



Basılı ISSN 1302-5856

Türk Coğrafya Dergisi
Turkish Geographical Review
www.tcd.org.tr

Elektronik ISSN 1308-9773



MODIS-AQUA verilerine göre Bursa şehri ve çevresinde yüzey sıcaklıklarının dağılışı ve eğilimleri

Distribution and trends of surface temperatures in Bursa urban area and its surroundings according to MODIS-AQUA data

Yasin Furkan Şenlik^{a*}  İhsan Çiçek^b 

^aAnkara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.

^bAnkara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID: Y.F.Ş 0000-0002-5772-8292; İ.Ç. 0000-0002-9000-2805

BİLGİ/INFO

Geliş/Received: 19.02.2025

Kabul/Accepted: 04.04.2025

Anahtar Kelimeler:

Yüzey sıcaklığı

Yüzey ısı adası

Arazi örtüsü

MODIS

Bursa

Keywords:

Surface temperature

Surface heat island

Land cover

MODIS

Bursa

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(Y. F. Şenlik) yasin.senlik@cbu.edu.tr

DOI: 10.17211/tcd.1642864



Atıf/Citation:

Şenlik, Y. F., & Çiçek, İ. (2025). MODIS-AQUA verilerine göre Bursa şehri ve çevresinde yüzey sıcaklıklarının dağılışı ve eğilimleri. *Türk Coğrafya Dergisi* (87), 79-97.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1642864>

ÖZ/ABSTRACT

Dünya genelinde kentleşme oranı hızla artmakta ve artan kentleşmeyle beraber birtakım sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle büyük şehirler çevrelerine kıyasla sıcaklık, yağış ve hava kalitesi bakımından farklı bir kimliğe bürünmektedir. Türkiye'nin nüfus bakımından en büyük 4. ili olan ve yoğun bir şehirleşme sürecinin devam ettiği Bursa'da da bu tür değişimlerin görülmesi mümkündür. Bu çalışmada Türkiye'nin önemli sanayi kentlerinden biri olan Bursa şehrinin merkez ilçeleri örnek olarak seçilmiştir. Çalışmada MODIS-AQUA uydusunun 2003-2023 yılları arasına ait yüzey sıcaklık verileri kullanılarak Bursa şehri ve yakın çevresinin yüzey sıcaklık dağılışı ve eğilimlerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada yüzey sıcaklığını etkileyen birinci faktörün yükselti olduğu görülmüştür. En düşük sıcaklıklar Uludağ'ın zirvesinde, en yüksek sıcaklıklar ise gündüzleri Bursa Ovası'nda, geceleri Uluabat Gölü'nde ölçülmüştür. Yüzey sıcaklığını etkileyen diğer önemli faktörün ise arazi örtüsü olduğu görülmüştür. Özellikle gündüz saatlerinde Bursa kentinde yer alan 3 organize sanayi bölgesinde pozitif yüzey sıcaklığı oluşumu tespit edilmiştir. Bu sahaları meydana getiren yapı malzemelerinin pozitif yüzey sıcaklığı üzerinde etkisi olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca gece saatlerinde de yoğun yerleşme sahalarında ısı adası oluşumu görülmüştür. Hali hazırda çevrelerine göre daha sıcak olan bu sahalarda Mann-Kendall eğilim analizine göre anlamlı sıcaklık artışlarının olduğu belirlenmiştir. Bursa'da kent ikliminin daha iyi hale gelmesi için bazı önlemlerin alınması gerekmektedir. Sanayi bölgelerinin etrafına yeşil alan tamponlarının oluşturulması ve yoğun şehir alanlarındaki park ve bahçelerin çoğaltılması oldukça önemlidir.

The rate of urbanization is increasing rapidly worldwide, leading to a number of emerging problems. Big cities take on a different identity in terms of temperature, precipitation and air quality compared to their surroundings. It is possible to observe such changes in Bursa, Turkey's 4th largest province in terms of population, where an intensive urbanization process continues. In this study, the central districts of Bursa, one of the most important industrial cities of Turkey, were selected as the sample. This study aims to examine the surface temperature distribution and trends of the city of Bursa and its immediate surroundings, using surface temperature data from the MODIS-AQUA satellite for the period 2003-2023. In the study, it was observed that the first factor affecting the surface temperature was elevation. The lowest temperatures were measured at the summit of Uludağ, while the highest temperatures were measured in Bursa Plain during the day and at Uluabat Lake at night. The other important factor affecting the surface temperature is land cover. Positive surface temperature formation, especially during daytime hours, was detected in three organized industrial zones in the city of Bursa. It is understood that the building materials that make up these sites have an impact on increased surface temperature. Heat island formation was also observed in densely populated areas at night. According to Mann-Kendall trend analysis, significant temperature increases were found in these areas, which are already warmer than their surroundings. Some measures need to be taken to improve the urban climate in Bursa. It is very important to create green buffers zone around industrial zones and to increase the number of parks and gardens in dense urban areas.

Extended Abstract Introduction

Migration from rural areas to cities is increasing day by day. As the population living in cities increases, the land cover is changing rapidly. Differences in the heat retention capacity, thermal conductivity and specific heat of artificial surfaces (roof tiles, steel, etc.) that make up cities cause cities to become warmer compared to rural areas. It is possible to observe changes in urban climate in Bursa, the 4th largest city in terms of population in Turkey. In this study, it is aimed to examine the distribution and trends of surface temperatures and the factors affecting them in the central districts of Bursa, an important industrial city.

Data and Method

In this study, AQUA satellite of MODIS satellite systems was used to determine the surface temperatures of Bursa city and its immediate surroundings. The data of the AQUA satellite covers the period 2003-2023. The satellite collects data from the study area at 14:45 during the day and 03:45 at night. The average surface temperatures of the study area were mapped using satellite data. In addition, Mann-Kendall trend analysis was performed on surface temperatures and mapped. CORINE land use data for 2018 were obtained and mapped to determine the land use of the study area. Then, the relationship between surface temperatures and land use was analyzed.

Results

Elevation was found to be the first factor affecting surface temperature in all months and at both measurement times of the day. At the summit of Uludağ, where the elevation reaches 2,543 m, the lowest surface temperatures were determined in every month. At the summit of Uludağ, surface temperatures drop to -14 °C in January and February. Bursa Plain, Inegöl Plain and Yenisehir Plain, which have low elevation, were found to be areas with higher surface temperatures.

The second important factor affecting the surface temperature in the study area is the land cover. In the study area, positive surface heat island formation was detected both during the day and at night in areas where urban settlements are generally located. Surface heat islands are generally observed at night in Bursa city center and Kurşunlu neighborhood on the coastal line where urban settlements are concentrated. During the daytime, surface heat islands appear in 4 different areas in Bursa city center. One of these is the city center and the other three are Organized Industrial Zones (OIZ). Nilüfer OIZ, Demirtaş Dumlupınar OIZ and Ahmet Vefik Paşa OIZ are the areas where surface heat island formation is observed during the daytime. It is understood that the specific heat, thermal conductivity and heat retention capacities of the building materials forming these areas are effective in the formation of surface heat islands in industrial zones during the daytime.

It is observed that the surface heat island effect in the above-mentioned industrial zones progresses by increasing its area and temperature especially from mid-spring to late summer. Especially in Nilüfer OIZ, it is noteworthy that a stronger surface heat island is formed during the daytime compared to other

OIZs. As a result, temperatures change by 8-10 °C at very short distances.

The distribution of agricultural lands also affected the surface temperatures. In the eastern part of Bursa Plain, there are generally vineyards and gardens, while in the western part there are generally dry agricultural lands. Especially in summer and fall seasons, surface temperatures in the plain show an increase from east to west. Different types of agricultural areas have been effective in this result.

Water surfaces also have an important effect on surface temperature distribution in the study area. The eastern half of Uluabat Lake within the study area showed different temperature characteristics during day and night hours. In the lake where the highest surface temperatures were determined at night, lower temperatures were determined during the day compared to the lowland areas. This is due to the fact that the specific heat of the water surfaces is higher than that of the land surfaces, which causes them to heat up and cool down later than the other surfaces. The fact that the deeper parts of the lake are warmer proves this situation.

When the Mann-Kendall trend analysis of surface temperatures is examined; it is seen that the significant surface temperature change at night in winter months is generally in a narrow area and there are temperature increases at the summit of Uludağ. During the daytime in winter, it was observed that there were generally significant temperature increase trends in the plains and especially in February, the increase trends spread over the whole area. In the spring season; significant temperature changes are not common in March. There are increasing trends in surface temperatures only in a narrow area. In April, there are increasing trends in surface temperatures both during the day and at night. The daytime temperature increases are generally concentrated in Bursa city center. In May, there are significant temperature decreasing trends in the high areas surrounding the plains in general. In summer, there are generally temperature increases at night and temperature decreases during the day. However, the daytime trends are spread over wider areas. In addition, while there is a decreasing trend in surface temperatures in most of the study area during the daytime, there are increasing trends in temperatures in Bursa city center. In the fall, there are generally increasing trends in temperature. The increasing trends in surface temperatures are spread in the Bursa Plain, the summit of Uludağ, the city centers (Bursa city center and Kurşunlu neighborhood) and Uluabat Lake.

Discussion and Conclusion

As in previous studies on other cities in Turkey, elevation and land cover are the most important factors affecting surface temperatures in Bursa. With rapid urbanization and industrialization, changes in urban surfaces cause changes in urban climate. Some measures need to be taken for this. In Bursa, which is one of the most important industrial cities of Turkey, it is necessary to create green buffers zone around the OIZ zones and to make the city of Bursa a "Green Bursa" like in the old days.

1. Giriş

Her geçen gün kırsal alanlardan kentlere göçler devam etmekte ve şehirli nüfus sayısı giderek artmaktadır. Dünya’da 1960 yılında %33 olan kentli nüfus oranı, 2023 yılına gelindiğinde %57’ye ulaşmıştır. Türkiye’de ise 1960 yılında %31 olan kentli nüfus oranı, 2023 yılı itibarıyla %77’ye ulaşmıştır (Şekil 1). Türkiye’de bu durumun meydana gelmesinde 2012 yılında kabul edilen 6360 sayılı Büyükşehir Kanunu da etkili olmuştur. Hızla artan kentli nüfusun barınma ve istihdam ihtiyaçları ise doğal alanların hızla değişimine ve kentsel sahaların hızla büyümesine sebep olmaktadır. Arazi örtüsünde görülen bu hızlı değişim ise beraberinde bazı sorunlar getirmektedir. Tüm beşeri faaliyetlerin toplamı şehir iklimini etkilemekte ve şehirlerin sıcaklık, yağış ve hava kalitesi gibi parametrelerinde değişimler meydana gelmektedir.

Antik dönemlerden bu yana büyük şehirlerin kırsal sahalara göre farklı bir iklime sahip olduğu bilinmektedir (Landsberg, 1981). Şehirler kendine özgü dinamikleri ile çevrelerine kıyasla daha düşük hava kalitesine sahip ve daha sıcak alanlar olma eğilimi göstermektedir. Bunun ilk kanıtlarını Howard (1818) Londra kentini konu aldığı çalışmasında ortaya koymuştur. Howard çalışmasında hem “Şehir Sisi” tanımını ortaya koymuş, hem de yaptığı ölçümler ile Londra şehrinin çevresindeki kırsal sahaya kıyasla daha sıcak olduğunu tespit etmiştir. Howard şehirler ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkını ortaya koyması ile “Kentsel Isı Adası” çalışmalarına zemin hazırlamıştır. Renou (1868) ise termometre ölçümleri ile gerçekleştirdiği çalışması sonucunda aynı yükseltide yer alan bir şehrin, kırsal alandan 1 °C daha sıcak olduğunu ortaya koymuştur.

1960 yılında ilk başarılı meteoroloji uydusu olan TIROS-1 yörüngeye fırlatılmıştır (NESDIS, 2021). Uydu sadece 78 gün veri toplasa da uyduların klimatolojik ve meteorolojik çalışmalarda kullanılabileceğinin ortaya konması açısından bir milat olmuştur (Kidder & Vonder Haar, 1995). 1960 ve 70’li yıllarda bir dizi meteoroloji uydusu peş peşe fırlatılmaya başlanmıştır. Böylelikle 1960 ve 70’li yıllarda yüzey sıcaklığı verisi toplayan uydular aracılığıyla şehir klimatolojisi çalışmaları yapılmaya başlanmış ve önemli şehirlerde yüzey ısı adaları tespit edilmiştir (Wark vd., 1962; Rao, 1972; Matson vd., 1978).

Şehir iklimini farklı hale getiren unsurların başında şehirleri meydana getiren yüzeyler gelmektedir. Kiremit, asfalt, beton, tuğla, çelik, alüminyum vb. yapay yüzeylerin ısı tutma kapasite-

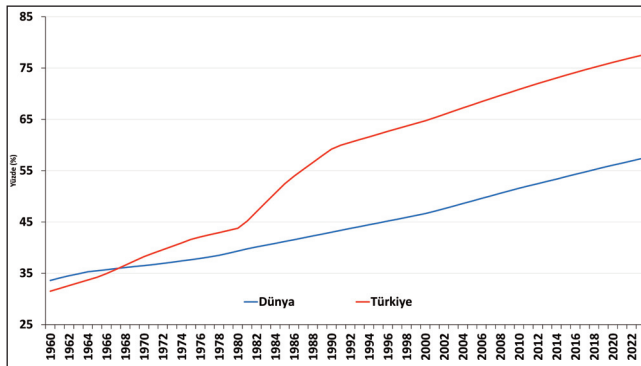
tesi, termal iletkenlik ve özgül ısılarındaki farklılıklar şehirlerde doğal alanlara kıyasla farklı yüzey sıcaklıklarının görülmesine sebep olmaktadır (Yılmaz, 2013). Ayrıca şehirlerde yer alan dar caddeler ve yüksek binalar gökyüzünün görünürliğini azaltarak bazı olumsuz sonuçlara yol açmaktadır. Düşük gökyüzü görüş oranına sahip sahalarda giden uzun dalga boyu radyasyon azalırken, gökyüzü görüşünü engelleyen yüzeylerden yayılan ısıyı şehir kanyonlarında çoklu yansıtılmaya uğradığı için uzun dalga boyu radyasyonu artmaktadır (Hammerle vd., 2011). Yapı malzemelerinin özellikleri, gökyüzü görüş oranı ve antropojenik ısı yayımı şehir iklimi üzerinde en çok etkisi olan faktörler olarak ön plana çıkmaktadır (Çiçek vd., 2013).

Yüzey sıcaklığı dünya yüzeyinin radyan sıcaklığını ve radyasyon özelliklerini ifade etmektedir (Urban vd., 2013; Oguz vd., 2019; Rehman vd., 2022). Birçok farklı parametreye bağlı olarak değişebilen yüzey sıcaklığı aslında dünya yüzeyinin sıcaklığının doğrudan göstergesidir (Ovalle vd., 2021). Başka bir ifade ile yüzey sıcaklığı dünya yüzeyini oluşturan toprak, bitki örtüsü, su yüzeyi ve yapay yüzeylerin sıcaklığını ifade etmektedir. Bu nedenle yüzey sıcaklığı parametresi başta şehir iklimi çalışmaları olmakla beraber, küresel iklim değişikliği, arazi örtüsündeki değişimlerin tespiti, tarım, don tespiti, evapotranspirasyon tahmini, hidrolojik döngü, hava durumu tahmini, su stresi, kıyı kirliliği, termal atalet, ekosistem değerlendirmesi, bitki örtüsü izleme, doğal kaynakların yönetimi, yüzey enerji bütçesinin modellenmesi, ormancılık, orman yangınları, toprak nemi belirleme ve ekoloji gibi çok farklı çalışma alanlarında kullanılabilen önemli bir parametredir (Prata vd., 1995; Li vd., 2004; Sertel & Örmeci, 2009; Li vd. 2013; Çolak & Sunar, 2018; Oguz vd., 2019; Akyürek, 2020; Abbas vd., 2021; Guo vd., 2021; Li vd., 2021; Tan vd., 2021; Chen vd., 2022; Lata & Ghosh, 2022; Yang & Lee, 2022).

Geçmişten günümüze birçok farklı uydu serisi yüzey sıcaklığı verisi toplayabilmesi nedeniyle şehir klimatolojisi çalışmalarında kullanılmıştır. Günümüzde ise şehir klimatolojisi çalışmalarında en çok kullanılan uydular Landsat (Landsat-5-7-8-9) ve MODIS (ASTER, TERRA, AQUA) serisi uydulardır. Her iki uydunun da bir diğerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Landsat serisi uydular yüksek mekânsal çözünürlüğe (termal bantlar 100 m) sahip olmaları nedeniyle sıkça tercih edilmektedir. Ancak bu uydular bir noktadan 16 günde bir veri toplamaktadır. MODIS serisi uydular ise düşük mekânsal çözünürlüklerine (ASTER hariç) karşın bir noktadan biri gündüz biri gece olmak üzere günde iki kez veri toplamaları bakımından tercih edilmektedir.

