we identify the differences in annual, seasonal, and monthly temperature characteristics of urban and rural stations using hourly 2-meter mean temperature provided from station observation data. Secondly, in the grid-based analysis, we utilize the GHS Settlement Model grid classification dataset with a resolution of 1 km to determine urban-rural grids and employ the MODIS-Terra daily land surface temperature data to reveal the long-term dissimilarity of the urban and rural grids. Also included in the grid-based analysis is the CHIRTS-daily temperature product at high resolution, which we use to compare the number of days where the daily maximum temperature exceeds a specified threshold at urban and rural grids in each city. Results reveal the variability of the temperature difference between the corresponding urban and rural grids, which we refer to as the urban heat island (UHI) effect. However, this variability is higher for Istanbul, where urban land use constitutes approximately 20% of the grids, compared to Ankara, where the percentage of the grids represented by urbanization is less than 4%. When we consider the urban land use in Istanbul, there is a clear signal of a shift in the location parameter of observed temperature values to the warmer side of the probability distribution function (PDF), as revealed by the kernel density estimation analysis. Yet, for Ankara, we do not see a notable change in the corresponding PDF. Long-term UHI analyses also support these, as the difference in annual, seasonal, and monthly temperature between urban and rural locations of Istanbul is more pronounced than in Ankara. This study communicates the importance of avoiding a broad generalization of the urban impact in different cities.

*Keywords: Urban Heat Island, Urbanization, Heat, Remote Sensing, Land Cover*

**Sorumlu Yazar:** Kutay Dönmez

**Geliş Tarihi:** 1 Mayıs 2024

**Kabul Tarihi:** 22 Haziran 2024

**Yayın Tarihi:** 3 Temmuz 2024

**Atıf Şekli:** Dönmez, K., Dönmez, B., Sonuç, C.Y., Ünal, Y. (2024). İstanbul ve Ankara'nın Sıcaklık Kayıtlarındaki Kentsel Etkinin Değerlendirilmesi: Bireysel Olarak Metropoller Kentselleşmeye Yanıtta Nasıl Farklılık Gösterebilir?, *Atmosfer ve İklim Dergisi*, 1(1), 39-48.

**Makale Tipi:** Araştırma Makalesi

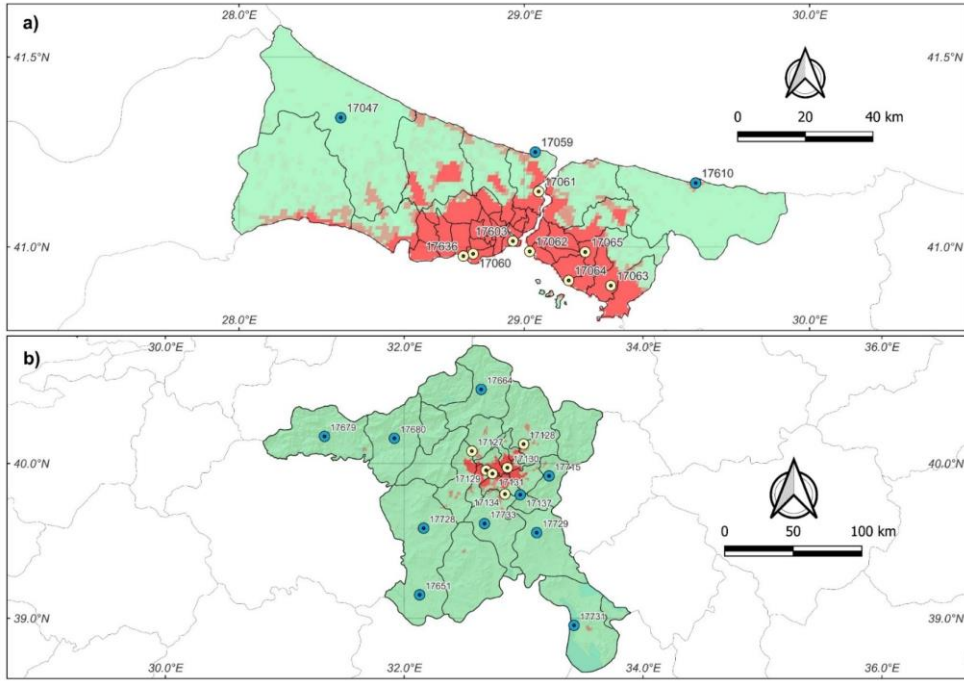
**e-ISSN:** 3023-8560

## GİRİŞ

İnsan katkısı nedeniyle son yüzyıl içerisindeki iklim değişikliğindeki hızlanma nedeniyle, birçok ülkede sıcaklık aşırılıklarının yoğunluğu ve frekansı artmaktadır (Perkins vd., 2012). Bu aşırılıklar, kentsel yayılmanın genişlemesi ile birleştiğinde, kentleşmiş alanlarda yaşayan nüfusu yüksek sıcaklıkların etkilerine karşı daha savunmasız bırakmaktadır (Chapman vd., 2017; Liao vd., 2018). Termodinamik olarak, antropojenik ısı emisyonlarının ve geçirimsiz yüzey alanlarının artması, kentsel alanlardaki sıcaklıkların kentin çevresinde yer alan kırsal alanlara göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır (Doan vd., 2016), bu da kentsel ısı adası (UHI) fenomenini doğurmaktadır. UHI'nin büyüklüğü günlük ve mevsimsel olarak değişebilir ve farklı şehirlerde şehrin enlemi, topoğrafyası veya şehrin geometrisine bağlı olarak farklı şekillerde ortaya çıkabilir. Sonuç olarak, küresel iklim değişimine bağlı sıcak hava dalgalarının sıklaşması ve şiddetlenmesiyle kentleşmenin yarattığı UHI etkisinin birleşimi, kentsel alanlarda sıcak hava dalgalarının çok daha şiddetli hissedilmesine neden olurken, çevresindeki kırsal alanlara göre kentsel alanlarda daha fazla ölüme yol açmaktadır (Gabriel ve Endlicher, 2011).

