

## UZAKTAN ALGILAMA TABANLI ARAZİ YÜZEY SICAKLIĞI ANALİZİ: SİVAS KENTİ ÖRNEĞİ

Burcu Çirci Selçuk<sup>1\*</sup>, Sefa Furkan Selçuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mimarlık Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Sivas

<sup>2</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Artvin

### Özet

Hızla artan kentleşme, doğal yüzey örtüsünün azalması ve geçirimsiz yüzeylerin yaygınlaşması, kentsel ısı adası (KIA) etkisinin kent merkezlerinde daha belirgin hale gelmesine yol açmaktadır. Bu çalışmada, Sivas ili mücavir alan sınırlarında 2014, 2019 ve 2024 yıllarına ait Landsat 8 uydu verileri kullanılarak Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) ve bitki örtüsü yoğunluğunun zamansal ve mekânsal değişimleri analiz edilmiştir. Bitki örtüsü yoğunluğunu belirlemek için Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), sıcaklıkların hesaplanmasında ise çok zamanlı termal bantlar kullanılmıştır. Bulgular, 2014 yılında seyrek bitki örtüsünün baskın olduğunu ve 35–40 °C sıcaklık aralığının geniş alanlarda görüldüğünü ortaya koymaktadır. 2019 yılında geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla 40–45 °C sıcaklık bandındaki alanların iki kattan fazla büyümesi, KIA etkisinin zirveye ulaştığını göstermiştir. 2024 yılına gelindiğinde ise orta ve yoğun bitki örtüsündeki artış sayesinde ortalama sıcaklık 34.05 °C'den 27.45 °C'ye düşmüş, aşırı sıcaklık alanları daralmıştır. Sonuçlar, NDVI ile AYS arasındaki ters yönlü ilişkiyi doğrulamakta ve Sivas için sürdürülebilir kent planlamasında yeşil alanların kritik rolünü vurgulamaktadır.

**Anahtar sözcükler / Keywords:** Kentsel ısı adası, arazi yüzey sıcaklığı, uzaktan algılama, Sivas, coğrafi bilgi sistemleri

## REMOTE SENSING -BASED LAND SURFACE TEMPERATURE ANALYSIS: THE CASE OF SIVAS CITY

### Abstract

Rapidly increasing urbanization, decreasing natural surface cover and the proliferation of impermeable surfaces cause the urban heat island (UHI) effect to become more pronounced in urban centers. In this study, the temporal and spatial variations of Land Surface Temperature (LST) and vegetation density were analyzed using Landsat 8 satellite data from 2014, 2019 and 2024 in Sivas province. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used to determine vegetation density and multi-temporal thermal bands were used to calculate temperatures. The findings reveal that in 2014, sparse vegetation was dominant and the temperature range of 35-40 °C was observed over large areas. In 2019, with the increase in impervious surfaces, areas in the 40-45 °C temperature band more than doubled, indicating that the UHI effect reached its peak. By 2024, the average temperature decreases from 34.05 °C to 27.45 °C, thanks to the increase in medium and dense vegetation cover, and the areas of extreme temperature shrink. The results confirm the inverse relationship between NDVI and LST and emphasize the critical role of green spaces in sustainable urban planning for Sivas.

**Keywords / Anahtar sözcükler:** Urban heat island, land surface temperature, remote sensing, Sivas, geographic information systems

## 1. Introduction / Giriş

Son yıllarda iklim değişikliği, hızlı kentleşme ve doğal yüzey örtüsünün azalması, şehirlerde çevresel sorunların artmasına neden olmaktadır. Bu sorunlardan biri olan kentsel ısı adası (KIA) etkisi, kent merkezlerinde sıcaklıkların kırsal çevreye oranla daha yüksek seyretmesiyle karakterize edilmekte ve enerji tüketimi, insan sağlığı, termal konfor ile ekosistem işleyişi üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. Bu kapsamda, uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), geniş alanlarda Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) değişimlerini izlemek için güçlü araçlar sunmakta; özellikle Landsat uydu görüntüleri zamansal analizler için önemli bir veri kaynağı oluşturmaktadır. NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) gibi bitki örtüsü indeksleriyle birlikte kullanıldığında ise kentleşmenin ekolojik etkilerini değerlendirmek mümkün olmaktadır.