Önemli bir nüfus çekim alanı olan, Türkiye’nin en önemli tarım ve sanayi şehirlerinden biri olan Bursa şehrini de konu alan bazı şehir iklimi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle Bursa şehrinin hava sıcaklığı (Tayanç & Toros, 1997; Acar, 2005; Moradi & Görür Tamer, 2017), yağış (Acar, 2005) ve hava kalitesinde (Vardar, 1993; Duman, 2017; Çolak, 2019) görülen değişimler, bunların kentleşmeyle ilişkisi ve Bursa şehri ile Uludağ gibi farklı özelliklere sahip sahalarda meteorolojik parametrelerdeki farklılıklar (Öztürk, 2010; Çalışkan vd., 2013) meteoroloji istasyonlarından faydalanılarak ortaya konulmuştur.

Bu zamana kadar Bursa şehrini konu alan çalışmalarda meteoroloji istasyonlarından faydalanılmış, bu çalışmalar sonucunda şehirde hava sıcaklıklarında artış eğilimleri olduğu ve çevresin-



Şekil 1. Kentte yaşayan nüfusun toplam nüfus içindeki oranı (%) (1960-2023) (World Bank, 2024).

Figure 1. Proportion of the urban population in the total population (%) (1960-2023) (World Bank, 2024).

deki kırsal sahalara kıyasla daha sıcak bir özellikle gösterdiği yani şehir ısı adası olarak belirdiği ortaya konmuştur (Tayanç & Toros, 1997; Acar, 2005; Moradi & Görür Tamer, 2017). Ancak meteoroloji istasyonları arasında kıyaslama yapılmasının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Biri kırsal, biri şehir istasyonu olan iki meteoroloji istasyonu arasında yapılan karşılaştırmalarda yalnızca istasyonların bulunduğu sahanın sıcaklık ve yağış özellikleri karşılaştırılabilmektedir. Fakat gerek şehirler gerekse kırsal alanlar farklı yükseltilere ve farklı yüzeylere sahiptirler ve bu durum meteoroloji istasyonlarının arasında kalan sahaların modellenmesinde sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle şehirsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farklılıklarının ortaya konmasında termal sensörlere sahip uydulardan elde edilen yüzey sıcaklığı verisi daha güvenilir bir parametre olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı uzun yıllara ait MODIS-AQUA uydu verilerinde faydalanılarak Bursa şehrinde ortalama yüzey sıcaklıklarındaki dağılışı ve eğilimlerin belirlenmesi, çalışma sahasındaki kırsal ve kentsel alanlar arasındaki sıcaklık farkının ortaya konması, şehirsel alanlardaki en sıcak ve en soğuk noktaların neler ve bunları etkileyen faktörlerin neler olduğunun ortaya konmasıdır. Çalışma Bursa şehrinde yüzey ısı adasının olup olmadığını belirleme, kent içi sıcak ve soğuk alanların belirlenmesi, sıcaklık artış eğilimi olan sahaların nereler olduğunun ortaya konması ve buna yönelik şehir planlama çalışmalarının yapılması ve önlemler alınması açısından önem taşımaktadır.

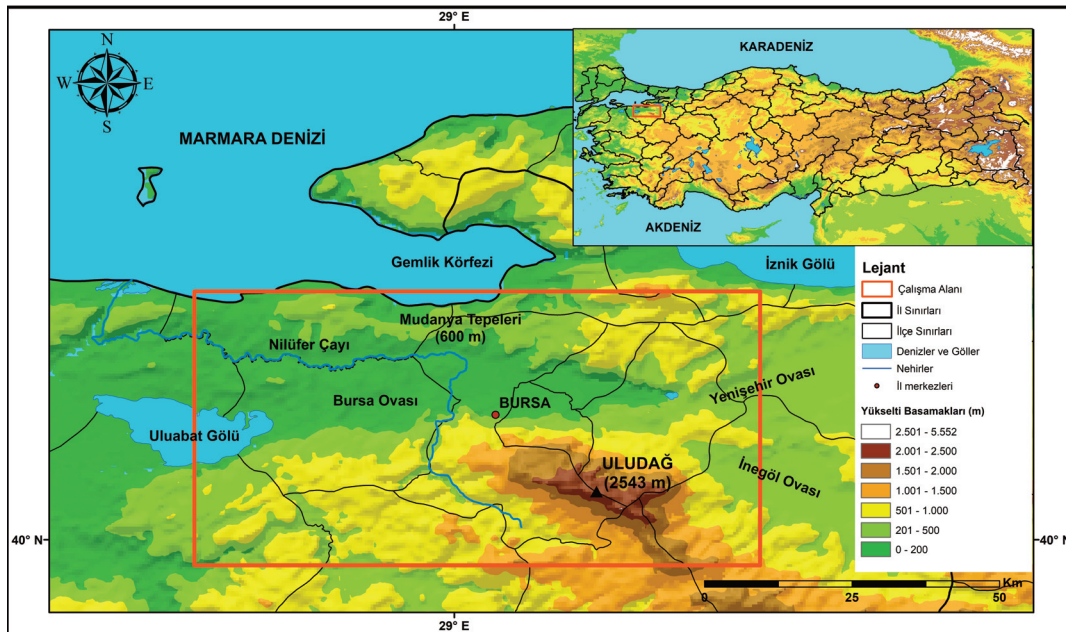
2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Bursa ilinin merkez ilçeleri olan Kestel, Gürsu, Nilüfer, Yıldırım, Osmangazi ilçeleri ve onların yakın çevresini kapsamaktadır (Şekil 2). Çalışma sahasının büyük çoğunluğu Marmara Bölgesi'nin Bursa Yöresi'nde yer almaktadır (Doğaner, 2017). Çalışma alanının batıda kalan küçük bir kısmı ise Karesi Yöresi içinde kalmaktadır.

Çalışma sahasının en önemli morfolojik birimlerinden birini Bursa Ovası meydana getirmektedir. Bursa Ovası, Uludağ Masifi ile Mudanya Tepeleri arasında uzanan doğu-batı doğrultulu bir

ovadır. Ovanın doğu-batı doğrultusunda uzunluğu yaklaşık 40 km'dir (Ardel, 1945; Doğaner, 2017). Ovanın doğudan batıya doğru gidildikçe genişliği artmakta ve en geniş yerinde 10 km'ye yaklaşmaktadır. Çalışma sahası içindeki yerleşim yerlerinin büyük çoğunluğu da ova alanı içerisinde yer almaktadır. Nilüfer Çayı ise Uludağ'ın güney yamaçlarından doğar, Bursa Ovası içinde ilerler ve Susurluk Nehri'ne katılarak Marmara Denizi'ne dökülür (Doğaner, 2017). Çalışma sahasının güneydoğusunda yer alan Uludağ ise Batı Anadolu'nun en yüksek dağı (2543 m) olma özelliğini taşımaktadır. Bursa şehri de Uludağ'ın kuzeybatı eteklerine kurulmuş, batı ve kuzey yönlerine doğru ise genişlemesini sürdürmektedir. Çalışma alanının batısında ise Marmara Bölgesi'nin 3. büyük gölü olan Uluabat Gölü (134 km²) yer almaktadır.

Bursa şehri, 1335 yılında Osmanlı Devleti'nin başkenti olmuş ve bundan sonra gelişerek bir ticaret şehri hüviyeti kazanmıştır. Daha sonra başkentin taşınmasıyla beraber yavaş yavaş eski önemini kaybetmeye başlayan şehir özellikle Cumhuriyetin ilk yıllarında oldukça durağan bir yapı göstermiştir (Keskin vd., 2015). Ancak Bursa için 1960'lı yıllar bir milat olmuştur. 1962 yılında Türkiye'nin ilk Organize Sanayi Bölgesi'nin burada kurulmasıyla birlikte şehre bir göç akını başlamıştır (Keskin vd., 2015). Günümüzde ise Bursa'da otomotiv, makine, tekstil, kimya ve deri sanayii gelişmiş durumdadır. 1975'te ise günümüzdeki adıyla Bursa Uludağ Üniversitesi kurulmuş (ilk kurulduğunda Bursa Üniversitesi olarak adlandırılmıştır) ve şehir her açıdan bir çekim sahasına dönüşmüştür (Doğaner, 2017). 2024 yılı itibarıyla Bursa Uludağ Üniversitesi 67.717 öğrenciye ev sahipliği yapmaktadır (Uludağ Üniversitesi, 2024). Türkiye'nin nüfus bakımından en büyük 4. ili olan Bursa'da nüfus hızla artmaya devam etmekte ve nüfusun büyük çoğunluğu çalışma sahası olarak belirlenen merkez ilçelerde yoğunlaşmaktadır (Tablo 1). Ayrıca gerek kentin tarihi bir kimliğinin olması, gerekse bir kış turizmi sahası olan Uludağ'ın varlığı yerli ve yabancı turistleri şehre çekmektedir. Bursa ilinde yalnızca 2023 yılında konaklayan turist sayısı 1.368.163 olmuştur (Bursa İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2023). Güneşli ve kamp yapan turistlerle birlikte bu sayı daha da artmaktadır.



Şekil 2. Çalışma sahasının lokasyon haritası.

Figure 2. Location map of the study area.

Tablo 1. Çalışma sahasının yıllara göre nüfusu.**Table 1.** Population of the study area by years

İlçe Ad	Nüfus-2007	Nüfus-2015	Nüfus-2020	Nüfus-2023
Kestel	44.456	54.959	70.865	75.954
Gürsu	50.039	79.540	96.985	103.770
Nilüfer	251.344	397.303	484.832	543.934
Yıldırım	575.450	643.681	657.176	654.491
Osmangazi	736.034	826.742	881.459	885.273
Merkez İlçeler Toplam	1.657.323	2.002.225	2.191.317	2.263.422
Bursa Toplam	2.439.876	2.842.547	3.101.833	3.214.571

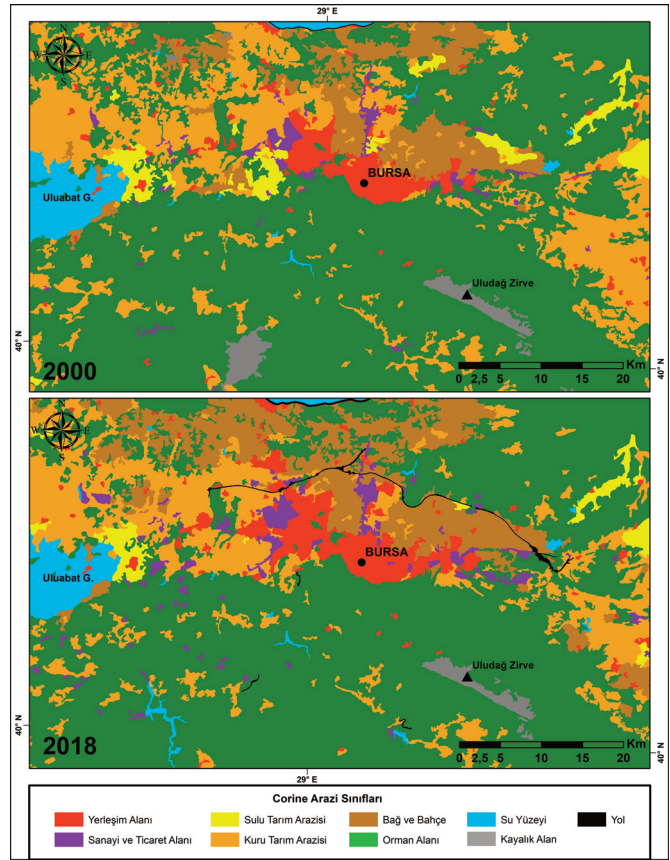
Kaynak: TUIK 2024 verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Çalışma sahası hem Akdeniz, hem de Karadeniz bitki türlerini içeren bir geçiş kuşağı bitki örtüsüne sahiptir (Erken vd., 2019). Dağlık sahaların kuzey yamaçları başta ıhlamur ve kestane olmak üzere geniş yapraklı orman örtüsü ile kaplıdır. Türkiye'nin 122 önemli bitki alanından biri olan Uludağ ise değişen yükseltisi ve iklim özellikleri ile oldukça yüksek bir endemizm oranına sahiptir. 1961 yılından itibaren Milli Park statüsü kazanan Uludağ'da 32'si Uludağ endemiği olmakla birlikte toplam 104 endemik tür tespit edilmiştir (Bursa Valiliği, 2024). Kültür ve Turizm Bakanlığına bağlı Uludağ Alan Başkanlığı görev ve yetkilerini düzenleyen 26 Ocak 2023 tarih ve 32805 sayılı Uludağ Alanı Hakkında Kanun yürürlüğe girmiştir. Bu kanuna göre Uludağ Milli Parkı'nın bir bölümünde "Alan Başkanlığı" adı altında yeni bir düzenlemenin hayata geçirilmesi için yaklaşık 2 bin ha alan Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nden, "Uludağ Alan Başkanlığı'na" devredilmiştir.

Çalışma sahasının 2000-2018 yılları arasındaki arazi kullanım türlerindeki değişimler incelendiğinde; özellikle şehir alanları ile sanayi ve ticaret sahalarının genişleme gösterdiği ve bu genişlemenin batı ve kuzey yönlerinde olduğu görülmektedir (Şekil 3). Yukarıda Bursa şehrinin Uludağ'ın kuzeybatı eteklerine kurulduğu belirtilmişti. Şehrin güney ve güneydoğu bölümde Uludağ'ın varlığı ve Bursa Ovası'nın doğudan batıya doğru genişlemesi şehrin genişleme yönünü tayin etmiş gibi durmaktadır. Ancak bu genişlemenin büyük çoğunlukla Bursa Ovası'nda yer alan verimli tarım arazilerine doğru olduğu da dikkat çekmektedir. 18 yıllık süreçte tarım arazilerinin kendi içlerinde de bazı değişiklikler olmuştur. Özellikle sulcu tarım yapılan sahalarda daha sonra ya kuru tarım yapılmaya başlanmış ya da bu sahalarda bağ ve bahçelere dönüştürülmüştür.

3. Veri ve Yöntem

Bursa şehri için yüzey sıcaklığı verileri, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu'nun (USGS) ücretsiz sunduğu MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer/Orta Çözünürlüklü Görüntü Spektrometresi) uydu sistemlerinin AQUA uydusundan temin edilmiştir. MODIS-AQUA uydusu ilk kez 04/07/2002 tarihinde yüzey sıcaklığı verisi toplamaya başlamıştır. Bu çalışmada ise sıcaklık verileri 01/01/2003 ile 31/12/2023 tarihleri arasındaki 21 yıllık dönemi kapsamaktadır. 1 km çözünürlüğe sahip olan AQUA uydusu çalışma sahasından gündüzleri yaklaşık olarak 14:45, geceleri ise yaklaşık olarak 03:45 saatlerinde yüzey sıcaklığı verisi toplamaktadır (NASA/LAADS, 2024). Söz konusu uydunun çalışma alanından günde 2 defa veri toplaması hem gündüz, hem de gece saatlerine ait yüzey sıcaklıklarının değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.



Şekil 3. Çalışma sahasının sadeleştirilmiş CORINE arazi kullanım haritası.

Figure 3. Simplified CORINE land use map of the study area.

Çalışma için MODIS-AQUA uydusuna ait veriler NASA'ya ait AppEEARS platformundan NetCDF formatında indirilmiştir. Sonraki aşamada NetCDF formatındaki veriler Panoply uygulaması kullanılarak EXCEL formatına dönüştürülmüştür. Veriler EXCEL formatına dönüştürüldükten sonra öncelikle zaman serisine çevrilmiş, daha sonra ise bunlardan aylık ortalama yüzey sıcaklıkları üretilmiştir.

Yüzey sıcaklıklarındaki eğilimlerin tespiti için ise Mann-Kendall eğilim testinden yararlanılmıştır. Bunun için öncelikle S değeri belirlenmiş (Eşitlik 1), daha sonra ise varyans (Eşitlik 2) ve ZMK (Eşitlik 3) değerleri hesap edilmiştir. Son olarak bu değerler standart normal dağılıma göre yorumlanmıştır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{isrt}(x_j - x_k) \quad (1)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right] \quad (2)$$

$$Z_{MK} = \frac{S + m}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad (3)$$

$m = 1$ eğer $S < 0$
 $m = 0$ eğer $S = 0$
 $m = -1$ eğer $S > 0$

Mann-Kendall Z değerleri $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ anlamlılık seviyelerinde sınanmıştır. 1,96'dan büyük olan Mann-Kendall Z değerleri anlamlı artış, -1,96'dan küçük olan değerler anlamlı azalış, 2,575'den büyük olan değerler şiddetli anlamlı artış ve -2,575'den küçük olan değerler ise şiddetli anlamlı azalış şeklinde yorumlanmıştır.