Termodinamik etkilerin yanı sıra, kentleşmenin artması ayrıca kentsel alanın çevresindeki mikro iklim dinamiklerini de değiştirmektedir (Li vd., 2020; Niyogi vd., 2020). Kent morfolojisi rüzgarların yönünü değiştirebilir, havanın yukarı doğru hareketi teşvik edilebilir veya hatta yağış sistemlerinin özelliklerini etkileyebilir. Şehir geometrisine bağlı pürüzlülük elemanları ve şehrin yaydığı antropojenik ısı, şehrin bulunduğu topografyaya, kara-deniz dağılımına ve hava sistemlerinin özelliklerine bağlı olarak yağışların şiddetini etkilerken yağış merkezinin kentsel alanın rüzgâr üstü yönünde veya rüzgâr altı yönünde oluşmasını sağlayabilmektedir (Shimadera vd., 2015). Yani kentleşmenin termodinamik ve dinamik etkileri uyum içinde şekillenir. Örneğin, kentleşmeye bağlı olarak rüzgâr alanının zayıflaması (Zhang vd., 2022), kent üzerindeki sıcaklıkların kırsal alana göre daha yüksek olmasını sağlar (Ünal vd., 2020). Bu nedenle, insan yaşamını ve şehirlerin çevresindeki altyapıyı olumsuz etkileyebileceği göz önüne alındığında, UHI'nin büyüklüğünün ve zamansal fizyolojisinin analiz edilmesi kritiktir.

Türkiye'nin nüfusunun en fazla olduğu iki şehri olan İstanbul ve Ankara'da UHI'nin eğilimini ve mevsimselliğini ortaya çıkarmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Geçmişteki araştırmalar, Ankara'daki kentsel arazi örtüsünün hava sıcaklığı üzerinde ihmal edilebilir bir etkisi olduğunu öne sürerken (Karaca vd., 1995), son dönem araştırmalar özellikle şehrin sıcak mevsimlerinde UHI etkisine vurgu yapmaktadır (Cicek, 2005; Turkoglu, 2009). Benzer şekilde, İstanbul'da UHI etkisi ilkbahar ve yaz aylarında daha belirgin hale gelmektedir (Ünal vd., 2020). Literatürde birkaç çalışma dışında (Basar vd., 2008; Dikhan vd., 2015; Zaeemdar ve Baycan, 2017; Khorrani ve Gunduz, 2020), İstanbul ve Ankara'da yüksek çözünürlüklü yeniden analiz ve uydu verileri kullanılarak UHI'nin değerlendirilmesini sağlayan çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, bu şehirlerdeki UHI üzerine yapılan çoğu araştırma, yalnızca nokta farklarını değil, grid tabanlı veri setleri tarafından sağlanan mekansal ortalama farklarını göz önünde bulundurarak kentsel ve kırsal alanlar arasındaki UHI büyüklüğünün belirlenmesine odaklanmıştır. Bu çalışma, uydu verileri, yer gözlemleri ve yeniden analiz verilerinin bir kombinasyonunu kullanarak 2011-2018 yılları arasındaki İstanbul ve Ankara'nın kentsel ve kırsal bölgelerindeki sıcaklık değişkenliğini inceleyerek ve karşılaştırarak, literatürdeki bu eksikliği doldurmayı hedeflemektedir.



**Şekil 1.** İstanbul'un (a) ve Ankara'nın (b) coğrafi konumları ile analizde kullanılan yer gözlem istasyonlarının gösterildiği haritalar. Mavi (Sarı) renklerle işaretlenmiş gözlem noktaları kırsal (şehir) istasyonlara karşılık gelir. Yeşil tonlar kırsal ızgaraları, kırmızı tonlar ise İstanbul'daki kentsel ızgaraları temsil eder.