Kentleşme süreciyle birlikte yoğun yerleşim alanlarında sıcaklık değerleri, çevresindeki kırsal bölgelerden daha yüksek seviyelerde gözlenmektedir. Bunun temel nedeni, kentlerde kullanılan yapı malzemeleri, asfalt ve beton yollar, çatı kaplamaları ve kaldırımların, doğal yüzeylere kıyasla güneşten gelen enerjiyi daha fazla soğurarak bünyelerinde depolamalarıdır. Bu birikmiş enerji zamanla atmosfere geri yayılmakta ve kentsel alanlarda sıcaklığın artmasına neden olmaktadır. Söz konusu olgu, literatürde "Kentsel Isı Adası" olarak adlandırılmaktadır (Gerçek ve Bayraktar, 2014). Kentsel klimatoloji çalışmalarında yüzey sıcaklığı, bu sürecin anlaşılması açısından kritik bir göstergedir; çünkü yüzey sıcaklığı, atmosferin alt katmanlarındaki hava sıcaklığını doğrudan etkilemektedir (Elgendy vd., 2025). Özellikle

yüksek katlı yapıların ve dar sokakların oluşturduğu kent kanyonları, güneş enerjisinin daha fazla depolanmasına yol açmakta ve ısı adası etkisini kuvvetlendirmektedir. Bu durum şehirlerin çevrelerine kıyasla farklı mikroklimatik özellikler sergilemesine neden olmaktadır (Yılmaz, 2015; Saka ve Atmaca, 2023).

Bu çerçevede kentsel ısı adası etkisinin anlaşılmasında AYS temel bir gösterge olarak öne çıkmaktadır. AYS'nin zamansal ve mekânsal dağılımının ortaya konulması, uzaktan algılama verileri ve CBS teknikleri sayesinde mümkün olmakta; böylece kentleşmenin yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkileri daha nesnel bir biçimde değerlendirilebilmektedir.

Kentsel ısı adası (KIA) araştırmalarında son yıllarda uzaktan algılama (UA) tabanlı yöntemler öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım, geniş alanlarda uzun dönemli ve karşılaştırılabilir veri sağlaması nedeniyle geleneksel meteorolojik istasyon verilerine kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Örneğin, İzmir'de yapılan çalışmada NDVI ile kentsel yeşil alanların soğutucu etkisi Landsat görüntüleri üzerinden ortaya konmuş ve yeşil altyapının mikroklimatik etkileri belirlenmiştir (Yüksel & Coşkun Hepcan, 2023). Adana kentinde yapılan çalışmada Landsat 8 verileri kullanılarak kentsel yüzey sıcaklıkları incelenmiş, özellikle sanayi ve ticaret bölgelerinin yoğunlaştığı kesimlerde geçirimsiz yüzeylerin baskın olması nedeniyle yüksek AYS değerlerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu alanlarda sıcaklıkların 40 °C'nin üzerine çıktığı, buna karşılık parklar ve yeşil alanların çevresinde sıcaklık değerlerinin görece daha düşük olduğu saptanmıştır. Bulgular, kentsel arazi kullanımı ile yüzey sıcaklıkları arasında doğrudan bir ilişki bulunduğunu göstermektedir (Ünal Çilek, 2022).

Mersin’de gerçekleştirilen uzun dönemli değerlendirmelerde, Landsat 8 uydu verileri kullanarak 28 yıllık süreçte kentsel sıcaklık dağılımları analiz edilmiştir. Özellikle yapılaşmanın yoğunlaştığı bölgelerde AYS değerleri daha yüksek bulunurken, kıyı kesimleri ve bitki örtüsüyle kaplı alanlarda sıcaklıkların daha düşük seviyelerde seyrettiği belirlenmiştir. Bu durum, hızlı kentleşme sürecinin uzun vadede kentsel ısı adası etkisini güçlendirdiğini göstermektedir (Orhan, 2021). Aydın ili üzerine yapılan çalışmada ise Landsat ile CORINE verilerinin birlikte kullanılması, NDVI değişimlerinin uzun dönemli yüzey sıcaklığı eğilimleriyle ilişkilendirilmesine imkân vermiştir (Kesgin Atak & Ersoy Tonyaloğlu, 2020).