Çalışmada sırasıyla önce yüzey sıcaklığı verileri indirilip uygun formata dönüştürülmüştür. Uygun formata dönüştürülen yüzey sıcaklığı verilerinden ortalama yüzey sıcaklıkları belirlenmiş ve Mann-Kendall eğilim analizi ile yüzey sıcaklıklarında eğilim olup olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen ortalama yüzey sıcaklıkları ve eğilim testi sonuçları ArcGIS 10.8.1 yazılımı kullanılarak haritalandırılmıştır. Bu aşamada 1 km çözünürlüğe sahip yüzey sıcaklığı verileri 500 m çözünürlüğe göre IDW (Inverse Distance Weighting/Ters Mesafe Ağırlıklı) enterpolasyon yöntemi ile enterpole edilmiştir. Elde edilen haritalar aylara ve mevsimlere göre değerlendirilmiştir. Ayrıca haritalar üzerine Bursa şehir merkezinin sınırları eklenerek şehrsel ve kırsal alanların daha iyi ayırt edilmesi sağlanmıştır.

Çalışma alanına ait arazi örtüsündeki değişimin incelenmesi için 2000 ve 2018 yıllarına ait CORINE arazi kullanım verilerinden yararlanılmıştır. CORINE, Avrupa ülkeleri için standart bir arazi kullanım sistemini oluşturmayı hedefleyen bir arazi kullanım projesidir. CORINE projesinde normal şartlarda 44 farklı sınıfta arazi kullanım türü bulunmaktadır (Koca vd., 2008; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2015). Bu çalışmada ise arazi kullanım sınıflarının daha sade ve anlaşılır olması için söz konusu tüm arazi kullanım sınıfları 9 ana sınıfta (Yerleşim Alanı, Sanayi ve Ticaret Alanı, Sulu Tarım Arazisi, Kuru Tarım Arazisi, Bağ ve Bahçe, Su Yüzeyi, Orman Alanı, Kayalık Alan, Yol) toplanmıştır. Uygun sayıda sınıfa bölünen arazi kullanım verileri ArcGIS 10.8.1 yazılımı kullanılarak haritalandırılmıştır. Yüzey sıcaklığı ve arazi kullanımı arasındaki ilişkinin doğru şekilde incelenmesi için verilerin çözünürlükleri düzenlenmiştir. 250 m çözünürlüğe sahip CORINE verileri 1 km çözünürlüğe dönüştürüldüğünde hata verebileceği düşünülerek 500 m çözünürlüğe dönüştürülmüştür. Yukarıda da belirtildiği üzere yüzey sıcaklığı verileri de 500 m çözünürlüğe göre IDW yöntemi ile enterpole edilmiştir. Bu şekilde yüzey sıcaklığı ve arazi kullanım haritaları üzerinden bu ikisi arasındaki ilişkiler irdelen-

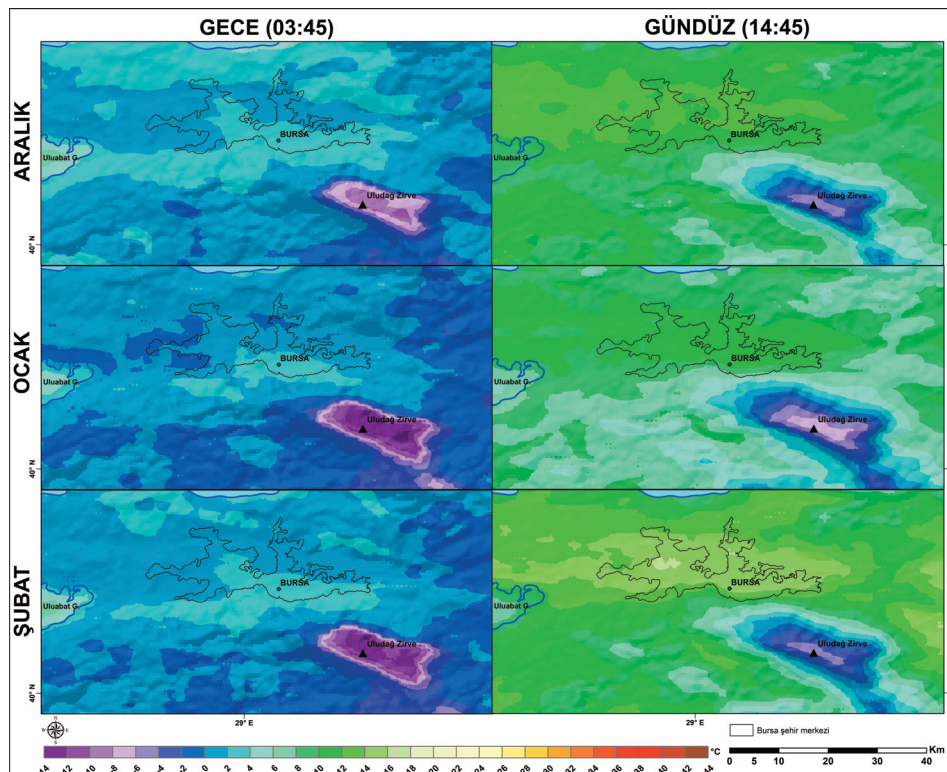
miştir.

4. Bulgular

Çalışma sonuçlarının sunumu, sırasıyla kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde aylık ortalama yüzey sıcaklıklarının dağılışı ve eğilimi şeklinde yapılmıştır. Arazi örtüsü ve yüzey sıcaklığı ilişkisi ortaya konulmuş ayrıca şehrsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkları incelenmiştir. Daha sonra Bursa şehir merkezi içerisindeki en yüksek ve en düşük yüzey sıcaklığına sahip noktalar belirlenmiş ve bunların üzerinde etkisi olan faktörler tartışılmıştır. Gerekli yerlerde ise literatüre başvurulmuştur.

4.1. Kış Mevsiminde Ortalama Yüzey Sıcaklıklarının Dağılışı ve Eğilimi

Çalışma sahasının kış mevsimi aylık ortalama sıcaklıkları -14 °C ila 18 °C arasında değişmektedir (Şekil 4). Aralık ayında hem gündüz hem de geceleri en düşük ortalama yüzey sıcaklıkları yükselti etkisine bağlı olarak Uludağ'da kaydedilmiştir. Yükseltinin artmasıyla beraber sıcaklıkların düşmesi beklenen bir durumdur (Erol, 2014). Uludağ'ın zirvesinde geceleri sıcaklık -12 °C'ye kadar düşmektedir. Geceleri Bursa şehir merkezi ve Mudanya Tepeleri, ova sahasının geri kalanına kıyasla daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir. Özellikle Gemlik ilçesine bağlı Kurşunlu mahallesinde sıcaklıklar 6 °C'ye kadar çıkmakta ve pozitif yüzey sıcaklıkları oluşmaktadır. Ancak Uluabat Gölü'nün yüzeyi en yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir. Özellikle gölün merkez kısmı, kıyı kesimine de kıyasla daha sıcak olmakta ve sıcaklıklar 8 °C'ye ulaşmaktadır. Su yüzeylerinin geç ısınıp geç soğuması böyle bir durumun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Aralık ayı gündüzlerinde ise en yüksek sıcaklıklar Bursa Ovası'nda görülmekte ve yüzey sıcaklıkları 12-14 °C arasında değişmektedir. Uluabat Gölü ise gündüzleri, gece saatlerinin aksine ova sahasına kıyasla daha serin bir özellik göstermektedir.



Şekil 4. Çalışma sahasının kış mevsimine ait aylık ortalama yüzey sıcaklığı haritası (°C) (2003-2023).

Figure 4. Monthly average surface temperature map of the study area for the winter season (°C) (2003-2023).

Ocak ayında, Uludağ'ın zirve kesiminde geceleri yüzey sıcaklıkları -14°C 'ye düşmektedir ve bu yıl boyunca görülen en düşük yüzey sıcaklıklarıdır (Şekil 4). Uludağ'da ocak ayı gündüz sıcaklıkları ise -6 ile -8°C arasında değişmektedir. Geceleri Bursa Ovası ve yakın çevresinde yüzey sıcaklıkları -2 ile 2°C arasında değişirken Bursa şehir merkezinin bulunduğu sahada sıcaklıklar 4°C 'ye kadar çıkmakta ve pozitif yüzey ısı adası özelliği göstermektedir. Ancak en yüksek sıcaklıklara sahip yüzey aralık ayına benzer şekilde Uluabat Gölü'dür. Gölün kıyı kesiminde $2-4^{\circ}\text{C}$ arasında değişen sıcaklıklar, gölün merkez kısmında 6°C 'ye kadar çıkmaktadır. Gündüzleri ise yalnızca şehir merkezi değil, Bursa Ovası'nın tümü çevresine kıyasla daha sıcaktır. Aralık ayında olduğu gibi Uluabat Gölü gündüzleri, gecelerin aksine bir görünüme sahiptir. Geceleri en yüksek sıcaklıklar göl yüzeyinde belirlenirken, gündüzleri ova sahasına kıyasla sıcaklıkların daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca geceleri gölün kıyı kısmı daha serin, merkez kısmı daha sıcak iken gündüzleri bu durum aksi yöndedir.

Şubat ayında da ocak ayına benzer şekilde en düşük sıcaklıklar Uludağ'ın zirve kesiminde -14°C olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Yine en yüksek yüzey sıcaklıkları ise Uluabat Gölü'nde görülmekte ve $4-8^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Şehir merkezinde ise ocak ayındaki gibi yüzey ısı adası oluşmaktadır ancak bu ısı adasının etki alanı artmaktadır. Şubat ayı gündüzlerinde ova tabanı yine çevresine kıyasla daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir. Ancak Nilüfer Organize Sanayi Bölgesi'nin (OSB) bulunduğu saha en yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir. Sanayi bölgelerini meydana getiren düşük özgül ısıya sahip yapı malzemelerinin gündüz saatlerinde hızla ısınması bu duruma sebep olmaktadır (Yılmaz, 2013; Şenlik & Yılmaz 2024).

Mann-Kendall eğilim testi ile ortalama yüzey sıcaklıklarındaki eğilimler incelendiğinde; aralık ayı gündüz ve gecelerinde ele alınan periyotta anlamlı bir sıcaklık azalışının olmadığı görülmektedir (Şekil 5). Bu ayda inceleme sahasında sıcaklık artış eğilimleri vardır. Ancak artış eğilimi de çok geniş bir sahaya ya-

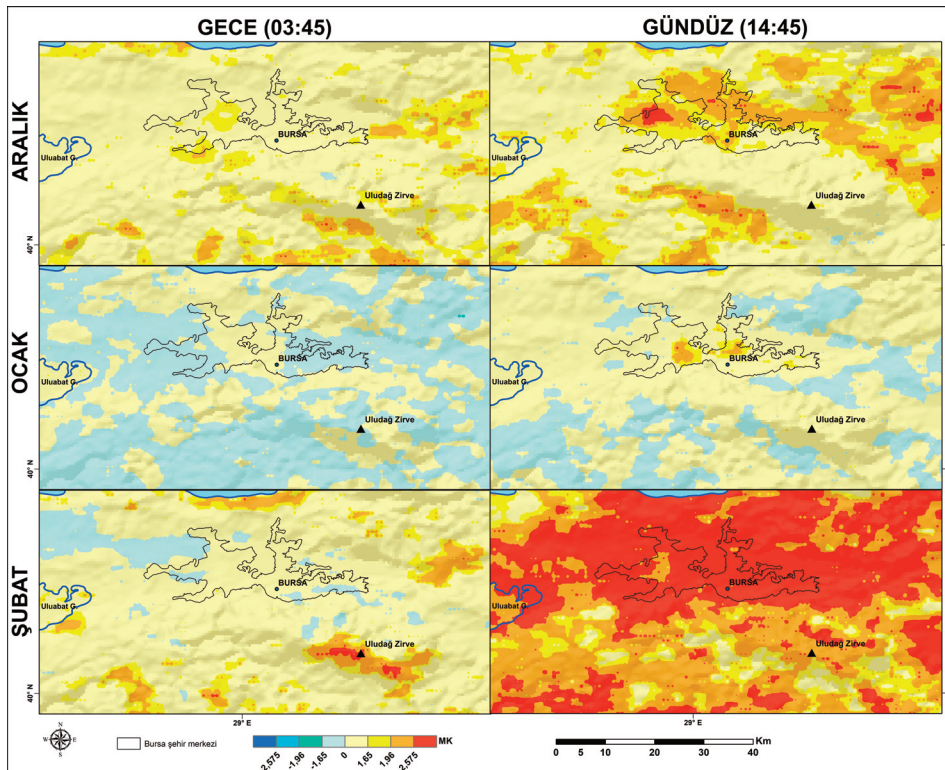
yılmamaktadır. Özellikle Nilüfer OSB'de aralık ayı gündüzlerinde şiddetli anlamlı sıcaklık artış eğilimleri söz konusudur. Yukarıda sanayi bölgesinin gündüzleri en sıcak sahaların başında geldiği belirtilmişti. Böylelikle zaten sıcak olan OSB sahasının giderek daha fazla ısınma eğilimi içerisinde olduğu görülmüştür.

Ocak ayında kayda değer eğilimler gündüz saatlerinde şehir merkezinin oldukça dar bir kesiminde bulunmaktadır (Şekil 5). Bu ayda neredeyse hiçbir yerde anlamlı değişimler yokken özellikle Nilüfer ilçesine bağlı Cumhuriyet mahallesinde şiddetli anlamlı sıcaklık artışının olması dikkat çekmektedir.

Şubat ayı ise diğer kış aylarına kıyasla oldukça farklı bir görünüm sunmaktadır (Şekil 5). Geceleri Uludağ'ın zirve kesiminde anlamlı ve şiddetli anlamlı sıcaklık artış eğilimleri vardır. Gündüz saatlerinde ise diğer kış aylarındaki gibi sıcaklık artışları görülmektedir. Ancak diğer aylardaki artış eğilimleri genellikle dar bir alanda görülürken, şubat ayının gündüzlerinde inceleme sahasının neredeyse tamamında anlamlı ve hatta şiddetli anlamlı sıcaklık artış eğilimleri bulunmaktadır.

4.2. İlkbahar Mevsiminde Ortalama Yüzey Sıcaklıklarının Dağılışı ve Eğilimi

Mart ayında kış aylarına benzer şekilde hem gündüz, hem de geceleri en düşük yüzey sıcaklıkları Uludağ'da görülmektedir (Şekil 6). Yine kış aylarına benzer şekilde Uluabat Gölü geceleri çevresine göre daha yüksek sıcaklıklara sahipken, gündüzleri ise daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. Geceleri Bursa şehir merkezi ve Kurşunlu mahallesinde yüzey ısı adası belirmektedir. Gündüzleri ise Bursa Ovası ile Yenişehir ve İnegöl ovalarının çalışma sahası içerisinde kalan bölümleri çevrelerine kıyasla daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir. Ovalarda yüzey sıcaklıkları $20-22^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Ancak, Nilüfer OSB, Demirtaş Dumlupınar OSB ve İnegöl Ovası'ndaki kuru tarım arazilerinde sıcaklıklar 24°C 'ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 5. Çalışma sahasının kış mevsimine ait yüzey sıcaklığı eğilim haritası (Mann-Kendall) (2003-2023).

Figure 5. Surface temperature trend map of the study area for the winter season (Mann-Kendall) (2003-2023).

Nisan ayının gecelerinde en düşük yüzey sıcaklıkları Uludağ'da, en yüksek sıcaklıklar ise Uluabat Gölü'nde saptanmıştır (Şekil 6). Diğer aylara benzer şekilde nisan ayı gecelerinde de yerleşme yoğunluğunun en fazla olduğu Bursa şehir merkezinde yüzey ısı adası oluşmaktadır. Gündüzleri ise mart ayına benzer şekilde ovalar çevrelerine kıyasla daha yüksek sıcaklıklara sahiptir. Ancak şehir merkezinde 4 ayrı noktada yüzey ısı adası oluşumu dikkat çekmektedir. Bunların batıdan doğuya sırasıyla; Nilüfer OSB, Demirtaş Dumlupınar OSB, Bursa şehir merkezi ve Ahmet Vefik Paşa OSB olduğu görülmektedir. Bu sahalardan özellikle Nilüfer OSB daha fazla dikkat çekmektedir. Söz konusu sanayi bölgesinde diğer sahalara kıyasla daha kuvvetli bir yüzey ısı adası mevcuttur. Ova tabanının sıcaklığı da hesaba katıldığında yaklaşık 3 km'lik hat boyunca sıcaklığın 8 °C'ye kadar değiştiği anlaşılmaktadır.