## VERİ VE YÖNTEMLER

### Veriler

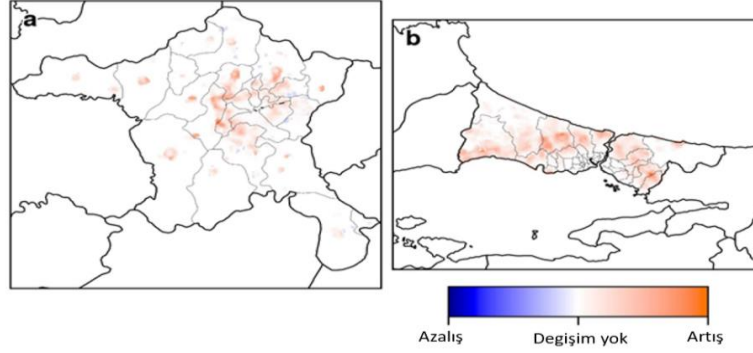
Bu çalışmada, 2011-2018 yılları arasındaki sekiz yıllık bir zaman aralığı için kentsel ve kırsal alanlardaki arazi yüzeyi ve hava sıcaklığı değişimlerini analiz etmek için yer gözlem istasyonları ve uydu gözlemleri kullanılmıştır. Çalışma alanları üzerinde kullanılan veriler, NASA'nın TERRA uydusu Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektro-radyometre (MODIS) algılayıcısı ile gözlenen, yatay çözünürlüğü 1 km olan gündüz sıcaklık gözlemleri (Wan vd., 2015) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hava gözlem istasyonlarında ölçülen 2 m hava sıcaklığı verileridir. Gözlem istasyonlarının konumları Şekil 1'de gösterilmektedir. Çalışmada tamamlayıcı bir veri seti olarak, ERA5 reanaliz verilerinin yanlılığının azaltılması ve bilinear interpolasyon ile yüksek çözünürlüğe getirilmesi sonucu elde edilen CHIRTS günlük maksimum sıcaklık verisi de kullanılmıştır (Verdin vd., 2020). Dahası, kentsel ve kırsal konumlarımızın tanımı, grid tabanlı ve nokta tabanlı veriler için farklıdır. Yani, kentsel ve kırsal alanların sınıflandırmaları yapılırken, yalnızca GHS Yerleşim Modeli 2015 (GHS-SMOD) (Pesaresi vd., 2019) arazi örtüsü ürünü kullanılmıştır, bu da seçilen zaman aralığıyla uyumlu olarak, MODIS-Günlük verileriyle yapılan analiz için (Şekil 1'de kırmızı ve yeşil ile gösterilen alanlar), seçilen şehirler için arazi kullanım haritalarının mevcut literatür ve görsel incelemesi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

### Çalışma Alanı

İstanbul ve Ankara, Türkiye'nin en kalabalık şehirlerinden ikisidir ve yaklaşık olarak sırasıyla %22 ve %4 kentsel arazi örtüsü yüzdesine sahiptir. Yüzde farkı büyük olsa da kentsel olarak sınıflandırılan grid sayısı karşılaştırılabilir düzeydedir. Bu şehirlerin kentsel özellikleri, kent nüfusunun zaman içindeki artışına bağlı olarak özellikle doğu-batı yönlerinde orijinal kent merkezinin çeperlerinde genişlemiştir. Nitekim Şekil 2'den de görüldüğü gibi, 1992 ve 2013 yılları arasındaki gözlemler kullanılarak hesaplanan şehir sakinlerinin gece ılık kullanımlarındaki belirgin artış, şehirleşmenin zaman içerisindeki yayılımını göstermektedir. İstanbul'da, 1990'da yaklaşık %55'in üzerinde olan orman arazi örtüsünde dramatik bir azalma yaşanmış ve bu alanların büyük bir kısmının kentsel arazi örtüsüne dönüşmüştür. Öte yandan, Ankara'daki kentsel genişlemenin yukarı yönlü eğilimi hem orman hem de tarım arazi örtüsünde bir azalmanın sonucudur.

### Sıcaklık Değişim Analizi Metodolojisi

Burada, kentleşmiş ve kırsal olarak belirlenen konumlar arasındaki sıcaklık farkındaki uzun vadeli değişkenlikleri incelenmektedir. Bu sıcaklık farkı aynı zamanda kentsel ısı adası (UHI) olarak da adlandırılabilir. Temel olarak izlenen strateji, MODIS-Günlük ve yer istasyonu verileriyle hesaplanan günlük ve saatlik UHI değerlerini aylık, mevsimsel ve yıllık zaman ölçeklerinde incelemektir. Ancak, grid tabanlı ve nokta tabanlı verilerle UHI hesaplamak için farklı metodolojiler geliştirmek gerekmektedir. Bu amaçla, öncelikle, GHS-SMOD verileri yalnızca kentsel ve kırsal gridleri içerecek şekilde yeniden sınıflandırılır ve MODIS-Günlük arazi yüzeyi sıcaklık verileri alınan arazi örtüsü verisinin gridleriyle eşleşecek şekilde yeniden örüntülenir. İkinci olarak, her zaman adımında kentsel ve kırsal grid sınıflandırmaları arasındaki arazi yüzeyi sıcaklık değerlerinin ortalamaları hesaplanır. Ardından, nokta tabanlı veriler için, her yer istasyonu konumu için uygun arazi kullanım etiketleri (kentsel veya kırsal) belirlenir ve saatlik 2-metre sıcaklık zaman serisi için benzer bir ortalama hesaplaması yapılır. Son olarak, uzun vadeli ortalamaları elde etmeden önce, ortalama kırsal değerlerin ortalama kentsel değerlerden çıkarılmasıyla UHI büyüklükleri tespit edilir. Buna ek olarak, sıcaklık değerlerinin olasılık dağılım fonksiyonu (PDF) kentsel ve kırsal grdilerde bağımsız olarak hesaplanır ve kentsel arazi kullanım özelliklerinin herhangi bir değişikliğe neden olup olmadığı, konum, yayılma veya şekil parametrelerindeki değişimlerle incelenir.