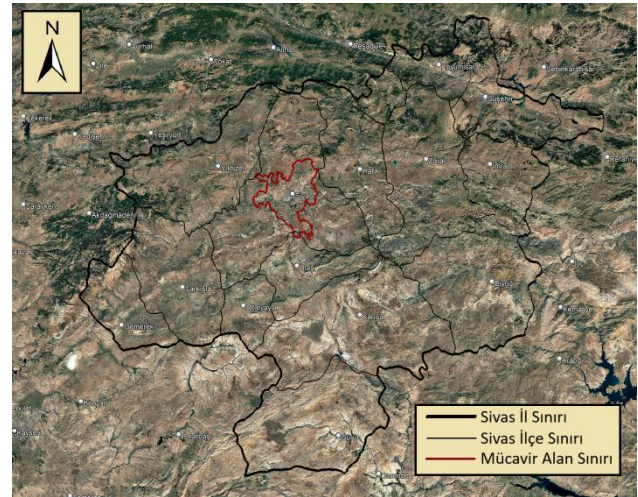
Metodolojik açıdan bakıldığında, uzaktan algılama tabanlı yaklaşımlar KIA çalışmalarında giderek daha fazla tercih edilmektedir. Örneğin, Mardin’de 1990–2019 dönemini kapsayan analizlerde Landsat TM ve OLI/TIRS verileri kullanarak AYS eğilimleri değerlendirilmiş ve yıllık ortalama 0.5 °C artış trendi ortaya konmuştur (Polat, 2020). Bu çalışma, uzun dönemli eğilimleri izleme potansiyeliyle UA yöntemlerinin iklimsel değişim analizlerindeki önemini göstermektedir. Mısır’ın Dakahlia bölgesinde ise Landsat 8 verilerinden türetilen AYS ile NDVI, NDBI ve NDWI gibi spektral indisler regresyon analizleriyle karşılaştırılmış; özellikle NDVI ve NDWI’nin sıcaklıkla negatif, NDBI’nin ise pozitif ilişkisi istatistiksel olarak doğrulanmıştır (Morsy & Hadi, 2022). Bu bulgu, uzaktan algılamanın yalnızca mekânsal dağılım analizleri için değil, aynı zamanda farklı ekolojik göstergelerle entegrasyonu sayesinde güçlü nedensel ilişkiler ortaya koyabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada İç Anadolu Bölgesi’nin karasal iklim özelliklerini yansıtan Sivas kenti mücavir alan sınırları odak alınmıştır. Son yıllarda artan kentleşme ve nüfus büyümesiyle birlikte doğal yüzeylerin yapay yüzeylerle yer değiştirmesi, Sivas’ta kentsel ısı adası etkisinin giderek belirginleşmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda araştırmanın amacı, Landsat uydu görüntüleri kullanılarak Sivas kentinde KIA etkisinin zamansal ve mekânsal boyutlarını incelemek, AYS dağılımlarını ortaya koymak ve bunları NDVI ile ilişkilendirerek kentsel ekoloji, iklim uyum stratejileri ve sürdürülebilir şehir planlaması açısından bilimsel bir değerlendirme sunmaktır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyal

Çalışmanın materyal kısmını, Sivas ili merkez ilçesi mücavir alan sınırları temel alınarak elde edilen Landsat uydu görüntüleri ve bu alana ilişkin mekânsal veriler oluşturmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Research Area / Çalışma Alanı

Sivas ili, Anadolu yarımadasının ortasında, İç Anadolu Bölgesi’nin Yukarı Kızılırmak

bölümünde yer almakta olup 36°–39° doğu boylamları ile 38°–41° kuzey enlemleri arasında konumlanmaktadır. 28.164 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin Konya'dan sonra ikinci büyük ili olan Sivas, doğuda Erzincan, güneyde Malatya ve Kahramanmaraş, batıda Yozgat, kuzeyde Tokat ve Ordu, kuzeydoğuda ise Giresun illeri ile çevrilidir. İl alanı batıdan doğuya doğru yükselen yüksek platolarla başlayıp kuzey, doğu ve güneydoğuda dağlık ve engebeli alanlarla son bulmakta; ortalama yükseltisi 1000 metrenin üzerindedir. Sivas, karasal İç Anadolu ikliminin etkisi altında bulunmakta; yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve karlı geçmektedir. Bununla birlikte kuzeyde Karadeniz, doğuda ise Doğu Anadolu ikliminin etkileri de hissedilmektedir. 2023 yılı Adrese Dayalı Nüfus Sistemi (ADNKS) verilerine göre ilin nüfusu 650.401 kişi olup, km<sup>2</sup> başına düşen nüfus yoğunluğu 23.09'dur (Sivas Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, 2023).