İlkbaharın son ayı olan mayıs ayında sıcaklık dağılışları nisan ayına benzemektedir (Şekil 6). Kış ayların da geceleri yüzey sıcaklıklarının -14 °C'ye kadar düştüğü Uludağ'ın zirve kesiminde mayıs ayında sıcaklıklar 0 °C'ye kadar çıkmıştır. Yine gece saatlerinde Bursa şehir merkezi ve Kurşunlu mahallesinde yüzey ısı adası oluşmakta ve sıcaklıklar 12-14 °C arasında değişmektedir. Gündüzleri ise nisan ayına oldukça benzer bir görünüm sunmaktadır. Ovalar çevrelerine kıyasla daha sıcak olmakla beraber daha önce isimleri sayılan 4 saha (Nilüfer OSB, Demirtaş Dumlupınar OSB, Bursa şehir merkezi ve Ahmet Vefik Paşa OSB) daha da yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir. Genel görünüm benzer olmakla birlikte mayıs ayında saha genelinde sıcaklıklar nisan ayına kıyasla yaklaşık 6 °C daha yüksektir.

İlkbahar mevsiminde yüzey sıcaklıklarındaki eğilimler incelendiğinde; mart ayının gündüz ve gece ölçümlerine göre çalışma sahasının büyük çoğunluğunda anlamlı bir sıcaklık değişimi olmadığı görülmektedir (Şekil 7). Yalnızca gündüzleri şehir merkezinin dar bir sahasında anlamlı sıcaklık artışları mevcuttur.

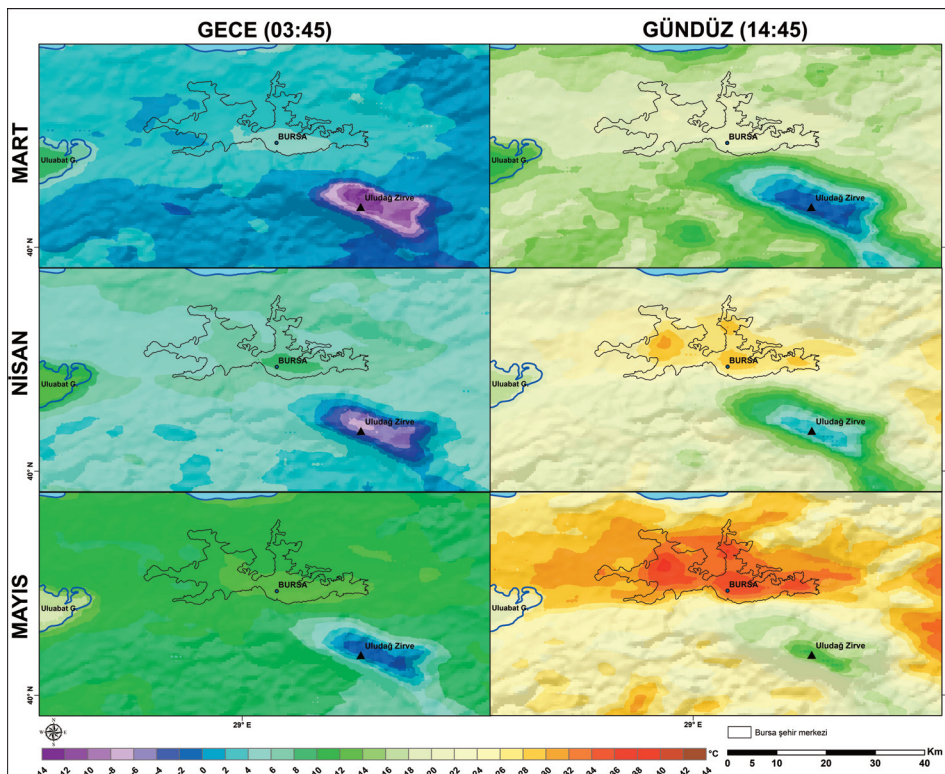
Nisan ayında ise hem gündüz, hem de gece saatlerinde anlamlı sıcaklık değişimlerinin tamamı artış yönündedir (Şekil 7). Ancak gece saatlerindeki sıcaklık artışlarının yüksek sahalarda ve Uluabat Gölü'nde olduğu görülürken gündüz saatlerinde artışlar çoğunlukla şehir merkezinde yoğunlaşmaktadır. Ayrıca gündüzleri sıcaklık artışlarındaki eğilimin anlamlılığı da daha fazladır.

Mayıs ayı yüzey sıcaklıkları ise mart ve nisan aylarına göre oldukça farklıdır (Şekil 7). Gece saatlerinde anlamlı bir sıcaklık eğiliminin olmadığı sahada gündüzleri yüzey sıcaklığı eğilimi azalış yönündedir. Sıcaklık düşüşleri genellikle yüksek sahalarda yoğunlaşsa da yer yer ovalarda da sıcaklık düşüşleri saptanmıştır.

4.3. Yaz Mevsiminde Ortalama Yüzey Sıcaklıklarının Dağılışı ve Eğilimi

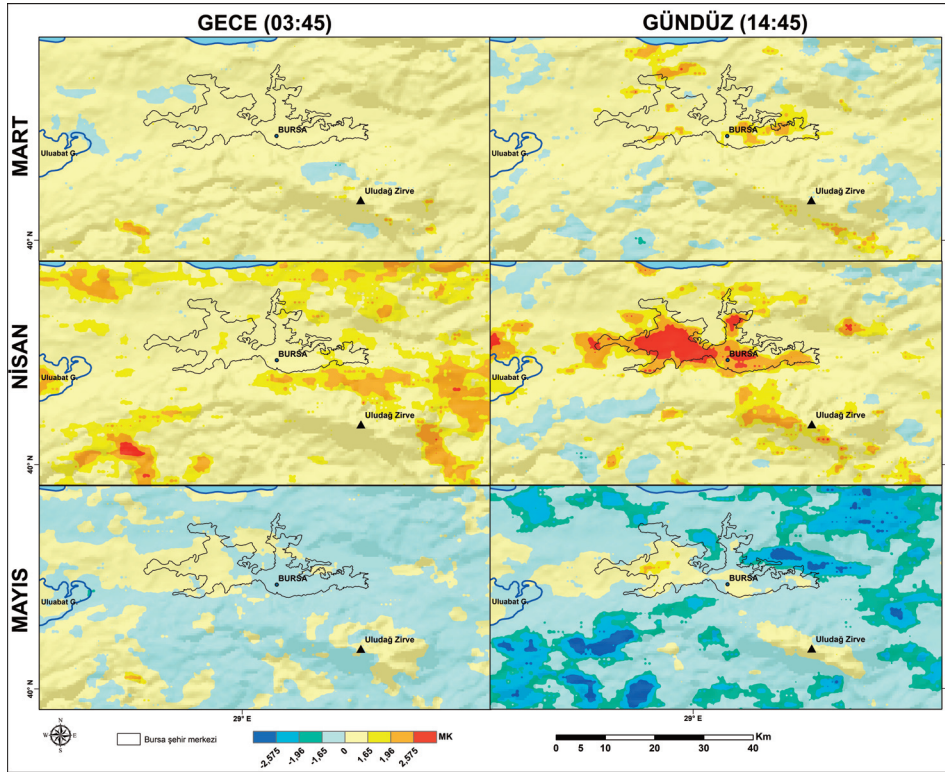
Yaz mevsiminde de çalışma sahasının yüzey sıcaklık dağılışı diğer mevsimlere benzer bir dağılışı göstermektedir (Şekil 8). Haziran ayında en düşük yüzey sıcaklıkları yükselti etkisiyle Uludağ'ın zirve kesiminde belirlenmiştir. Geceleri sıcaklık 2-4 °C, gündüzleri ise 20-22 °C arasında değişmektedir. Uluabat Gölü'nde ise geceleri en yüksek yüzey sıcaklıkları oluşurken, gündüzleri çevresine kıyasla daha düşük yüzey sıcaklıkları oluşmaktadır. Hem gündüz, hem de geceleri yerleşmelerin en yoğun olduğu şehir merkezinde pozitif yüzey ısı adası belirmektedir. Ayrıca gündüzleri yüzey ısı adası daha önceden de bahsedilen OSB alanlarında da (Nilüfer OSB, Demirtaş Dumlupınar OSB ve Ahmet Vefik Paşa OSB) ortaya çıkmakta hatta nisan ve mayısta olduğu gibi bazı alanlarda kuvvetli yüzey ısı adaları belirmektedir. Nilüfer OSB'de oldukça geniş bir alan kaplayan yüzey ısı adasında sıcaklık 42 °C'ye kadar ulaşmaktadır.

Temmuz ayında hem gündüz, hem de gece yüzey sıcaklıkları zirveye ulaşmaktadır (Şekil 8). Geceleri yoğun yerleşme saha-



Şekil 6. Çalışma sahasının ilkbahar mevsimine ait aylık ortalama yüzey sıcaklığı haritası (°C) (2003-2023).

Figure 6. Monthly average surface temperature map of the study area for the spring season (°C) (2003-2023).



Şekil 7. Çalışma sahasının ilkbahar mevsimine ait yüzey sıcaklığı eğilim haritası (Mann-Kendall) (2003-2023).

Figure 7. Surface temperature trend map of the study area for the spring season (Mann-Kendall) (2003-2023).

sında beliren pozitif yüzey ısı adasındaki sıcaklıklar 20-22 °C arasında değişmektedir. Gündüzleri Bursa, Yenişehir ve İnegöl ovaları çevrelerine kıyasla daha sıcaktır ve sıcaklıklar 36 ila 44 °C arasında değişmektedir. Ovalarda özellikle kuru tarım yapılan arazilerde yüzey sıcaklıkları daha yüksektir. Önceki aylarda Nilüfer OSB'de diğer OSB'lere kıyasla daha kuvvetli bir yüzey ısı adasının oluştuğu belirtilmişti. Temmuz ayında ise söz konusu kuvvetli yüzey ısı adasının etki alanı daha da artmaktadır. Şehrin sırtını ysladığı Uludağ'ın eteklerinde sıcaklıklar 32-34 °C arasında seyrederken Nilüfer OSB'de sıcaklıklar 44 °C'ye kadar ulaşmaktadır. Böylelikle çok kısa mesafelerde yüzey sıcaklığı 10 °C'den fazla değişmektedir.

Ağustos ayında ise geceleri Bursa şehir merkezi ve Kurşunlu ile Mudanya arasındaki sahil şeridi boyunca yüzey ısı adası belirmektedir (Şekil 8). Bu sahalarda dışında Bursa Ovası'nda geceleri yüzey sıcaklıkları 18-20 °C arasında seyretnmektedir. Gündüzleri ise ovada sıcaklıklar genel olarak 36 °C'nin üzerinde seyretnmektedir. Bursa Ovası'nın batısında yer alan kuru tarım arazilerinde yüzey sıcaklıkları, ovanın doğusunda yer alan bağ ve bahçelere (Şekil 3) kıyasla daha yüksektir. Gündüz saatlerinde kuru tarım arazilerinin diğer sahalara kıyasla daha hızlı ısınması bu sonucu doğurmaktadır (Çiçek vd., 2013). Önceki aylarda olduğu gibi gündüzleri OSB (Nilüfer OSB, Demirtaş Dumlupınar OSB ve Ahmet Vefik Paşa OSB) sahalarında ve şehir merkezinde yüzey ısı adası oluşmuş ve Nilüfer OSB'de kuvvetli yüzey ısı adası belirmiştir. Ancak söz konusu kuvvetli yüzey ısı adasının etki alanı temmuz ayına göre daralmıştır.

Yaz mevsimine ait yüzey sıcaklıklarındaki eğilimler incelendiğinde; haziran ayı gecelerinde dar bir sahadaki artış dışında anlamlı eğilim görülmemektedir (Şekil 9). Gündüzleri ise şehrsel yerleşimler ve Uluabat Gölü dışında, çalışma alanının büyük bölümde anlamlı sıcaklık azalış eğilimleri söz konusudur.

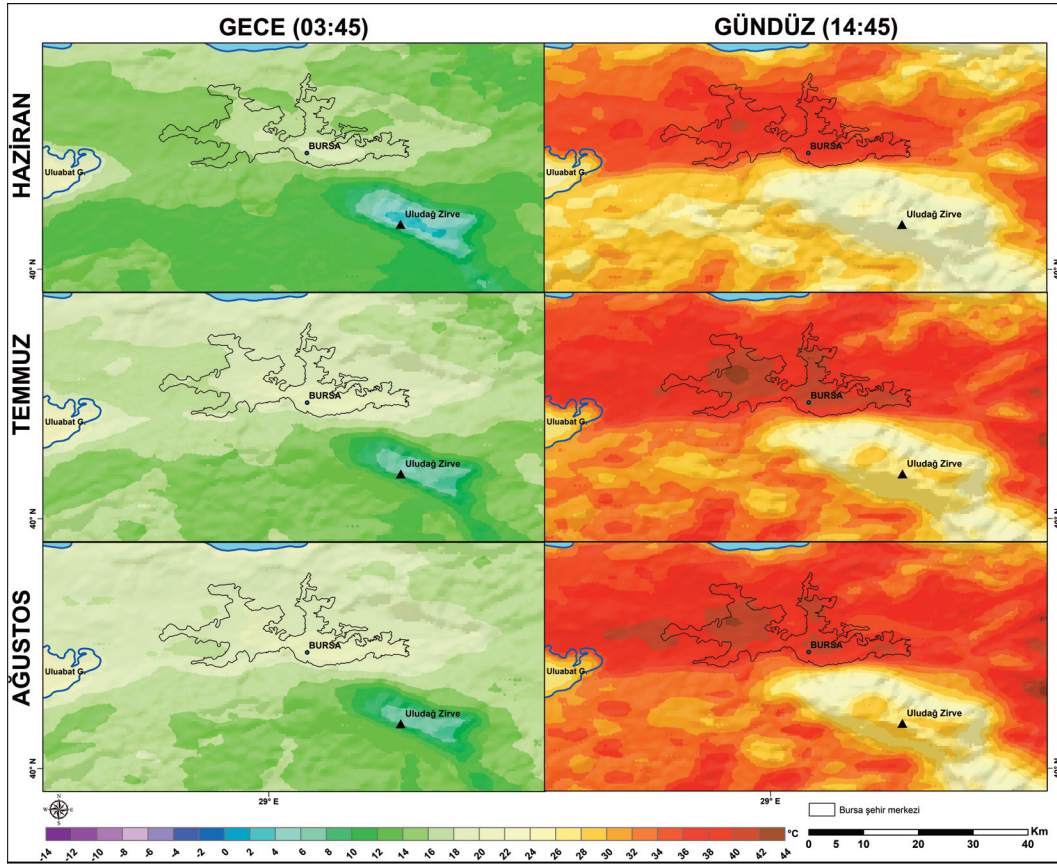
Temmuz ayında ise geceleri yüksek ve ormanlık sahalarda sıcaklık artış eğilimleri varken, aynı sahalarda gündüzleri sıcaklık azalış eğilimleri bulunmaktadır (Şekil 9). Ancak gündüzleri görülen düşüş eğilimleri daha geniş bir sahaya yayılmış durumdadır. Ayrıca hem gece, hem de gündüzleri şehir merkezi ve Nilüfer OSB'nin bulunduğu sahada anlamlı sıcaklık artışları vardır.

Ağustos ayına gelindiğinde geceleri Bursa Ovası'nda ve yer yer ormanlık sahalarda anlamlı sıcaklık artışlarının olduğu belirlenmiştir (Şekil 9). Gündüzleri ise eğilimin yönü çoğunlukla azalış şeklindedir. Bursa Ovası'nı çevreleyen yüksek sahalarda ve İnegöl ile Yenişehir ovalarında sıcaklık düşüş eğilimleri mevcuttur.