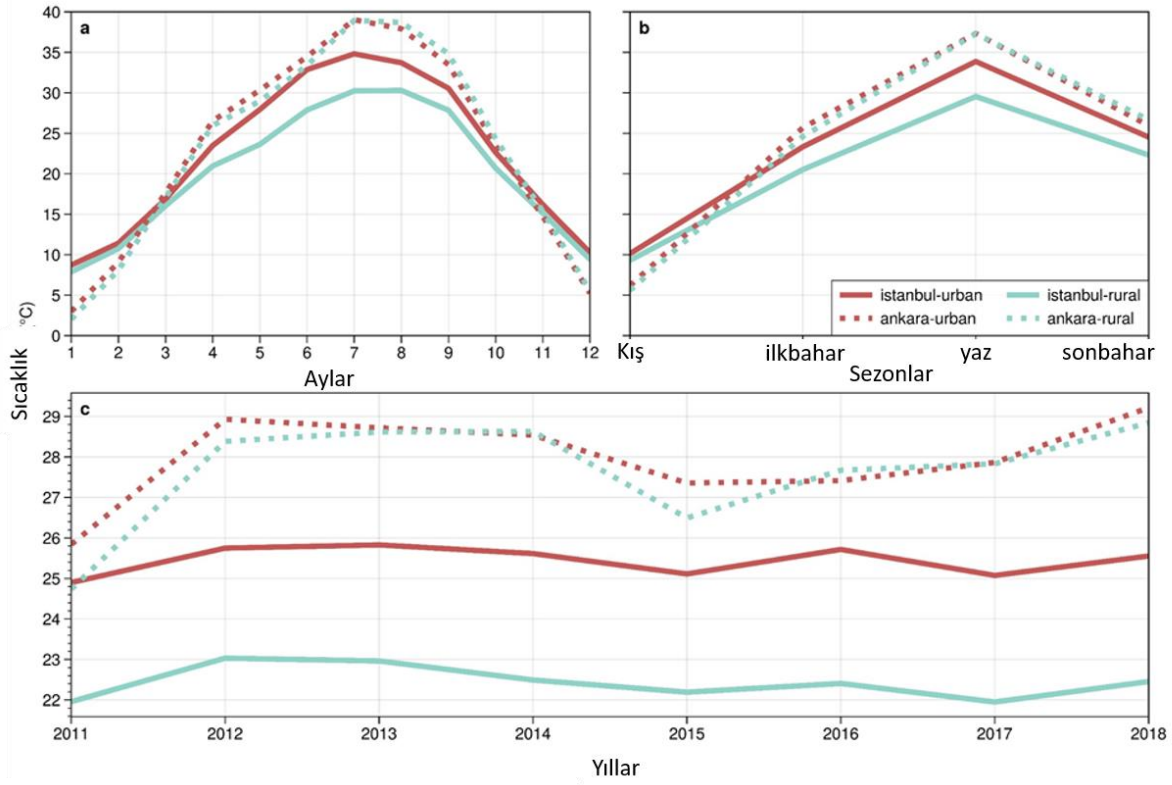


Şekil 2. Ankara'da (a) ve İstanbul'da (b) 1992 ile 2013 arasındaki gece zamanı ışık kullanımındaki değişiklikler