Bu çalışmanın materyalini Sivas ili merkez ilçesinin mücavir alan sınırları oluşturmaktadır. Analizlerde temel veri kaynağı olarak Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntüleri kullanılmış; 2014, 2019 ve 2024 yıllarına ait, yaz aylarını temsil eden bulutsuz görüntüler değerlendirilmiştir. AYS hesaplamaları için termal bantlar, bitki örtüsü yoğunluğunu belirlemek amacıyla ise NDVI verileri kullanılmıştır. Çalışmada seçilen dönemler, hem zamansal karşılaştırma yapmaya olanak sağlaması hem de kentsel ısı adası etkisinin en yoğun biçimde hissedildiği yaz koşullarını temsil etmesi nedeniyle tercih edilmiştir.

## 2.2. Yöntem

Çalışma, ArcMap yazılımı kullanılarak yürütülmüştür. Arazi yüzey sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan temel veri seti, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) tarafından sağlanan ve 2014–2024 yılları arasında indirilebilen Landsat 8 OLI/TIRS uydu görüntülerinden oluşmaktadır. Analizlerde kullanılan görüntüler, beşer yıllık aralıklarla seçilmiş olup, mümkün olduğunca sıcaklık değerlerinin yüksek ve bulutluluk oranının düşük olduğu Temmuz ve Ağustos aylarına ait verilerden oluşturulmuştur.

Arazi yüzey sıcaklığı verileri, çalışmada bitki örtüsünün etkilerini değerlendirmek amacıyla NDVI ile desteklenmiştir. NDVI kullanımı sayesinde, yeşil alanların yoğunluğu ve dağılımı genel hatlarıyla belirlenmiş, bu alanların sıcaklık değerleri üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Arazi yüzey sıcaklığı ile NDVI verilerinin birlikte ele alınması, Sivas kentinde yıllar içerisinde görülen sıcaklık değişimlerinin, özellikle bitki örtüsündeki azalma veya artışlarla nasıl ilişkilendiğini daha anlaşılır kılmıştır. Böylece, bitki yoğunluğu ile sıcaklık artışı arasındaki bağlantılar yüzeysel düzeyde ortaya konmuştur.

AYS hesaplamaları, uzaktan algılama temelli fiziksel dönüşüm denklemlerine dayalı olarak altı temel aşamada gerçekleştirilmiştir:

### 2.2.1. Dijital Sayı Değerlerinin Atmosfer Üstü Spektral Işınıma Dönüştürülmesi

Landsat 8 uydusundan elde edilen görüntülerdeki her piksel, Dijital Numara (DN) olarak adlandırılan sayısal bir değeri temsil etmektedir. Bu değerler doğrudan fiziksel anlam taşımamakla birlikte, uyduya ulaşan radyasyon miktarını yansıtan spektral ışıınım değerlerine

dönüştürülmektedir. Dönüşüm işlemi, uyduda özgü kalibrasyon katsayıları olan çarpan katsayısı ( $M_L$ ) ve ekleme katsayısı ( $A_L$ ) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda, DN değeri radyometrik olarak kalibre edilmiş sayısal bilgiyi ifade ederken,  $M_L$  ve  $A_L$  sırasıyla her bir banda özgü çarpımsal ve ilave düzeltme katsayılarını temsil etmektedir. Dönüştürme işlemi aşağıdaki formül (Eşitlik 1) ile ifade edilmektedir (Ihlen & Zanter, 2019; Khorrami & Gündüz, 2019);

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

Analizde kullanılan  $M_L$  ve  $A_L$  değerleri, Tablo 1’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.  $Q_{CAL}$ ; uydu verilerinde radyometrik olarak kalibre edilmiş ve sayısal olarak nicelendirilmiş standart piksel değerini temsil etmektedir. Elde edilen spektral ışıınım ( $L_\lambda$ ), watt/(m<sup>2</sup>·sr·µm) biriminde tanımlanmakta olup, parlaklık sıcaklığı gibi ileri analizlerde temel veri olarak kullanılmaktadır (Ihlen & Zanter, 2019).