4.4. Sonbahar Mevsiminde Ortalama Yüzey Sıcaklıklarının Dağılışı ve Eğilimi

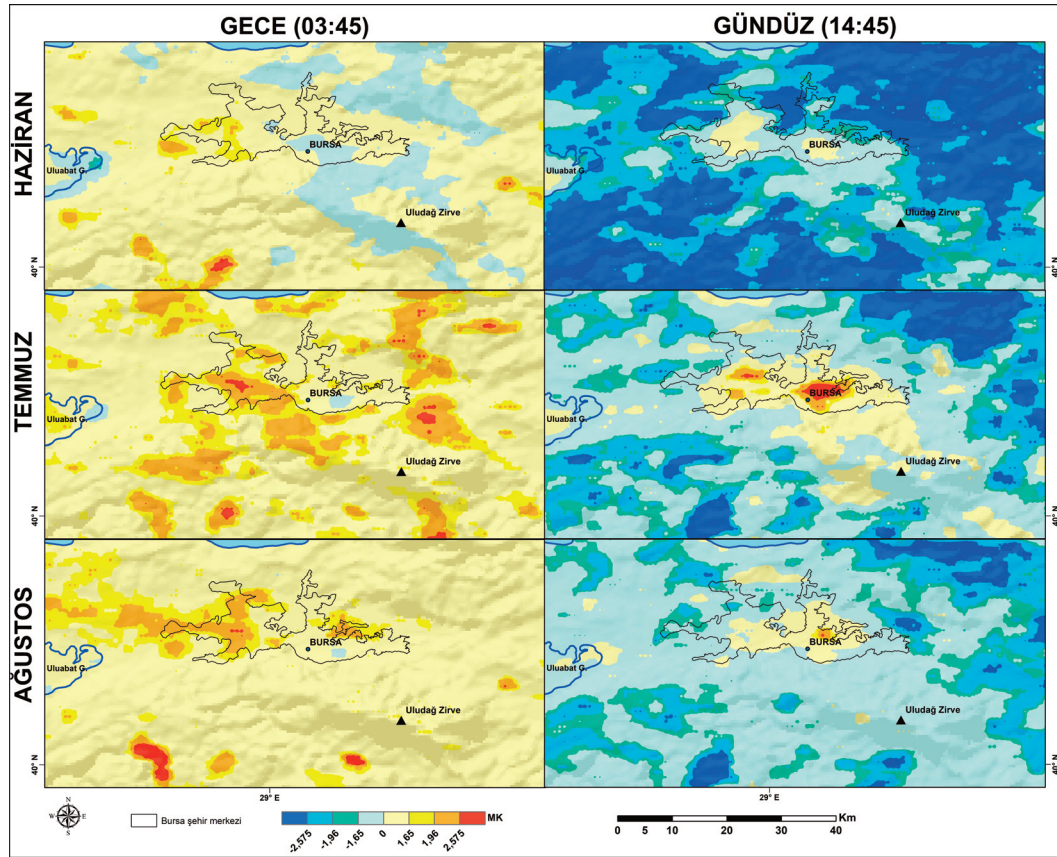
Sonbahar mevsimiyle beraber sıcaklıklar düşmeye başlamaktadır (Şekil 10). En düşük sıcaklıkların görüldüğü Uludağ zirve kesiminde geceleri yüzey sıcaklıkları 2 °C'ye kadar düşmüştür. Geceleri Bursa şehir merkezi ve Kurşunlu ile Mudanya arasındaki sahil şeridi boyunca yüzey ısı adası belirmektedir. Gündüzleri ise ovalarda yüzey sıcaklıkları genellikle 30-36 °C arasında değişirken, Nilüfer OSB, Demirtaş Dumlupınar OSB ve Görükle civarındaki sanayi tesisleri ve taş ocaklarının bulunduğu sahalarda yüzey sıcaklıkları 38 °C'ye kadar çıkmaktadır. Ayrıca Bursa Ovası'nın batı bölümünde yer alan ve İnegöl Ovası'nın inceleme sahası içinde kalan kuru tarım arazileri de çevrelerine kıyasla daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir.

Ekim ayında ise aralık ayına oldukça benzer bir sıcaklık dağılışı görülmektedir (Şekil 10). Bursa şehir merkezi ve Mudanya Tepeleri'nin çevrelerine kıyasla daha yüksek sıcaklıklara sahip olduğu görülürken, Kurşunlu mahallesinin yer aldığı kıyı hattında pozitif yüzey ısı adası belirmektedir. Uludağ zirvede ise uzun



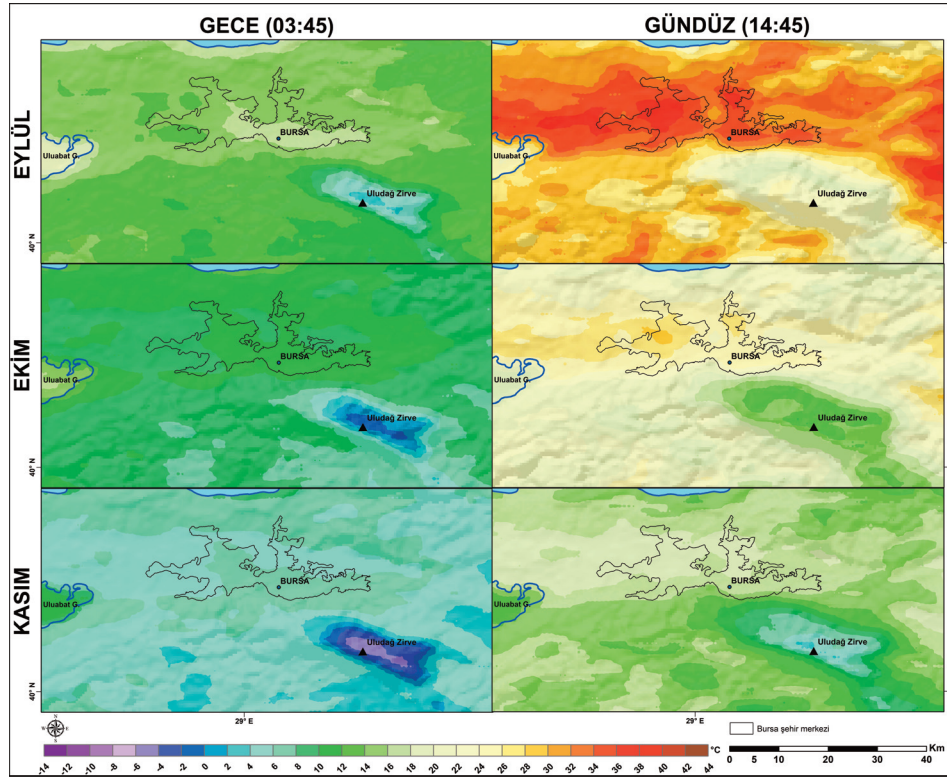
Şekil 8. Çalışma sahasının yaz mevsimine ait aylık ortalama yüzey sıcaklığı haritası ($^{\circ}\text{C}$) (2003-2023).

Figure 8. Monthly average surface temperature map of the study area for the summer season ($^{\circ}\text{C}$) (2003-2023).



Şekil 9. Çalışma sahasının yaz mevsimine ait yüzey sıcaklığı eğilim haritası (Mann-Kendall) (2003-2023).

Figure 9. Surface temperature trend map of the study area for the summer season (Mann-Kendall) (2003-2023).



Şekil 10. Çalışma sahasının sonbahar mevsimine ait aylık ortalama yüzey sıcaklığı haritası (°C) (2003-2023).

Figure 10. Monthly average surface temperature map of the study area for the autumn season (°C) (2003-2023).

süre sonra yüzey sıcaklıkları 0 °C'nin altına düşmektedir. Gündüzleri ise Bursa Ovası çevresine kıyasla daha sıcak olmakla beraber ovada yüzey sıcaklıkları doğudan batıya doğru artmaktadır. Bu sonucun ortaya çıkmasında ovanın doğu bölümünün genellikle bağ ve bahçelerden, batı bölümünün ise kuru tarım arazilerden oluşması etkili olmuştur (Şekil 3). Nilüfer OSB gündüzleri en yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip sahadır ve yüzey sıcaklıkları 28-30 °C arasında değişmektedir.

Kasım ayı gecelerinde de ekim ve aralık ayına benzer bir sıcaklık dağılışı bulunmaktadır (Şekil 10). Uluabat Gölü'nün yüzeyinde en yüksek sıcaklıklar belirlemekte, Kurşunlu mahallesinin yer aldığı kıyı kesimde yüzey ısı adası oluşmakta ve Bursa şehir merkezi ile Mudanya Tepeleri çevrelerine kıyasla daha yüksek sıcaklıklar göstermektedir. Gündüzleri ise ovalarda yüzey sıcaklıkları 16-18 °C arasında değişmekte ve ekim ayında olduğu gibi Bursa Ovası'nda sıcaklıklar doğudan batıya doğru artmaktadır. Daha önce de bahsedildiği üzere bu durumun ortaya çıkmasında ovanın batı kesiminde kuru tarım arazilerinin yer alması ve bu sahaların gündüzleri hızla ısınması etkili olmuştur. Diğer ayların aksine kasım ayında sanayi bölgelerinde yüzey ısı adası belirmemektedir.

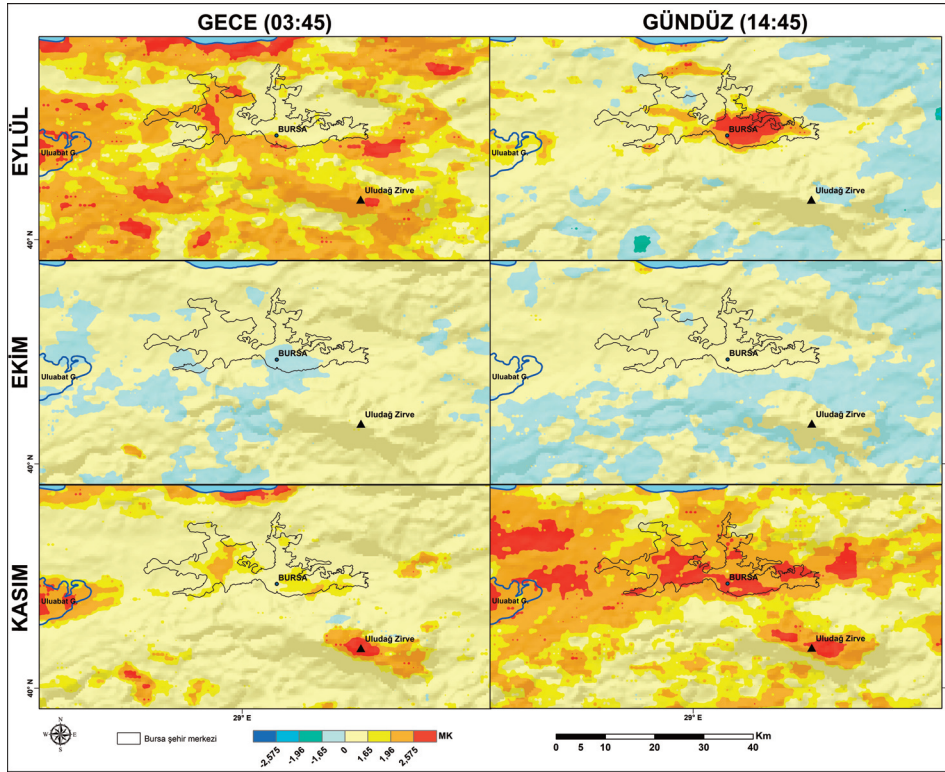
Sonbahar mevsimine ait yüzey sıcaklıklarının eğilimleri incelendiğinde; eylül ayında gündüz ve geceleri eğilimin artış yönünde olduğu görülmektedir (Şekil 11). Geceleri artış eğilimleri çok daha geniş bir sahaya yayılmakta ve Bursa şehrinin batı bölümü, sahil hattı ve Uluabat Gölü ile çevresinde yoğunlaşmaktadır. Gündüzleri ise artış eğilimleri Bursa şehir merkezinin doğu bölümünde yoğunlaşmakta ve genellikle şiddetli anlamda artış görülmektedir.

Ekim ayında ise hem gündüz, hem de gece saatlerinde çok küçük bir sahadaki sıcaklık artış eğilimleri dışında kayda değer herhangi bir anlamlı yüzey sıcaklığı eğilimi bulunmamaktadır (Şekil 12).

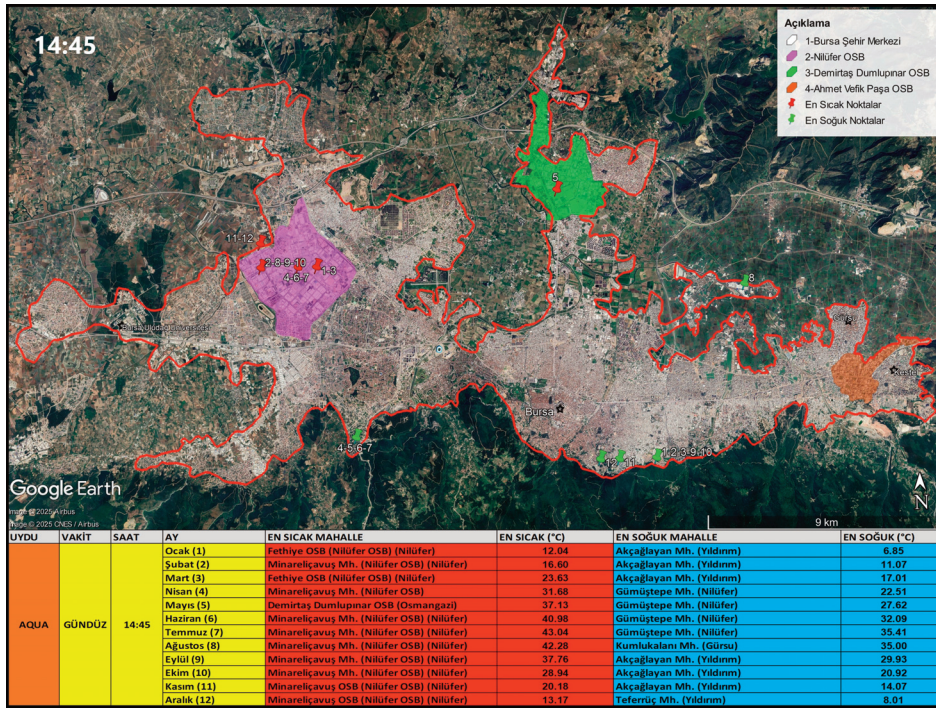
Kasım ayına gelindiğinde hem gündüz, hem de geceleri sıcaklık artış eğilimleri bulunmaktadır (Şekil 12). Geceleri Kurşunlu mahallesi, Uluabat Gölü ve Uludağ zirve kesiminde yüzey sıcaklıklarında artışlar vardır. Gündüzleri ise geceleri artış olan sahalarda yine artış eğilimleri olmakla beraber tüm ovalarda da anlamlı sıcaklık artış eğilimleri bulunmaktadır.

4.5. Bursa Şehir Merkezinde En Sıcak ve En Soğuk Noktalar

Bursa şehir merkezinde gündüz saat 14:45 ölçümüne göre en sıcak noktaların tamamının sanayi bölgelerinin içinde belirdiği görülmektedir (Şekil 12). Mayıs ayı dışındaki tüm aylarda yüzey sıcaklıklarının en yüksek olduğu noktalar Nilüfer OSB'de belirmiştir. Mayıs ayında ise yine şehir merkezinde yer alan bir diğer sanayi bölgesi olan Demirtaş Dumlupınar OSB alanı içinde yer alan Tofaş otomobil fabrikasında en sıcak nokta ortaya çıkmaktadır. En sıcak noktaların belirdiği alanların ortak özellikleri sanayi bölgeleri içinde yer alan ve çatıları alüminyum veya çelik sacdan yapılmış yapılar olmalarıdır. Bu tür malzemelerin özgül ısı, termal iletkenliği ve termal kapasitesi doğal yüzeylerden farklı olduğu için gündüz saatlerinde oldukça hızlı bir şekilde ısı kazanıp oldukça sıcak bir hale gelmektedir (Çiçek vd., 2013; Yılmaz, 2013). Ayrıca sanayi bölgelerindeki antropojenik ısı yayımı da bu sahalarda en sıcak noktaların belirmesinde etkili olmaktadır. Bursa şehir merkezinde en soğuk noktalar ise kentin Uludağ'ın eteğine kurulması nedeniyle şehrin güney kesiminde yükseltilinin artmaya başladığı ayrıca şehirleşme yoğunluğunun daha az ve bitki örtüsünün ise daha yoğun olduğu sahalarda kendini göstermektedir. Örneğin nisan-temmuz ayları arasında en soğuk noktalar Bursa orman okulu civarında ortaya çıkmaktadır. Gündüz saatlerinde en sıcak (Fethiye OSB) ve en soğuk (Akçağlayan Mh.) noktalar arasındaki fark ocak ayında 5,19 °C iken, temmuz ayında en sıcak (Minareliçavuş Mh.) ve en soğuk (Gümüştepe Mh.) noktalar arasındaki sıcaklık farkı 7,63 °C'ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 11. Çalışma sahasının sonbahar mevsimine ait yüzey sıcaklığı eğilim haritası (Mann-Kendall) (2003-2023).
Figure 11. Surface temperature trend map of the study area for the autumn season (Mann-Kendall) (2003-2023).