### İSTANBUL VE ANKARA İÇİN UHI DEĞİŞİMLERİ

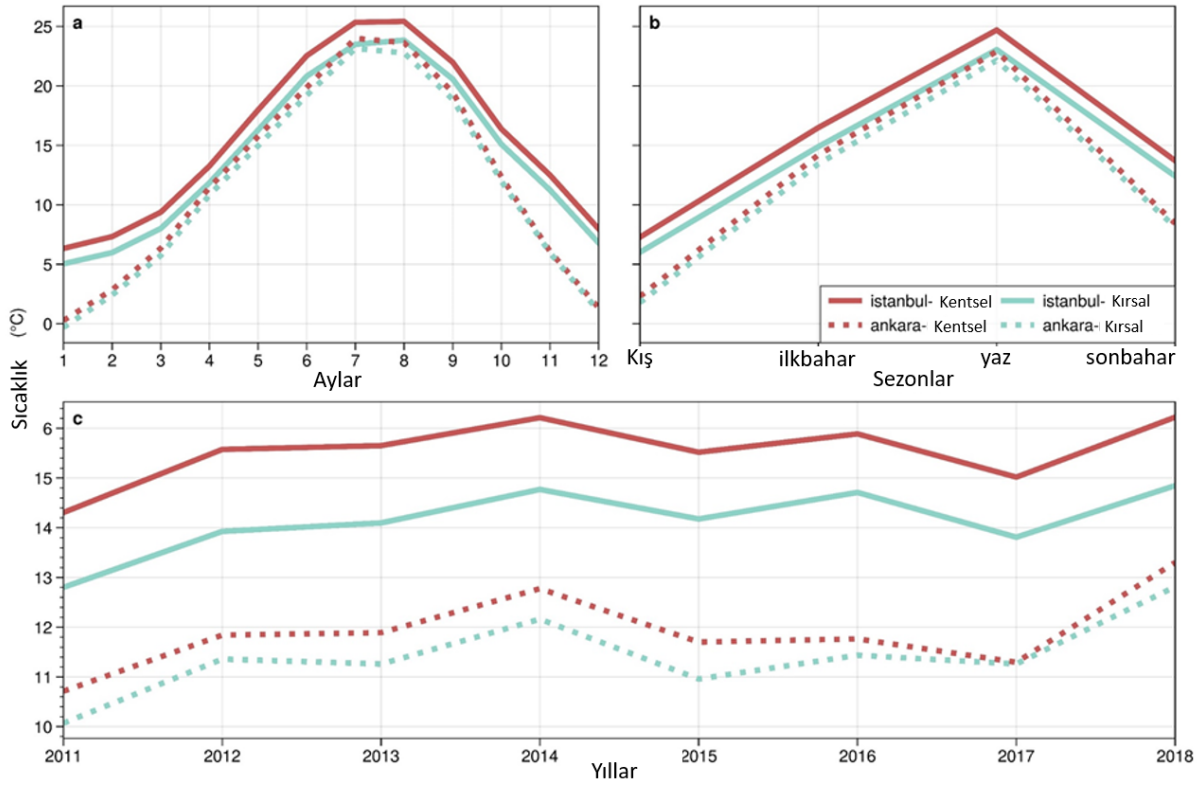
MODIS-Günlük gözlem verilerinin analizine göre kentleşmenin arazi yüzeyi sıcaklığı üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu ve bu etkinin İstanbul ve Ankara için bölgesel özelliklerine bakılmaksızın belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir (Şekil 3). Açıkça görülmektedir ki, İstanbul'un kentleşmiş ve kırsal konumları arasındaki sıcaklık farkındaki uzun vadeli değişkenlik, Ankara'ya göre daha yüksektir. Kentsel ısı adası (UHI) büyüklüğü olarak adlandırdığımız bu sıcaklık farkı, aylık, mevsimsel ve yıllık değişimler gösterirken, bu uzun vadeli analizlerde İstanbul'da bu fark, Ankara'ya kıyasla en az 2,0°C daha büyüktür. Bu sıcaklık farkı, arazi yüzeyi sıcaklıklarının aylık incelemesinde 4,0°C'ye kadar çıkmaktadır. Ayrıca, sonuçlarımız, UHI'nin İstanbul'da yaz aylarında ve Ankara'da ilkbaharda daha belirgin hale geldiğini göstermektedir, bu da önceki çalışmaların bulgularını desteklemektedir (Turkoglu, 2009; Ünal vd., 2020, Berkay vd., 2021; Kutay vd., 2021). Şekil 4, yer gözlemlerinden alınan 2 metrelik hava sıcaklığını kullanarak benzer bir analiz sunmaktadır ve kentleşmiş konumların sıcaklık değerlerindeki belirgin artış, yukarıdaki sonuçlarla paralellik göstermektedir. Ancak, hava sıcaklığı yerine arazi yüzeyi sıcaklığı kullanıldığında sıcaklık farkının aralığı daralmaktadır çünkü kentsel yüzeylerin termodinamik özellikleri daha fazla ısınmayı desteklemektedir. Ayrıca, her şehirde kentsel ve kırsal istasyonlar arasındaki hava sıcaklığı farkının mevsimsel deseni, arazi yüzeyi sıcaklığı ile yapılan analizle benzerdir.





**Şekil 3.** İstanbul ve Ankara için GHS-SMOD arazi örtüsü verisi tarafından sağlanan kentsel ve kırsal ızgaralar için MODIS tabanlı aylık (a), mevsimsel (b) ve yıllık (c) ortalama arazi yüzeyi sıcaklık değerleri

Çeşitli çalışmalar, kentsel arazi örtüsü ve kentleşme ile ilgili süreçlerin etkisiyle meteorolojik ve hidrometeorolojik değişkenlerin dağılımlarının istatistiksel parametrelerinin değişiklik gösterdiğini belirtmektedir (Lu vd., 2017; Argueso vd., 2013; Liao vd., 2018; Lu vd., 2019). Benzer şekilde, bu çalışmada MODIS-Günlük ve yer gözlem verileri kullanılarak, kentsel ve kırsal sınıflandırmalar için hava ve arazi yüzeyi sıcaklık dağılımları incelenmiş, kentsel ve kırsal konumlar üzerinde olası sıcaklık değerlerinin değişim aralığı tespit edilmiştir. Şekil 5 ve 6, 2-metre hava sıcaklığı ve arazi yüzeyi sıcaklığı değişkenlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonlarını her iki şehir için göstermektedir. Şekillerden çıkan en çarpıcı sonuç, kentsel arazi örtüsünün sıcaklık aralığını ve konum parametresini her iki şehir için de dağılımın daha sıcak tarafına kaydırmasıdır. İstanbul'da, dağılımdaki en yüksek olasılıkla olan arazi yüzeyi sıcaklık değerleri kent üzerinde  $5^{\circ}\text{C}$  kadar daha sıcak olmaktadır. Ancak, İstanbul ve Ankara'nın 2-metre hava sıcaklığına karşılık gelen kayma o kadar dikkat çekici değildir. İlginç bir şekilde, konum parametresinin yanı sıra, dağılımın şekil parametresi üzerindeki kentleşmenin etkisi özellikle Ankara'nın sıcaklık dağılımında vurgulamaktadır (Şekil 5b). Bu sonuçlar, kentleşmenin sadece kırsal bölgelere kıyasla daha yüksek sıcaklıkları teşvik etmekte kalmayıp aynı zamanda ilgili şehirlerin kentlerin sınırları boyunca da mümkün olan sıcaklık değerlerinin aralığını değiştirdiğini öne sürmektedir.