Çizelge 1. Conversion coefficients of the thermal bands of Landsat 8 / Landsat 8’in termal bantlarına ait dönüşüm katsayıları (Khorrami & Gündüz, 2019)

| Parametre                       | Termal Bant (B10)       |
|---------------------------------|-------------------------|
| Merkez Dalga Boyu ( $\lambda$ ) | 10.80                   |
| $K_1$                           | 774.8853                |
| $K_2$                           | 1321.0789               |
| $M_L$                           | $3.3420 \times 10^{-4}$ |
| $A_L$                           | 0.1                     |

### 2.2.2. TOA Spektral Işıınım Değerlerinin Parlaklık Sıcaklığına Dönüştürülmesi:

Yeryüzü ve atmosfer sıcaklıklarının mutlak sıfırın üzerinde olması, termal bantlarda ölçülen radyans değerlerinin hem yüzey kaynaklı

hem de atmosferik ışıma bileşenlerini içermesine neden olmaktadır. Atmosferin bu ışıma sürecine etkisi; ışıının emilmesi, saçılması ve kırılması gibi çeşitli fiziksel mekanizmalarla gerçekleşmektedir. Bu karmaşık etkilerin dengelenebilmesi amacıyla, elde edilen TOA (atmosfer üstü) spektral ışıınım değerleri, uygun bir dönüşüm formülü aracılığıyla parlaklık sıcaklığına çevrilmektedir (Khorrami & Gündüz, 2019).

Bu dönüşüm aşağıdaki denklemle gerçekleştirilir (Eşitlik 2):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (2)$$

Burada  $T_B$  santigrat cinsinden parlaklık sıcaklığını;  $L_\lambda$  TOA spektral ışıınım değerini;  $K_1$  ve  $K_2$  ise termal banda ait kalibrasyon sabitlerini ifade etmektedir (Ihlen & Zanter, 2019).

### 2.2.3. NDVI Hesaplaması:

Kentsel ortamlarda bitki örtüsü, KIA etkisinin hafifletilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Vejetasyon ile yapay yüzeyler arasında oluşan radyan sıcaklık farkları, arazi yüzey sıcaklığı üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bitki örtüsünün bulunmadığı alanlarda ise AYS genellikle çıplak toprak ya da asfalt gibi yüzeylerin radyometrik sıcaklıklarına göre belirlenmektedir. Bitki örtüsünün yoğunlaştığı bölgelerde, uydu sensörleri tarafından algılanan termal enerji daha çok yeşil yaprakların sıcaklığını yansıtmaktadır. AYS ile vejetasyon arasındaki ilişkiyi ortaya koymada en yaygın kullanılan göstergelerden biri, yansıtma değerlerini kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar üzerinden hesaplayan normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksidir (Sandholt vd., 2002; Saka ve Atmaca, 2023).

$$NDVI = \left( \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \right) \quad (3)$$

NDVI'nın temel amacı, bitki örtüsünün fotosentetik aktivitesini ve genel canlılığını değerlendirmektir. Yoğun ve sağlıklı bitki örtüsü, +1'e yaklaşan yüksek NDVI değerleri üretirken; zayıf, stres altında olan veya seyrek bitki örtüsü daha düşük değerlerle ifade edilmektedir. NDVI hesaplamasında kırmızı (RED) ve yakın kızılötesi (NIR) bantların yansımaya özellikleri kullanılmaktadır. Bu iki bant arasındaki farkın toplamına oranlanmasıyla elde edilen indeks değeri (Eşitlik 3), bitki örtüsünün durumu hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Yüksek NDVI değerleri sağlıklı ve yoğun bitki örtüsünü gösterirken, düşük ya da negatif NDVI değerleri ise su yüzeylerini, çıplak toprakları veya bitki örtüsünün bulunmadığı alanları işaret etmektedir (Pettorelli vd., 2005; Çirci Selçuk, 2024).