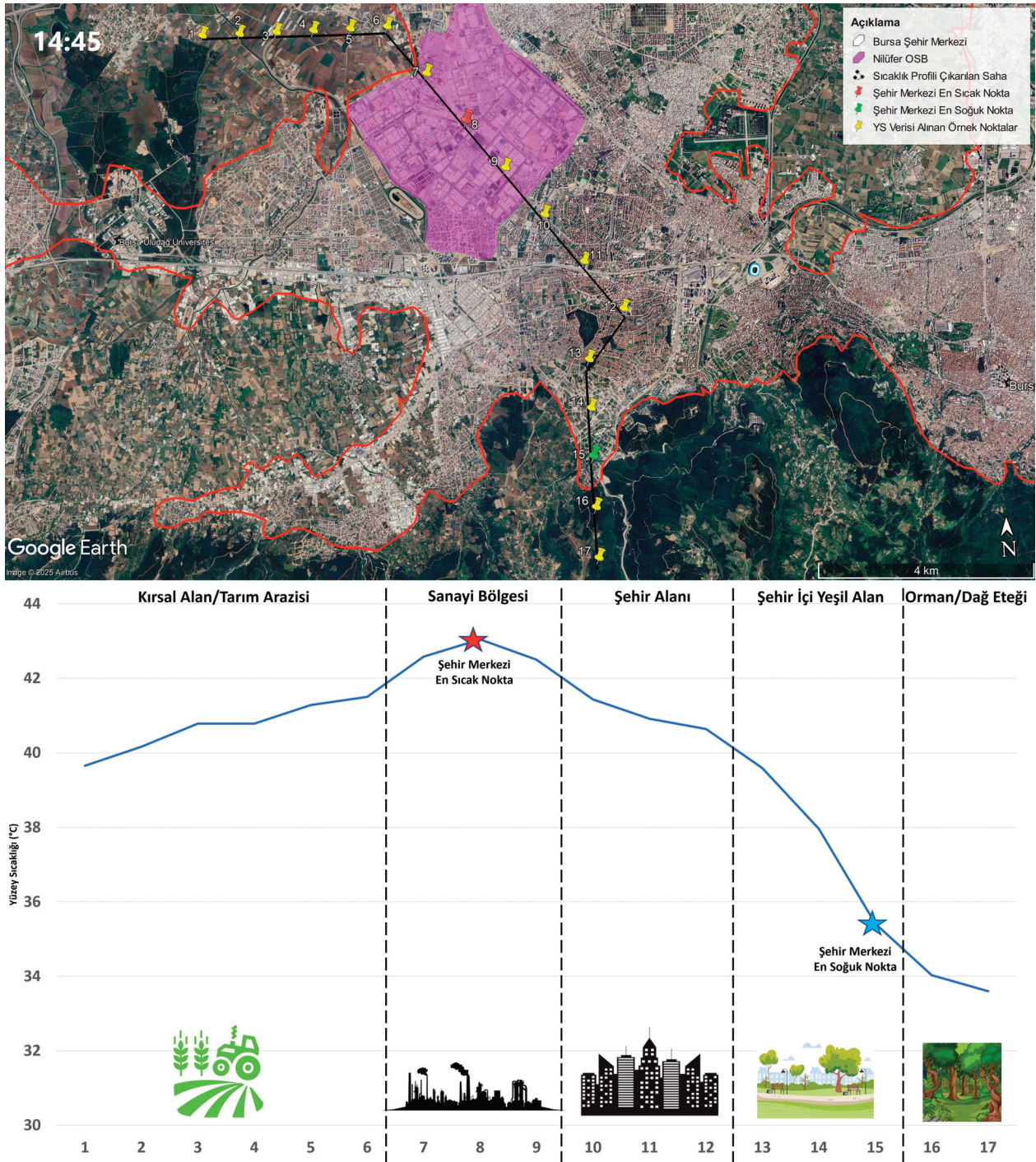


Şekil 12. Saat 14:45 ölçümüne göre Bursa şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktaların dağılımı (Haritadaki sayılar ayları ifade etmektedir).

Figure 12. Distribution of the hottest and coldest spots in Bursa city center according to the measurement at 14:45 (Numbers on the map refer to months).

Gündüz saatlerinde ortaya çıkan yüzey ısı adasının daha iyi anlaşılabilmesi için kırsal ve kentsel alanları içeren bir sıcaklık profili çıkarılmıştır (Şekil 13). Temmuz ayı yüzey sıcaklığı profili incelendiğinde; şehirden en uzakta olan kırsal alandan şehir merkezine yaklaştıkça sıcaklığın kademeli olarak arttığı ve Nilüfer OSB'ye girildiğinde sıcaklıkların zirveye ulaştığı görülmektedir. Gündüzleri yerleşim alanları ile kırsal sahalar yaklaşık

olarak aynı sıcaklıktadır. Yüzey ısı adasının belirgin olarak öne çıktığı saha sanayi bölgeleridir. Şehir içi yeşil alanlarda ise sıcaklıklar çok daha düşük değerleri göstermektedir. Şehir merkezinden sonra Uludağ'ın eteklerine doğru yükseltinin ve orman yoğunluğunun arttığı saha ise en düşük yüzey sıcaklıklarına sahiptir.



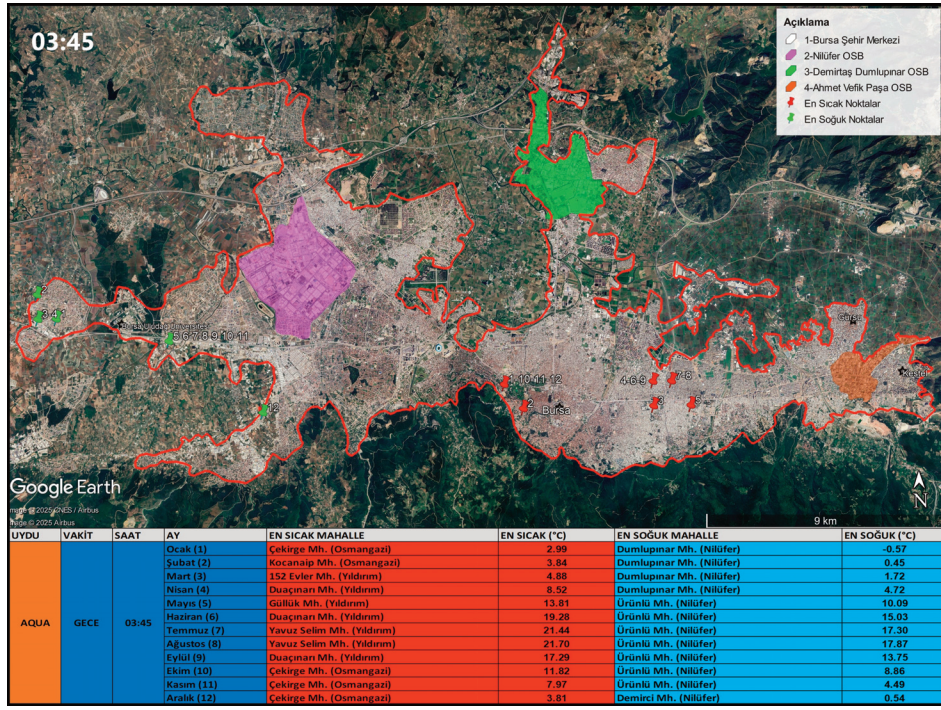
Şekil 13. Saat 14:45 ölçümüne göre seçili noktaların temmuz ayına ait sıcaklık profili.

Figure 13. For July temperature profile of selected points according to 14:45 measurement.

Bursa şehir merkezinde gece saat 03:45 ölçümlerine bakıldığında ise gündüz ölçümüne benzer olmayan bir tablo ortaya çıkmaktadır (Şekil 14). Gündüzleri en sıcak noktalar sanayi bölgeleri içinde belirirken geceleri en sıcak noktaların tamamı yüksek nüfus ve yapı yoğunluğuna sahip Osmangazi ve Yıldırım ilçelerinde belirmektedir. En soğuk noktalar ise şehir merkezinin batı bölümünde nüfusun ve yapı yoğunluğunun daha az olduğu sahada belirmektedir. Geceleri en sıcak (Çekirge Mh.) ve en soğuk (Dumlupınar Mh.) noktalar arasındaki fark ocak ayında 3,56 °C iken, temmuz ayında en sıcak (Yavuz Selim Mh.) ve en soğuk (Ürünü Mh.) noktalar arasındaki sıcaklık farkı 4,14 °C'ye kadar çıkmaktadır.

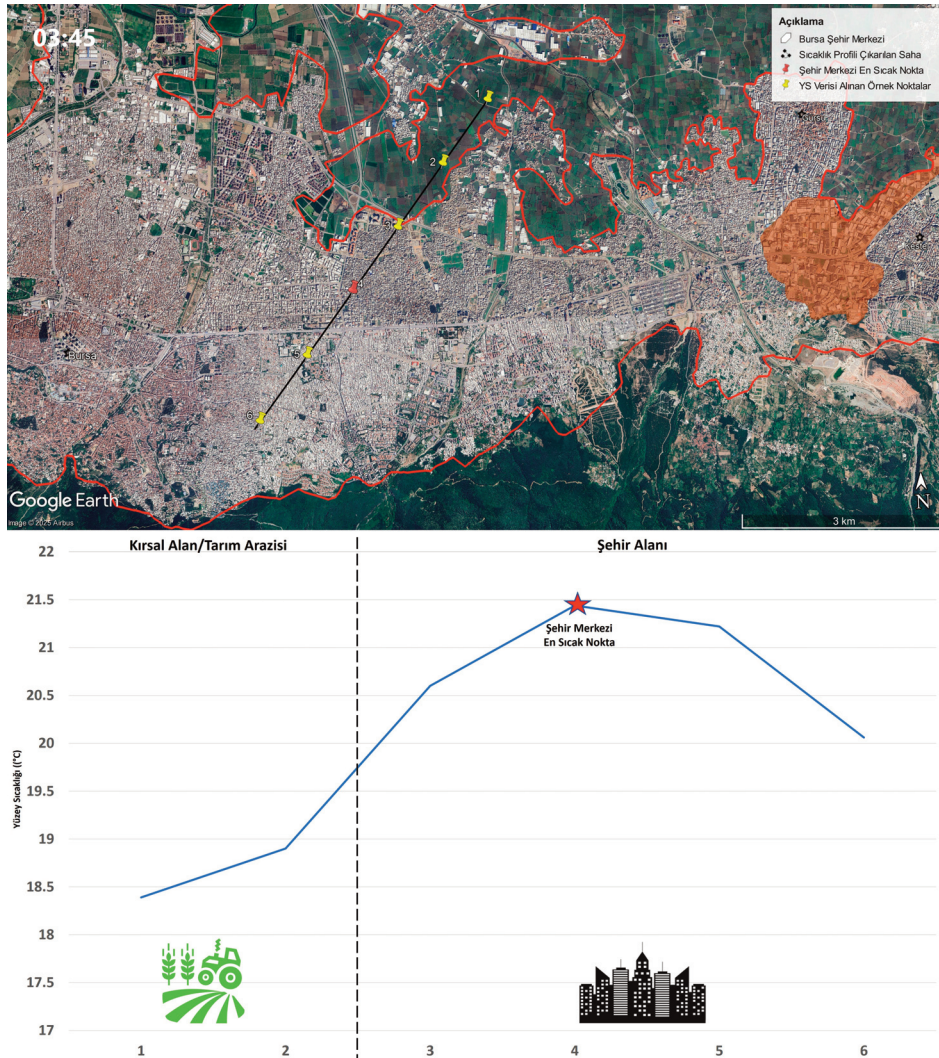
Gece ile gündüzleri yüzey ısı adası oluşumdaki farklılıkların gö-

rülebilmesi için gece 03:45 ölçümüne ve temmuz ayına ait yüzey sıcaklığı profili çıkarılmıştır (Şekil 15). Gündüzleri sanayi bölgeleri belirgin bir pozitif yüzey ısı adası durumundayken, kırsal alanlar ve şehir alanı yaklaşık olarak aynı sıcaklıklara sahiptir. Ancak gece saatlerinde durum tamamen farklıdır. Gündüzleri günün ilk ışıklarıyla hızla ısınmaya başlayan kırsal sahalar güneş battıktan sonra da ısınıyı aynı hızla kaybetmektedir (Yılmaz, 2017b). Ancak geç ısınan şehirsal alanlar gece saatlerinde de ısılarını geç kaybetmekte ve çevrelerine kıyasla daha sıcak bir özellik göstermekte yani pozitif yüzey ısı adası oluşmaktadır. Sıcaklık profilinden de anlaşılacağı üzere geceleri kırsal alanlar ve şehir alanları arasında 2-3 °C'lık bir sıcaklık farkı söz konusudur.



Şekil 14. Saat 03:45 ölçümüne göre Bursa şehir merkezindeki en sıcak ve en soğuk noktaların dağılımı (Haritadaki sayılar ayları ifade etmektedir).

Figure 14. Distribution of the hottest and coldest spots in Bursa city center according to the measurement at 03:45 (Numbers on the map refer to months).



Şekil 15. Saat 03:45 ölçümüne göre seçili noktaların temmuz ayına ait sıcaklık profili.

Figure 15. For July temperature profile of selected points according to 03:45 measurement.

5. Tartışma

Türkiye’de özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerdeki yüzey sıcaklığı değişimi birçok çalışmada farklı uydulara ait veri setleri kullanılarak incelenmiştir (Çiçek vd., 2013; Yılmaz, 2013; Corumluoglu & Asri, 2015; Yavaşlı, 2017; Yılmaz, 2017a; Yavaşlı vd., 2018; Ciğerci, 2021; Aksak vd., 2023; Şenlik & Yılmaz, 2023; Şenlik & Yılmaz, 2024; Ünsal vd., 2024; Yıldız, 2024). Bu çalışmaların genel olarak ortak sonuçlarının, şehrsel yerleşimin yoğun olduğu sahaların ve sanayi sahalarının en yüksek yüzey sıcaklığına sahip sahalar iken, vejetasyonun yoğun olduğu ve yükseltinin fazla olduğu sahalarda ise yüzey sıcaklığının daha düşük olduğudur. Ayrıca birçok çalışmada yoğun yerleşim alanları ile sanayi ve ticaret sahalarını oluşturan yapı malzemelerinin özellikleri üzerinde durulmuştur (Tanrıku, 2006; Yılmaz, 2013; Corumluoglu & Asri, 2015; Ciğerci, 2021; Şenlik & Yılmaz, 2023; Şenlik & Yılmaz, 2024). Bu tür sahaları meydana getiren yapı malzemelerinin genel olarak düşük albedo değerlerine sahip olduğuna ve ayrıca özgül ısı ve ısıyı tutma kabiliyetlerinden ötürü bu sahaların çevrelerine kıyasla daha fazla ısındığına dikkat çekilmiştir. Bazı çalışmalarda ise farklı sulama imkanlarına sahip tarım alanlarında yüzey sıcaklıklarının da farklılık göstereceğine dikkat çekilmiştir (Çiçek vd., 2013). Özellikle kuru tarım arazilerinin gündüzleri hızla ısındığı ve çevrelerine kıyasla daha yüksek sıcaklıklar gösterdiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada önceki çalışmaların sonuçlarını tasdik eden sonuçlara ulaşılmıştır. Özellikle sanayi bölgelerini meydana getiren sahaların ısıyı tutma kabiliyetlerinin önemi görülmüş ve bunun sonucunda kısa mesafelerde sıcaklıkların hızla değiştiği görülmüştür. Diğer çalışmalara benzer şekilde yükseltinin fazla ve orman örtüsünün daha yoğun olduğu sahalarda yüzey sıcaklıklarının daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca bazı mevsimlerde (yaz ve sonbahar) önceki çalışmalara paralel olarak kuru tarım arazilerinin diğer tarım alanlarına kıyasla daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip olduğu da görülmüştür.