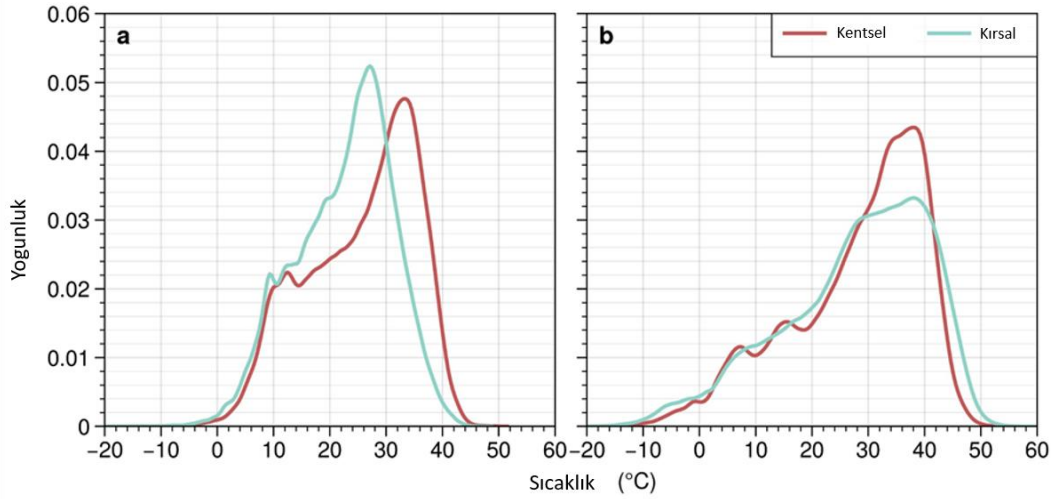


Şekil 4. GHS-SMOD arazi örtüsü verisi kullanılarak hesaplanan kentsel ve kırsal alanlar için yer gözlem tabanlı aylık (a), mevsimsel (b) ve yıllık (c) ortalama 2 metre hava sıcaklık değerleri

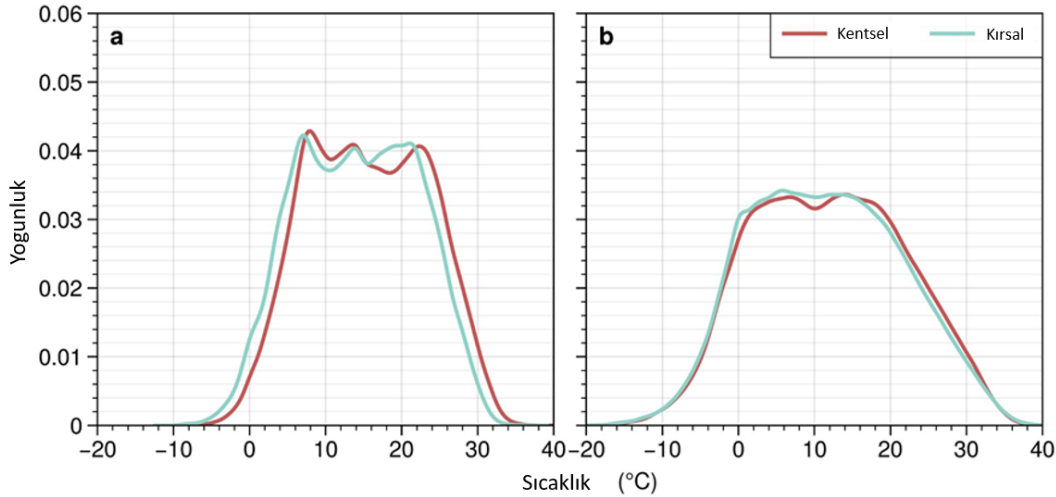
Ayrıca, belirli bir sıcaklık eşliğinin üzerindeki gün sayısını hesaplayan bir eşik analizi de gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın amacının kentselleşme kaynaklı aşırı sıcaklıkları tasvir etmek olmadığından, sıcaklık eşliği daha ılımlı bir değeri olan 30°C seçilmiştir. İlk olarak, günlük maksimum sıcaklığın 30°C'nin üzerinde olduğu yıllık gün sayısını bağımsız olarak kentsel ve kırsal ızgaralarda hesaplanmıştır. Daha sonra, bu değerler listelenmekte ve sırasıyla kentsel ve kırsal ızgaraları temsil eden her listeden orta değer seçilmektedir. Son olarak, bu analiz 2011-2016 için CHIRTS ve yer gözlem verilerini kullanarak gerçekleştirilmektedir. Tablo 1, kentsel ve kırsal ızgaralar için hesaplanan gün sayılarını karşılaştırmaktadır. Tablo 1'deki verilere bakıldığında, analiz edilen yedi yıllık dönemde 30°C'nin üzerindeki gün sayısının Ankara'da İstanbul'dan daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, genellikle kentsel ızgaraların seçilen eşik değerin üzerindeki gün sayısının kırsal ızgaralardan daha yüksek olduğu açıktır. Birkaç istisna mevcuttur: Örneğin, Ankara'da 2013, 2014 ve 2016 yılları için CHIRTS verilerinden elde edilen karşılık gelen değerler. Ayrıca, Ankara'nın kentsel ve kırsal ızgaraları için sayıların birbirine görece daha yakın olduğunu ve önemli yıllık değişim olmaksızın varlığını sürdürdüğünü, bu durumun da Ankara'nın kentsel ve kırsal ızgaraları arasındaki sıcaklık değişkenliğinin İstanbul'dan daha az olduğunu tekrar teyit ettiği belirtilmektedir.