Çalışma kapsamında yürütülen analizlerin değerlendirilmesi sürecinde, sınıflandırma işlemleri Tablo 2'de belirtilen piksel değer aralıkları esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Reference pixel ranges for NDVI analysis / NDVI analizinde kullanılan referans piksel değer aralıkları (Atun, Kalkan, & Gürsoy, 2020).

| Piksel Aralığı | Sınıflar                                     |
|----------------|----------------------------------------------|
| < 0            | Su Yüzeyi                                    |
| 0 – 0.03       | Çıplak Toprak                                |
| 0.03 – 0.3     | Seyrek Bitki Örtüsüne Sahip Alanlar          |
| 0.3 – 0.5      | Orta Yoğunluklu Bitki Örtüsüne Sahip Alanlar |
| 0.5 >          | Yoğun Bitki Örtüsüne Sahip Alanlar           |

#### 2.2.4. Bitki Örtüsü Oranı Hesaplaması

Arazi yüzeyi yayınlığının ( $\varepsilon$ ) hesaplanmasında kullanılan bitki örtüsü oranı

(Pv), Carlson ve Ripley (1997) tarafından geliştirilen ve NDVI verilerine dayalı bir parametredir. Bu hesaplamada NDVI ile birlikte, minimum ve maksimum eşik değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. NDVI histogramı üzerinden elde edilmesi mümkün olan bu sınır değerler, birçok çalışmada sabit varsayılarak kullanılmaktadır. Literatürde yaygın kabul gören bu değerler, minimum NDVI için 0.2, maksimum NDVI için ise 0.5 olarak alınmaktadır (Sobrino vd., 2004). Bu çerçevede Pv, aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 4) ile hesaplanmaktadır:

$$Pv = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

#### 2.2.5. Yüzey Yayınlığı (Emisivite, $\varepsilon$ ) Değerinin Hesaplanması:

Yayınlık (emisivite) katsayısı, arazi yüzey sıcaklığı hesaplamalarında dikkate alınması gereken temel parametrelerden biridir. Bu değerin belirlenmesine yönelik farklı yaklaşımlar geliştirilmiş olsa da, bu çalışmada yaygın biçimde kullanılan NDVI temelli bir yöntem tercih edilmiştir (Akyürek, 2020). Yüzey sıcaklığının doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için, yüzeyin yayılım özelliğinin dikkate alınması gerekmektedir. Yayınlık, bir yüzeyin uzun dalga boyundaki ışınlı yama ve soğurma kapasitesini temsil eder (Sobrino vd., 2008). Bu özellik büyük ölçüde arazinin fiziksel karakterine bağlıdır. Özellikle bitki örtüsünün yoğunluğu, toprak türü ve yüzeyin pürüzlülüğü gibi faktörler, yayılan enerji miktarını doğrudan etkilemektedir (Eşitlik 5) (Stathopoulou & Cartalis, 2007; Salih vd., 2018; Türkyılmaz, Özelkan, & Karaman, 2020).

$$\varepsilon = 0.004 \times Pv + 0.986 \quad (5)$$

### 2.2.6. Arazi Yüzey Sıcaklığı Hesaplaması

Tüm hesaplama adımlarının ardından, elde edilen parlaklık sıcaklığı (TB) ve yüzey yansırılığı ( $\epsilon$ ) değerleri kullanılarak, yüzey sıcaklığı hesaplanmıştır (Eşitlik 6). Bu işlem sonucunda fiziksel olarak anlamlı AYS değerlerine ulaşılmaktadır (Khorrami & Gündüz, 2019).

$$LST = \frac{T_B}{\left[1 + \left(\frac{T_B}{C_2 \times \lambda}\right) \times \ln(\epsilon)\right]} \quad (6)$$

Formülde yer alan  $C_2$  planck sabiti ( $h = 6.626 \times 10^{-34}$  JS) ile ışık hızı ( $c = 2.998 \times 10^8$  m / s) çarpımının Boltzman Sabiti  $s$  ( $1.38 \times 10^{-23}$  J /K)'ne bölünmesiyle tanımlanan sabittir ( $C_2 = h.c / s$ ) ve değeri yaklaşık olarak  $1.4380 \times 10^{-2}$  m K olarak alınmaktadır. Bu ifadede  $\lambda$  ilgili termal banda ait dalga boyunu göstermektedir (Matuzko & Yakubailik, 2018).