Türkiye’de uydu verileriyle yapılan şehir iklimi çalışmalarında üzerinde durulan önemli hususlardan biri de şehirlerin ısı adası özelliği gösterip göstermediğinin belirlenmesi olmuştur. Özellikle step kenti karakterinde olan Ankara, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Konya, Malatya, Mardin ve Şanlıurfa gibi şehirler gündüz saatlerinde negatif ısı adası özelliği gösterdiği belirlenmiştir (Duman Yüksel, 2005; Duman Yüksel ve Yılmaz, 2008; Çiçek vd., 2013; Yılmaz, 2013; Dihkan, 2015; Alkan vd., 2017; Oguz, 2017; Yılmaz 2017a; Doğan, 2023; Ünsal ve Avcı, 2023; Çirkin vd., 2024; Yıldız, 2024). Step sahalarının güneşin doğumuyla beraber hızla ısınması buna karşılık şehirlerin aynı hızla ısınmaması şehirlerin çevrelerine kıyasla daha serin bir karakter sergilemesine sebebiyet vermektedir (Yılmaz, 2017b). Ancak gece saatlerinde durum değişmekte geç ısınan şehirler geç bir şekilde soğudukları için çevrelerindeki kırsal alanlara kıyasla daha sıcak olmakta ve pozitif ısı adası özelliği göstermektedir (Dihkan, 2015; Doğan, 2023; Yıldız, 2024). Bursa şehri hem gündüz hem gece saatlerinde pozitif yüzey ısı adası özelliği gösterse de ısı adaları şehrin farklı yerlerinde farklı karakterler sergilemektedir. Gündüzleri sanayi bölgeleri pozitif yüzey ısı adası iken, kırsal alanlar ile yerleşim alanları (şehrin batı bölümünde) birbirlerine nispeten daha yakın sıcaklıklara sahiptir. Ancak gece saatlerinde yukarıda bahsi geçtiği üzere geç soğuyan şehir, ısı adası oluşumu göstermekte ve çevresindeki kırsal sahadan çok daha sıcak olmaktadır. Şehrin doğu kesimindeki yoğun yerleşim sahaları sıcak dönemde gündüzleri de net bir ısı adası olsa da sanayi bölgeleri kadar kuvvetli bir ısı adası oluşmamaktadır. Gece

ile gündüz arasındaki bu tür farklılıklar yalnızca gündüz ölçümlerini baz alan çalışmalarda görülememektedir. İzmir ve Manisa’yı hem gündüz hem gece verileriyle ele alan çalışmalarda da Bursa’da görülen farklılık görülmektedir (Yılmaz, 2017a; Şenlik ve Yılmaz, 2023, 2024). Çalışmalarda gündüzleri en sıcak sahaların sanayi bölgelerinin olduğu, geceleri ise yoğun yerleşimin bulunduğu sahaların olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca İzmir’i konu olan diğer çalışmalarda da şehir ısı adası oluşumuna dair bulgular elde edilmiştir (Corumluoglu ve Asri, 2015; Yavaşlı, 2017; Kesgin Atak, 2020, Ay, 2024). Sanayisi gelişmiş ve yüksek nüfusa sahip bu 3 şehirde de benzer sonuçların elde edilmesi dikkat çekicidir. Yalnızca bu 3 şehir değil İstanbul, Adana, Antalya, Aydın, Gaziantep, Isparta, Kastamonu, Kocaeli, Mersin, Samsun, Trabzon, Van ve Zonguldak gibi Türkiye’nin birçok önemli kentinde pozitif ısı adası oluşumu belirlenmiştir (Kuşçu Şimşek ve Şengezer, 2012; Kuşçu Şimşek, 2013; Ahmed, 2015; Yılmaz, 2015; Aslan, 2016; Ergene, 2016; Şekertekin ve Marangoz, 2019; Taşdelen, 2019; Akyürek, 2020; Kesgin Atak ve Ersoy Tonyaloğlu, 2020; Doğan, 2021; Orhan, 2021; Aksak vd., 2023; Aslan, 2023; Çevik Değerli, 2023; Doğan, 2023; İnce, 2023; Zeğerek Altunbey, 2023; Kırıcı ve Yılmaz, 2024). Bu tür nüfusu fazla, sanayisi gelişmiş, madencilik faaliyetlerinin fazla olduğu illerde ısı adası oluşumu görülmesi önemli bir konudur. Bu durumla ilgili gerekli tedbirlerin alınması da önemli bir tartışma konusudur.

Tayanç ve Toros (1997)’un çalışmasında 4 şehirde kentsel ve kırsal istasyonlar karşılaştırılarak, şehirleşme ve kentsel ısı adası ilişkisi tartışılmıştır. Bu şehirlerden biri olan Bursa’da da biri kentsel (Bursa) biri kırsal (Bandırma) karakterde olan iki istasyondan yararlanılmıştır. Çalışmada minimum sıcaklıklar ve saat 21:00 sıcaklıklarının frekans dağılımında sıcak tarafa doğru bir kayma olduğu görülmüş ve bu kentsel ısı adası oluşumu olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları ile Tayanç ve Toros (1997)’un çalışması karşılaştırıldığında; atmosferik ısı adası ile yüzey ısı adası arasında zamansal ve büyüklük olarak bazı farklılıklar olduğu anlaşılmaktadır. Atmosferik ısı adası, yüzey ısı adasına kıyasla daha küçüktür. Ayrıca gündüz ve geceler arasında da farklılık vardır. Yüzey ısı adası gündüzleri sanayi bölgelerinde belirirken, atmosferik ısı adası ise yoğun yerleşim alanlarında belirmektedir.

Bursa şehrini konu alan yüzey sıcaklığı ve kentsel ısı adası çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Doğan (2023) çalışmasında MODIS verileriyle Türkiye’nin tamamında yıllara göre yüzey sıcaklığı değişimini incelemiş ve örnek illerden Bursa’nın durumunu da değerlendirmiştir. Çalışmada farklı saatlere ait yıllık ortalamalar kullanılmış ve kentsel sahaların kırsal sahalara kıyasla daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır ancak bu çalışmada yıllık ortalamalardan ziyade Bursa şehrinin aylara ve mevsimlere göre gösterdiği sıcaklıklar ve eğilimler detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Dihkan (2015) ise çalışmasında Landsat ve ASTER verileriyle Türkiye’nin farklı şehirlerinde kentsel ısı adalarını incelemiştir. Örnek alanlardan biri olan Bursa’da kentsel ısı adası belirlenmiş ve yıllara göre kentsel ısı adası şiddetinin arttığı görülmüştür. Bu çalışmada da şehir merkezinde yüzey ısı adaları tespit edilmiştir. Ancak Dihkan (2015)’ın çalışmasında kullanılan veriler çoğunlukla sıcak döneme ait uydu verileri olup bu periyoda yönelik bilgiler sunmaktadır. Bu çalışmada ise Bursa şehrinde hem sıcak, hem de soğuk dönemdeki durum incelenmiş ve ortaya konmuştur.

6. Sonuç

Bursa'nın merkez ilçeleri ve yakın çevresini konu alan bu çalışmada; 2003-2023 yılları arasında MODIS-AQUA uydusunun çalışma sahasından gündüzleri 14:45 ve geceleri 03:45'te topladığı 1 km çözünürlüklü yüzey sıcaklığı verileri kullanılmıştır. Ayrıca 2000 ve 2018 yıllarına ait sadeleştirilmiş CORINE arazi kullanım haritaları oluşturularak arazi kullanımı ile yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Tüm aylarda ve günün her iki ölçüm saatinde de yüzey sıcaklığını etkileyen birinci faktörün yükselti olduğu görülmüştür. Yükseltinin 2543 m'ye ulaştığı Uludağ'ın zirve kesiminde her ayda en düşük yüzey sıcaklıkları belirlenmiştir. Uludağ'ın zirve kesiminde yüzey sıcaklıkları ocak ve şubat aylarında -14 °C'ye kadar düşmektedir. Düşük yükseltiye sahip Bursa Ovası, İnegöl Ovası ve Yenişehir Ovası ise daha yüksek yüzey sıcaklıklarına sahip alanlar olarak karşımıza çıkmıştır.

İnceleme sahasında yüzey sıcaklığını etkileyen ikinci önemli faktör ise arazi örtüsüdür. Çalışma sahasında genellikle şehirsiz yerleşimlerin bulunduğu alanlarda hem gündüz, hem de geceleri pozitif yüzey ısı adası oluşumu tespit edilmiştir. Yüzey ısı adaları geceleri genel olarak şehir yerleşiminin yoğunlaştığı Bursa şehir merkezi ve kıyı hattındaki Kurşunlu mahallesinde kendini göstermektedir. Gündüzleri ise Bursa şehir merkezinde 4 ayrı sahada yüzey ısı adası belirmektedir. Bunlardan biri şehir merkezi diğer üçü ise OSB'lerdir. Nilüfer OSB, Demirtaş Dumlupınar OSB ve Ahmet Vefik Paşa OSB gündüzleri yüzey ısı adası oluşumunun görüldüğü sahalardır. Gündüzleri sanayi bölgelerinde yüzey ısı adalarının belirmesinde söz konusu sahaları meydana getiren yapı malzemelerinin özgül ısı, termal iletkenlik ve ısı tutma kapasitelerinin etkili olduğu anlaşılmıştır.

Yukarıda bahsi geçen sanayi bölgelerindeki yüzey ısı adası etkisinin özellikle ilkbahar ortasından yaz sonuna kadar alanını ve sıcaklığını arttırarak ilerlediği görülmektedir. Özellikle Nilüfer OSB'de gündüzleri diğer OSB'lere kıyasla daha kuvvetli bir yüzey ısı adasının oluşması dikkat çekmektedir. Bunun sonucunda ise çok kısa mesafelerde sıcaklıklar 8-10 °C değişmektedir.

Tarım arazilerinin dağılışı da yüzey sıcaklıklarını etkilemiştir. Bursa Ovası'nın doğu bölümünde genellikle bağ ve bahçeler bulunurken, batı kesiminde genellikle kuru tarım arazileri yer almaktadır. Özellikle yaz ve sonbahar mevsimlerinde ovada yüzey sıcaklıkları doğudan batıya doğru bir artış göstermektedir. Bu sonuçta farklı türdeki tarım alanları etkili olmuştur.

İnceleme sahasında su yüzeylerinin de yüzey sıcaklığı dağılışında önemli bir etkisi vardır. Uluabat Gölü'nün çalışma sahası içerisinde kalan doğu yarısı gündüz ve gece saatlerinde farklı sıcaklık özellikleri göstermiştir. Gece saatlerinde en yüksek yüzey sıcaklıklarının belirlendiği gölde, gündüzleri ova sahalarına kıyasla daha düşük sıcaklıklar belirlenmiştir. Bunda su yüzeylerinin özgül ısısının kara yüzeylerine göre daha yüksek olması sonucunda, diğer yüzeylere göre daha geç ısınıp, geç soğuması etkili olmaktadır. Gölün derin kesimlerinin daha sıcak olması da bu durumu kanıtlamaktadır.

Yüzey sıcaklıklarının Mann-Kendall eğilim analizleri incelendiğinde ise; kış aylarında geceleri genel olarak anlamlı yüzey sıcaklık değişiminin dar bir sahada olduğu ve Uludağ'ın zirve

kesiminde sıcaklık artışlarının olduğu görülmüştür. Kış ayının gündüzlerinde ise genellikle ovalarda anlamlı sıcaklık artış eğilimlerinin olduğu ve özellikle şubat ayında artış eğilimlerinin tüm sahaya yayıldığı görülmüştür.

İlkbahar mevsiminde ise; mart ayında anlamlı sıcaklık değişimleri yaygın değildir. Yalnızca dar bir sahada yüzey sıcaklıklarında artış eğilimleri vardır. Nisan ayında ise hem gündüz, hem de geceleri yüzey sıcaklıklarında artış eğilimleri söz konusudur. Gündüzleri görülen sıcaklık artışları ise genellikle Bursa şehir merkezinde yoğunlaşmaktadır. Mayıs ayında ise genel olarak ovaları çevreleyen yüksek sahalarda anlamlı sıcaklık azalış eğilimleri vardır.

Yaz mevsiminde ise genellikle geceleri sıcaklık artışları, gündüzleri ise sıcaklık azalış eğilimleri vardır. Ancak gündüzleri görülen eğilimler daha geniş alanlara yayılmış durumdadır. Ayrıca gündüzleri çalışma sahasının büyük çoğunluğunda yüzey sıcaklıklarında azalış eğilimi söz konusu iken, Bursa şehir merkezinde sıcaklıklarda artış eğilimleri vardır.

Sonbaharda ise genel olarak sıcaklık artış eğilimleri hakimdir. Yüzey sıcaklıklarındaki artış eğilimleri Bursa Ovası'nda, Uludağ'ın zirve kesiminde, şehir merkezlerinde (Bursa şehir merkezi ve Kurşunlu mahallesi) ve Uluabat Gölü'nde yayılış göstermektedir.

Bursa şehir merkezinde en yüksek ve en düşük yüzey sıcaklıklarına sahip sahalarda incelendiğinde, gündüzleri en sıcak noktalar OSB bölgelerinde, geceleri ise yoğun yerleşim sahalalarında belirmektedir. En soğuk noktalar ise gündüzleri yerleşme yoğunluğunun az, yükselti ve vejetasyonun daha yoğun olduğu şehrin güney kesiminde, geceleri ise düşük yerleşim yoğunluğuna sahip batı bölümünde belirmektedir.

Sonuçta Bursa şehri ve yakın çevresinde yoğun şehirleşmenin ve sanayileşmenin olduğu sahalarda yüksek yüzey sıcaklıkları ve yüzey ısı adaları belirmektedir. Bir zamanlar "Yeşil Bursa" olarak anılan şehir günümüzde "Beton Bursa" olma konusunda emin adımlarla ilerlemekte, bu durumda kentsel iklimde kaçınılmaz bir şekilde değişimlere sebep olmaktadır. Kentsel iklimdeki bu değişimin önüne geçmek için bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Özellikle yüzey ısı adalarının belirdiği OSB'lerin çevrelerine yeşil alan tamponlarının oluşturulması önemlidir. Ayrıca şehirleşmenin yoğun olduğu sahalarda park ve bahçelerin sayısının artırılması, cadde ve sokak boyu ağaçlandırma yaparak gölgeli sokakların oluşturulması, bundan sonra şehirde yapılacak her türlü yapay unsurda (Bina, yol, kaldırım vs.) yansıtma değerinin yüksek ve ısı tutma kapasitesinin düşük olmasına dikkat edilmesi, yapılarda açık renk boyaların kullanılması gibi tedbirler kentsel iklimin daha yaşanabilir bir hale gelmesinde faydalı olacaktır.

MODIS uydu verileri diğer uydulara kıyasla daha düşük mekânsal çözünürlük sunmakla beraber hem gündüz, hem de gece ölçüm yapması bakımından avantaj sağlamaktadır. Böylelikle çalışma sahasının hem gündüz, hem de gece saatlerindeki farklı sıcaklık durumları ortaya koyulmuştur. Ayrıca Türkiye'nin nüfus bakımında 4. büyük şehri olan Bursa'da daha önce şehir iklimatolojisi çalışmaları yapılmakla beraber, bu çalışma da uydu verilerinin kullanımı ile yüzey sıcaklıklarının nasıl dağıldığına yönelik önemli ve güncel bulgular ortaya konulmuştur.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması yaşamadıklarını beyan ederler./The authors declare that they have no conflicting interest.

Etik Kurulu Onayı/ Ethics Committee Approval: Bu çalışma için Etik Kurul Onay Belgesi gerekmemektedir. *Ethics Committee Approval is not required for this study.*

Katkı Belirtme ve Teşekkür/Acknowledgements: Çalışmanın giriş, tartışma ve sonuç bölümleri Y. F. Ş. tarafından hazırlanmıştır. Makalenin yöntem, çalışma alanı ve bulgular bölümleri Y. F. Ş. ve İ. Ç. tarafından hazırlanmıştır./The introduction, discussion and conclusion sections of the study were prepared by Y. F. Ş. Method, study area and findings sections of the article were prepared by Y. F. Ş. and İ. Ç.