Tablo 1. Kentsel ve kırsal konumlar için 2011 ile 2016 arasında 30°C'nin üzerindeki gün sayısı

| Land Type | İstanbul |      |      |      |      |      | Ankara |      |      |      |      |      |
|-----------|----------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
|           | 2011     | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2011   | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| CHIRTS    |          |      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |      |
| Urban     | 16       | 42   | 15   | 16   | 17   | 34   | 26     | 57   | 33   | 53   | 49   | 48   |
| Rural     | 8        | 33   | 6    | 6    | 12   | 23   | 25     | 54   | 34   | 55   | 49   | 51   |
| OBS       |          |      |      |      |      |      |        |      |      |      |      |      |
| Urban     | 32       | 50   | 32   | 39   | 36   | 50   | 40     | 66   | 40   | 60   | 59   | 50   |
| Rural     | 4        | 25   | 3    | 19   | 20   | 24   | 30     | 59   | 32   | 56   | 48   | 52   |



**Şekil 5.** Kernel yoğunluk kestirimi analizi tarafından ortaya konan İstanbul (a) ve Ankara (b) şehirlerindeki kentsel ve kırsal ızgaralar için MODIS arazi yüzeyi sıcaklığına ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonları



**Şekil 6.** Kernel yoğunluk kestirimi analizi tarafından ortaya konan İstanbul (a) ve Ankara (b) şehirlerindeki kentsel ve kırsal ızgaralar için 2 metre hava sıcaklığına ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonları

## SONUÇLAR

Bu çalışma, Türkiye'nin en kalabalık şehirlerinden İstanbul ve Ankara'nın kentsel ve kırsal konumları üzerinde arazi yüzeyi ve hava sıcaklığı değişikliklerini karşılaştırmaktadır. Analizler, yer ve uydu gözlemlerinden elde edilen sıcaklık gözlemlerine, ERA-5 yeniden analizinden türetilmiş günlük sıcaklık ürünü de dahil olmak üzere farklı veri kaynaklarına dayanmaktadır. Sonuçlar, İstanbul'da uzun vadeli sıcaklık değişkenliğinin Ankara'ya kıyasla daha yüksek olduğunu göstermektedir, daha yüksek aylık, mevsimsel ve yıllık UHI büyüklükleriyle belirgin hale gelmektedir. Ankara'da 2011 ile 2018 arasındaki yıllık UHI büyüklüğünün maksimum değeri 1,0°C'nin altında olmasına rağmen, İstanbul'da bu değer 2,5°C'nin üzerindedir. Genellikle, Ankara'daki aylık ve mevsimsel UHI büyüklükleri bu maksimum yıllık UHI değerinden bile daha düşüktür. Ayrıca, kernel yoğunluk kestirimi analizi hem İstanbul hem de Ankara'daki arazi yüzeyi ve hava sıcaklığı değişkenlerinin konum parametresinde pozitif bir kayma olduğunu göstermektedir, ancak bu kayma İstanbul için daha belirgindir. Bu bağlamda, İstanbul'da kentsel arazi kullanımının sıcaklık üzerinde daha fark edilebilir bir etkisinin iklim değişimine bağlı sıcaklık artışlarının daha şiddetli olmasını sağlayabilir.

Bu çalışmada kentsel ve kırsal sınıflandırmaların doğrudan bir arazi örtüsü veri setinden gelen kentsel ve kırsal ızgaralara dayandığını belirtmek önem arz etmektedir. Başka bir yaklaşım, Yao vd. (2022) tarafından yapıldığı

gibi, her veri gridi veya her hava istasyonu konumu etrafında değişik yarıçaplı dairesel tampon bölgeler tanımlamak ve o dairesel alan içindeki kentsel arazi örtüsü alanlarının yüzdesini hesaplamak ve bu ızgaranın veya istasyon konumunun arazi kullanım sınıflandırmasını iyileştirmektedir. Ancak sonuçlar, bireysel şehirlerin sıcaklık değişkenliğinin kentleşmeye yanıt olarak nasıl farklılık gösterebileceğini vurgulamaktadır ve çalışmaların kent özelinde yapılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