Kaynakça

- Abbas, A., He, Q., Jin, L., Li, J., Salam, A., Lu, B., & Yasheng, Y. (2021). Spatio-temporal changes of land surface temperature and the influencing factors in the tarim basin, north-west China. *Remote Sensing*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/rs13193792>
- Acar, D. (2005). *Bursa'da şehirleşmenin yağış ve sıcaklık üzerine etkisi*. (Yayın No. 159751) [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Ahmed, S. O. (2015). *Determining the impact of urban expansion on land surface temperature in Adana-Turkey*. (Yayın No. 395702) [Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Aksak, P., Kartum Öztürk, Ş., & Ünsal, Ö. (2023). Kentsel Isı Adasının İklim Parametreleri ve Uzaktan Algılama Üzerinden İncelenmesi: İstanbul Kenti Örneği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(1), 151-171. <https://doi.org/10.51800/ecd.1266060>
- Akyürek, Ö. (2020). Termal Uzaktan Algılama Görüntüleri ile Yüzey Sıcaklıklarının Belirlenmesi: Kocaeli Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 377-390. <https://doi.org/10.21324/dacd.667594>
- Alkan, A., Adıgüzel, F., & Kaya, E. (2017). The Importance of Green Places in Decreasing the Urban Temperature in Batman. *Journal of Geography*, (34), 62-76. <https://dergi-park.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/30935/310864>
- Ardel, A. (1945). Bursa Ovası ve çevresi (Morfolojik Etüt). *Türk Coğrafya Dergisi*, (7-8), 62-96. <https://doi.org/10.17211/tcd.40049>
- Aslan, N. (2016). *Landsat uydu görüntülerinden kentsel ısı adalarının belirlenmesi: Batı Akdeniz bölgesi örneği*. (Yayın No. 433014) [Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Aslan, N. (2023). *Arazi örtüsü/arazi kullanımı ve arazi yüzey sıcaklıkları ilişkisinin zamansal-mekansal analizi ve gelecek için modellenmesi*. (Yayın No. 842624) [Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Ay, F. (2024). *Assessment of spatial/temporal variability of urban heat island effect: a case study in the central districts of İzmir*. (Yayın No. 872529) [Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü]. YÖK Tez Merkezi.
- Bursa İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (2023). *2023 Konaklama İstatistikleri*. <https://bursa.ktb.gov.tr/Eklenti/120555,2023-konaklama-istatistikleri-aralik-sonupdf.pdf?0>
- Bursa Valiliği (2024). *Zümrüt Yeşil Kar Beyaz Zirvesi: Uludağ*. <http://www.bursa.gov.tr/zumrut-yesil-kar-beyaz-zirvesi-uludag#:~:text=E%C5%9Fsiz%20g%C3%BCzellikleri%2C%20flora%20ve%20faunas%C4%B1n%C4%B1n,ve%20yabanc%C4%B1%20turistlerin%20ilgisini%20%C3%A7ekmektedir.>
- Chen, D., Zhuang, Q., Zhu, L., & Zhang, W. (2022). Comparison of Methods for Reconstructing MODIS Land Surface Temperature under Cloudy Conditions. *Applied Sciences*, 12(12), 6068. <https://doi.org/10.3390/app12126068>
- Çiğerci, H. (2021). *Yer Yüzey Sıcaklığının Uzaktan Algılama Verileri ve Mekansal İstatistik Yöntemleri ile Analizi: İstanbul Örneği*. (Yayın No. 666428) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Corumluoglu, O., & Asri, I. (2015). The effect of urban heat island on İzmir's city ecosystem and climate. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3202-3211. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2874-z>
- Çalışkan, O., Türkoğlu, N., & Matzarakis, A. (2013). The effects of elevation on thermal bioclimatic conditions in Uludağ (Turkey). *Atmosfera*, 26(1), 45-57. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(13\)71061-0](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(13)71061-0)
- Çevik Değerli, B. (2023). *Kentsel peyzaj planlamada ısı adası oluşumunun uzaktan algılama yönetimi ile analizi; Samsun örneği*. (Yayın No. 793692) [Doktora Tezi, Kastamonu Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Çiçek, İ., Yılmaz, E., Türkoğlu, N., & Çalışkan, O. (2013). Ankara şehrinde yüzey sıcaklıklarının arazi örtüsüne göre mevsimsel değişimi. *International Journal of Human Sciences*, 10(1), 621-640. <https://www.j-humansciences.com/ojs/index.php/ijhs/article/view/2466>
- Çirkin, D. A., Yılmaz, E., & Özcanlı, M. (2024). Şanlıurfa Şehir Isı Adası'nın Zamansal ve Mekânsal Özellikleri. *Van İnsani ve Sosyal Bilimler Dergisi*, (7), 66-95. <https://doi.org/10.62068/vis-bid.1481455>
- Çolak, E., & Sunar, F. (2018, 18-21 Eylül). *Yüzey sıcaklığı ve spektral yanma indekslerinin orman yangın analizinde kullanımı* [Konferans sunumu]. ESTÜ. UZAL-CBS (Dü.), VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, Eskişehir, Türkiye. http://uzalCBS.org/wp-content/uploads/bildiriler/2018/2018_6119.pdf
- Çolak, A. (2019). *Osmangazi'nin (Bursa) iklimi ve çevresel etkileri*. (Yayın No. 566208) [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Dihkan, M. (2015). *Kentsel ısı adalarının (KIA) uydu görüntüleri ile konumsal olarak modellenmesi*. (Yayın No. 392318) [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Doğan, T. (2021). *Kentsel ısı adalarının uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmesi: Samsun ili örneği*. (Yayın No. 690533) [Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Doğan, İ. (2023). *Türkiye'de yüzey sıcaklıkları ile çeşitli indislerden elde edilen fenolojik aktivitenin kırsal ve kentsel alanlardaki durumunun incelenmesi*. (Yayın No. 817328) [Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Doğaner, M. S. (2017). *Türkiye kıyı bölgeleri*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi.
- Duman, C. (2017). *Bursa kenti'nin hava kalitesini etkileyen coğrafi faktörler ve kirleticilerin zaman içerisindeki değişimi*. (Yayın No. 476818) [Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.

- Duman Yüksel, Ü. (2005). *Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi Üzerinde Bir Araştırma*. (Yayın No. 197482) [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Duman Yüksel, Ü., & Yılmaz, O. (2008). 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), 937-952. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6678/88558>
- Ergene, E. M. (2016). *Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak yeryüzü sıcaklıklarının uzaktan algılama tekniği ile belirlenmesi: İstanbul örneği*. (Yayın No. 445028) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Erken, K., Atanur, G., & Akin Tanrıöver, A. (2019). Bursa florasının doğa turizmi potansiyeli. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 20(1), 92-101. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.487365>
- Erol, O. (2014). *Genel klimatoloji*. Çantay Kitapevi.
- Guo, D., Wang, C., Zang, S., Hua, J., Lv, Z., & Lin, Y. (2021). Gap-filling of 8-day terra MODIS daytime land surface temperature in high-latitude cold region with generalized additive models (GAM). *Remote Sensing*, 13(18), 3667-3685. <https://doi.org/10.3390/rs13183667>
- Hammerle, M., Gal, T., Unger, J., & Matzarakis, A. (2011). Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations. *Theoretical and Applied Climatology*, 105, 521-527. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0402-3>
- Howard, L. (1818). *The climate of London*. SATTAL.
- Ince, A. (2023). *Kentsel ısı adası oluşumu; Trabzon Ortahisar örneği*. (Yayın No. 837371) [Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Kesgin Atak, B. (2020). Analysing the relationships between land use/land cover and urban land surface temperature using regression tree in İzmir. *International Journal of Geography and Geography Education*, (41), 280-291. <https://doi.org/10.32003/igge.632841>
- Kesgin Atak, B., & Ersoy Tonyaloğlu, E. (2020). Alan kullanım/arazi örtüsü ve bitki örtüsündeki değişimin arazi yüzey sıcaklığına etkisinin değerlendirilmesi: Aydın ili örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 21(4), 489-497. <https://doi.org/10.18182/tjf.786827>
- Keskin, E. B., Sağocak, M., & Vural Arslan, T. (2015). Kentlilik bilinci çalışmaları için bir model önerisi: Bursa'da kentlilik bilinci araştırması. *Paradoks Ekonomi Sosyoloji ve Politika Dergisi*, 11(1), 21-43. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/paradoks/issue/16348/171207>
- Kırcı, B., & Yılmaz, E. (2024). Kastamonu şehri yakın çevresinde aylık ve günlük yüzey sıcaklık değişimleri. *Kastamonu İnsan ve Toplum Dergisi*, 2(4), 187-222. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13902427>
- Kidder, S. Q., & Vonder Haar, T. H. (1995). *Satellite Meteorology: An Introduction*. Academic Press.
- Koca, Y. K., Doran, İ., & Kılıç, T. (2008, 16-17 Ekim). *Arazi Sınıflandırma Yöntemi Corine'e Eleştirel Bir Yaklaşım* [Konferans sunumu]. TÜCAUM V. Ulusal Coğrafya Sempozyumu, Ankara, Türkiye. https://tucaum.ankara.edu.tr/wp-content/uploads/sites/280/2015/08/semp5_8.pdf
- Kuşçu Şimşek, Ç. (2013). *İstanbul'da kentsel iklim üzerine antropojenik etkiler: kent ısı adalarının incelenmesi*. (Yayın No. 329656) [Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Kuşçu Şimşek, Ç., & Şengezer, B. (2012). İstanbul Metropolen Alanında Kentsel Isınmanın Azaltılmasında Yeşil Alanların Önemi. *Megaron*, 7(2), 116-128. <https://research.ebsco.com/c/fqb72i/search/details/v77vjslumb?db=obo>
- Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate*. Academic Press.
- Lata, R., & Ghosh, S. (2022). Assessing the impact of spatio-temporal land cover changes on land surface temperature using satellite data in Beas Valley, Himachal Pradesh, India. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 986(1), 1-15. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012050>
- Li, F., Jackson, T. J., Kustas, W. P., Schmugge, T. J., French, A. N., Cosh, M. H., & Bindlish, R. (2004). Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMA-CEX. *Remote Sensing of Environment*, 92(4), 521-534. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.018>
- Li, S., Wang, J., Li, D., Ran, Z., & Yang, B. (2021). Evaluation of landsat 8-like land surface temperature by fusing Landsat 8 and Modis land surface temperature product. *Processes*, 9(12), 2262-2279. <https://doi.org/10.3390/pr9122262>
- Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- Matson, M., McClain, E. P., McGinnis Jr, D. F., & Pritchard J. A. (1978). Satellite detection of urban heat islands. *Monthly Weather Review*, 106 (12), 1725-1734. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1978\)106<1725:SDOUHI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1978)106<1725:SDOUHI>2.0.CO;2)
- Moradi, M., & Görer Tamer, N. (2017). Bursa örneğinde kentsel büyümenin yerel iklim değişikliği üzerine etkisi. *Planning*, 27 (1), 26-37. <https://dx.doi.org/10.14744/planlama.2017.38039>
- NASA/Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System (2024). *Orbit Tracks and Overpass Times*. https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/viewdata/#!Sentinel_2B_Orbit_Dsc;@31.2,38.4,6.4z
- NESDIS (2021). *Celebrating 60 Years of the World's First Weather Satellite*, 23.11.2024 tarihinde <https://www.nesdis.noaa.gov/news/celebrating-60-years-of-the-worlds-first-weather-satellite#:~:text=On%20April%201%2C%201960%2C%20the,world's%20first%20successful%20meteorological%20satellite.&text=Nearly%2063%20years%20ago%2C%20on,placed%20in%20orbit%20around%20Earth> adresinden erişilmiştir.
- Oguz, H. (2017). Landsat 8 uydu görüntüsünden otomatik yer yüzey sıcaklığı eldesi: Diyarbakır-Türkiye örneği. *Turkish Journal of Forest Science*, 1(1), 33-43. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.296845>
- Oguz, H., Doygun, N., Kisakurek, S., & Ozcalik, M. (2019). Calculating surface temperature of İzmir, Turkey. *Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts*, 1(2), 36-46. <https://dergipark.org.tr/en/pub/artgrid/issue/51326/664786>
- Orhan, O. (2021). Mersin ilindeki Kentsel Büyümenin Yer Yüzey Sıcaklığı Üzerine Etkisinin Araştırılması. *Geomatik*, 6(1), 69-76. <https://doi.org/10.29128/geomatik.679858>

- Ovalle, A. G. C., Tristan, A. C., Amador-Nieto, J. A., Putri, R. F., & Zahra, R. A. (2021). Analysing the land use/land cover influence on land surface temperature in San Luis Potosí Basin, México using remote sensing techniques. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 686(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/686/1/012029>
- Öztürk, M. Z. (2014). Uludağ (Zirve) ve Bursa meteoroloji istasyonlarının karşılaştırmalı iklimi. *Türk Coğrafya Dergisi* (55), 13-24. <https://doi.org/10.17211/tcd.04477>
- Prata, A. J., V. Casellescoll, C., Sobrino, J. A., & Otle, C. (1995). Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: current status and future prospects. *Remote Sensing Reviews*, 12(3–4), 175–224. <https://doi.org/10.1080/02757259509532285>
- Rao, P. K. (1972). Remote Sensing of Urban Heat Islands from an Environmental Satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 53, 647-648.
- Rehman, A., Qin, J., Pervez, A., Khan, M. S., Ullah, S., Ahmad, K., & Rehman, N. U. (2022). Land-Use/Land Cover Changes Contribute to Land Surface Temperature: A Case Study of the Upper Indus Basin of Pakistan. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020934>
- Renou, E. (1868). Differences de temperature entre la ville et la campagne'. *Annuaire Societe Meeorologie de France*, 3, 83-97.
- Sertel, E., & Örmeci, C. (2009, 11-15 Mayıs). *Uzaktan algılama verilerinin iklim biliminde kullanım olanakları* [Konferans sunumu]. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye. https://obs.hkmo.org.tr/show-media/resimler/ekler/a0f19df72fef049_ek.pdf
- Şekertekin, A., & Marangoz, A. M. (2019). Zonguldak Metropolitan Alanındaki Arazi Kullanımı Arazi Örtüsünün Yer Yüzey Sıcaklığına Etkisi. *Geomatik*, 4(2), 101-111. <https://doi.org/10.29128/geomatik.497051>
- Şenlik, Y. F., & Yılmaz, E. (2023). MODIS Verilerine göre İzmir ve Manisa Şehirleri ve Çevresinde Yüzey Sıcaklık Dağılışı ve Eğilimleri. *Ege Coğrafya Dergisi*, 32(1), 51-68. <https://doi.org/10.51800/ecd.1223028>
- Şenlik, Y. F., & Yılmaz, E. (2024). İzmir ve Manisa şehirlerinde en sıcak ve en soğuk noktaların dağılışı ile arazi kullanımı arasındaki ilişkiler. *Türk Coğrafya Dergisi*, 86, 45-56. <https://doi.org/10.17211/tcd.1488891>
- Tan, W., Wei, C., Lu, Y., & Xue, D. (2021). Reconstruction of all-weather daytime and nighttime MODIS aqua-terra land surface temperature products using an XGboost approach. *Remote Sensing*, 13(22), 4723–4749. <https://doi.org/10.3390/rs13224723>
- Tanrikulu, M. (2006). *İzmir'de Şehirleşmenin Sıcaklık ve Yağış Üzerine Etkisi*. (Yayın No. 186947) [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Taşdelen, Ö. (2019). *Yer yüzey sıcaklık haritalarının yerel ve ülke ölçeğinde zamansal ve mekânsal olarak uzaktan algılama ile tespiti*. (Yayın No. 546429) [Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Tayanç, M., & Toros, H. (1997). Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey. *Climatic Change*, 35, 501-524. <https://doi.org/10.1023/A:1005357915441>
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2015). *CORINE Nedir?* <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/nedir.html>
- TÜİK (2024). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları*. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- Uludağ Üniversitesi (2024). *Bursa Uludağ Üniversitesi Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı 2024-2025 Mevcut Öğrenci Sayıları*. https://uludag.edu.tr/dosyalar/oidb/2024_2025_mevcut_ogrenci_sayilari.pdf
- Urban, M., Eberle, J., Hüttich, C., Schmullius, C., & Herold, M. (2013). Comparison of satellite-derived land surface temperature and air temperature from meteorological stations on the pan-arctic scale. *Remote Sensing*, 5(5), 2348-2367. <https://doi.org/10.3390/rs5052348>
- Ünsal, Ö., Aksak, P., & Kartum, Ş. (2024). Investigation of Surface Urban Heat Island by High-Rise Buildings: Istanbul Levent Region. *Papers in Applied Geography*, 10(4), 376-392. <https://doi.org/10.1080/23754931.2024.2393171>
- Ünsal, Ö., & Avcı, V. (2023). Yer Yüzeyi Sıcaklıkları ile Kentsel Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi: Şanlıurfa, Diyarbakır ve Mardin Örneği. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 4(2), 125-150. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1195902>
- Vardar, N. (1993). *Bursa'daki hava kirliliğinin matematik modelle incelenmesi*. (Yayın No. 28531) [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Wark, D. Q., Yamamoto, G., & Lienesch, J. H. (1962). Methods of estimating infrared flux and surface temperature from meteorological satellites. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 19 (5), 369-384. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1962\)019<0369:MOEIFA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1962)019<0369:MOEIFA>2.0.CO;2)
- World Bank (2024). *Urban population (% of total population)*. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?vi ew=map>
- Yang, Y., & Lee, X. (2022). A Scale-Separating Framework for Fusing Satellite Land Surface Temperature Products. *Remote Sensing*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/rs14040983>
- Yavaşlı, D. D. (2017). Spatio-Temporal Trends of Urban Heat Island and Surface Temperature in İzmir, Turkey. *American Journal of Remote Sensing*, 5(3), 24–29. <https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20170503.11>
- Yavaşlı, D. D., Ölgün, K., & Zoğal, V. (2018). Are summer resorts cooler in summer? A case study of İzmir province. *Aegean Geographical Journal*, 27(2), 127–134. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ecd/issue/41304/499202>
- Yıldız, S. (2024). *MODIS uydu verileri ile Ankara yüzey ısı adası ve bulutluluk oranlarının incelenmesi*. (Yayın No. 871627) [Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Yılmaz, E. (2013). *Ankara Şehrinde Isı Adası Oluşumu*. (Yayın No. 336553) [Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Yılmaz, E. (2015). Landsat görüntüleri ile Adana yüzey ısı adası. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(2), 115-138. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000167
- Yılmaz, E. (2017a). Türkiye'nin bazı şehirlerindeki ısı adası özellikleri. İçinde F. Arslan (Ed.), *Türkiye coğrafyası araştırmaları-Prof. Dr. Mesut Elibüyük'e armağan* (ss. 177–204). PEGEM Akademi.
- Yılmaz E. (2017b, 8-10 Kasım). *Türkiye şehirlerinde ısı adası karakterleri* [Konferans sunumu]. Türk Coğrafya Kurumu 75. Yıl Uluslararası Kongresi, Ankara, Türkiye.
- Zeğerek Altunbey, P. (2023). *Kentsel yeşil alanlarda alan büyüklüğü, bitki örtüsü ve yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkilerin belirlenmesi: Antalya kenti örneği*. (Yayın No. 847551) [Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.