## KAYNAKLAR

- Argueso, D., Evans, J. P., Fita, L., Bormann, K. J., 2014. Clim. Dyn. 42, 2183-2199. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1789-6>.
- Chapman, S., Watson, J. E. M., Salazar, A., Thatcher, M., McAlpine, C. A., 2017. The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. Landscape Ecol. 32, 1921-1935. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>.
- Dihkan, M., Karsli, F., Guneroglu, A., Guneroglu, N., 2015. Evaluation of surface urban heat island (SUHI) effect on coastal zone: The case of Istanbul megacity. Ocean & Coastal Management 118, 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.008>.
- Doan, Q. V., Kusaka, H., Ho, Q. B., 2016. Impact of future urbanization on temperature and thermal comfort index in a developing tropical city: Ho Chi Minh City. Urban Clim. 17, 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.04.003>.
- Donmez, B., Donmez, K., Diren-Ustun, D., Unal, Y., 2021. The Impact of Urban Land Use On the Springtime Frontal Precipitation Event in Ankara: A Case Study of 5 May 2014. EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-3056. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-3056>, 2021.
- Donmez, K., Donmez, B., Diren-Ustun, D., Unal, Y., 2021. Assessment of Urbanization Impact On Heavy Precipitation in Istanbul, Turkey. EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-3057. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-3057>, 2021.
- Gabriel, K. M., Endlicher, W. R., 2011. Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. Environ Pollut. 159 (8-9), 2044-2050. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.016>.
- Karaca, M., Tayanc, M., Toros, H., 1995. Effects of urbanization on climate of Istanbul and Ankara. Atmospheric Environment 29 (23), 3411-3421. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00085-D](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00085-D).
- Khorrami, M., Gunduz, O., 2020. patio-temporal interactions of surface urban heat island and its spectral indicators: A case study from Istanbul metropolitan area, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment 192 (6). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08322-1>.
- Li, Y., Fowler, H. J., Argueso, D., Blenkinsop, S., Evans, J. P., Lenderink, G., Yan, X., Guerreiro, S. B., Lewis, E., Li, X., 2020. Strong intensification of hourly rainfall extremes by urbanization. Geophys. Res. Lett. 47 (14). <https://doi.org/10.1029/2020gl088758>.
- Liao, W., Liu, X., Li, D., Luo, M., Wang, D., Wang, S., 2018. Stronger contributions of urbanization to heat wave trends in wet climates. Geophys. Res. Lett. 45, 11310-11317. <https://doi.org/10.1029/2018GL079679>.
- Lu, F., Xiao, W.H., Yan, D.H., Wang, H., 2017. Progresses on statistical modeling of nonstationary extreme sequences and its application in climate and hydrological change. J. Hydraul. Eng. 48 (4), 379-389. <https://doi.org/10.13243/j.cnki.slxh.20160281>.
- Lu, M., Xu, Y., Shan, N., Wang, Q., Yuan, J., Wang, J., 2019. Effect of urbanisation on extreme precipitation based on nonstationary models in the Yangtze River Delta metropolitan region. Sci. Total Environ. 673, 64. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.413>.
- Niyogi, D., Osuri, K. K., Busireddy, N., Nadimpalli, R., 2020. Timing of rainfall occurrence altered by urban sprawl. Urban Clim. 33, 100643. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100643>.
- Perkins, S. E., Alexander, L. V., Nairn, J. R., 2012. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. Geophys. Res. Lett. 39, L20714. <https://doi.org/10.1029/2012GL053361>.
- Pesaresi, M., Florczyk, A., Schiavina, M., Melchiorri, M., Maffeni, L., 2019. GHS settlement grid, updated and refined REGIO model 2014 in application to GHS-BUILT R2018A and GHS-POP R2019A, multitemporal (1975-1990-2000-2015), R2019A. European Commission, Joint Research Centre (JRC). <http://doi.org/10.2905/42E8BE89-54FF-464E-BE7B-BF9E64DA5218>.
- Shimadera, H., Kondo, A., Shrestha, K. L., Kitaoka, K., Inoue, Y., 2015. Numerical evaluation of the impact of urbanization on summertime precipitation in Osaka, Japan. Advances in Meteorology 1-11, <https://doi.org/10.1155/2015/379361>.
- Turkoglu, N., 2009. Analysis of urban effects on soil temperature in Ankara. Environmental Monitoring and Assessment, 169(1-4), 439-450. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1187-z>.
- Unal, Y., Sonuc, C. Y., Incek, S., Topcu, S., 2020. Investigating urban heat island intensity in Istanbul. Theor. Appl. Climatol. 139 (84), 175-190. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02953-2>.
- Verdin, A., Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Tuholske, C., Grace, K., 2020. Development and validation of the CHIRTS-daily quasi-global high-resolution daily temperature data set. 7 (303). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00643-7>.
- Wan, Z., Hook, S., Hulley, G., 2015. MOD11\_L2 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 5-Min L2 Swath 1km V006. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. [https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11\\_L2.006](https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11_L2.006).
- Yao, R., Zhang, S., Sun, P., Dai, Q., Yang, Q., 2022. Estimating the impact of urbanization on non-stationary models of extreme precipitation events in the Yangtze River Delta metropolitan region. Weather and Climate Extremes, 36, 100445. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100445>.
- Zaeemdar, S., Baycan, T., 2017. Analysis of the relationship between urban heat island and land cover in Istanbul through Landsat 8 OLI. Journal of Earth Science & Climatic Change 8 (11). <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000423>.



Zhang, G., Azorin-Molina, C., Wang, X., Chen, D., McVicar, T. R., Guijarro, J. A., Chappell, A., Deng, K., Minola, L., Kong, F., Wang, S., Shi, P., 2022. Rapid urbanization induced daily maximum wind speed decline in metropolitan areas: A case study in the Yangtze River Delta (China). *Urban Clim.* 43, 101147. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101147>.