### 3. Bulgular

Arazi yüzey sıcaklığı (AYS) ve bitki örtüsü yoğunluğunun zamansal ve mekânsal değişimleri, kent ekolojisi ve iklim araştırmalarında önemli göstergeler arasında yer almaktadır. Bu göstergelerin birlikte değerlendirilmesi, kentleşmenin doğal çevre üzerindeki etkilerinin daha nesnel biçimde ortaya konulmasına olanak sağlamaktadır. Çalışma kapsamında, Sivas ili merkez ilçesi mücavir alan sınırları için 2014, 2019 ve 2024 yıllarına ait NDVI (Şekil 2) ve AYS (Şekil 3) haritaları üretilmiş; ayrıca ilgili yıllara ait NDVI sınıflarının kapladığı alanlar (Tablo 3), sıcaklık aralıklarının kapladığı alanlar (Tablo 4) ve minimum–maksimum–ortalama sıcaklık değerleri (Tablo 5) sunulmuştur. Böylece, bitki örtüsündeki değişimlerin ve yüzey sıcaklıklarının mekânsal dağılımı karşılaştırmalı olarak ele alınmış, KIA etkisinin yıllar içerisindeki eğilimleri ortaya konulmuştur.

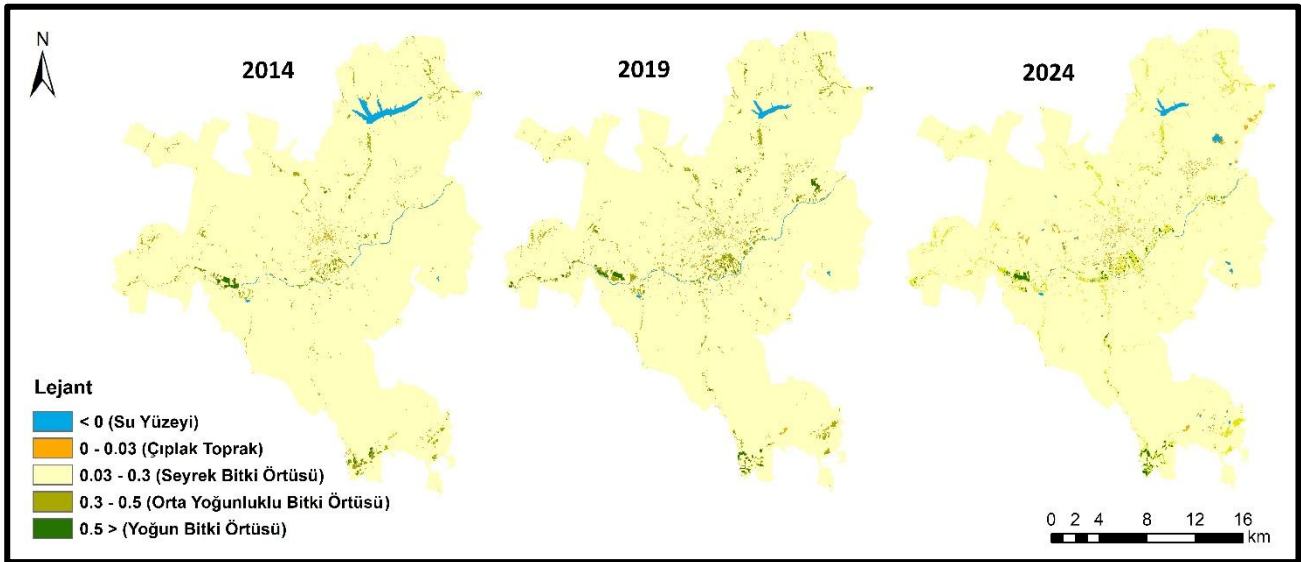


Figure / Şekil 2. NDVI Maps of 2014, 2019, and 2024 / 2014, 2019 ve 2024 Yıllarına ait NDVI Haritaları

2014 yılına ilişkin bulgular, düşük NDVI yüzey sıcaklıklarıyla eş zamanlı olarak değerlerinin baskın olduğunu ve bunun yüksek görüldüğünü ortaya koymaktadır. Tablo 3

verilerine göre, 2014 yılında seyrek bitki örtüsüne sahip alanlar 56280.7 ha ile baskın konumda iken yoğun bitki örtüsü ( $>0.5$ ) yalnızca 111.4 ha ile sınırlı kalmıştır. AYS verileri ise 35–40 °C aralığındaki sıcaklıkların 33490.2 ha gibi geniş bir alanı kapsadığını, 40 °C üzerindeki alanların ise

20080.1 ha olduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle kent merkezinde 0.03–0.3 NDVI aralığındaki seyrek bitki örtüsüne sahip bölgelerde 35–40 °C sıcaklıkların yoğunlaştığını açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 2–3).

Çizelge 3. Spatial extent of NDVI classes (ha) / NDVI sınıflarının kapladığı alanlar (ha)

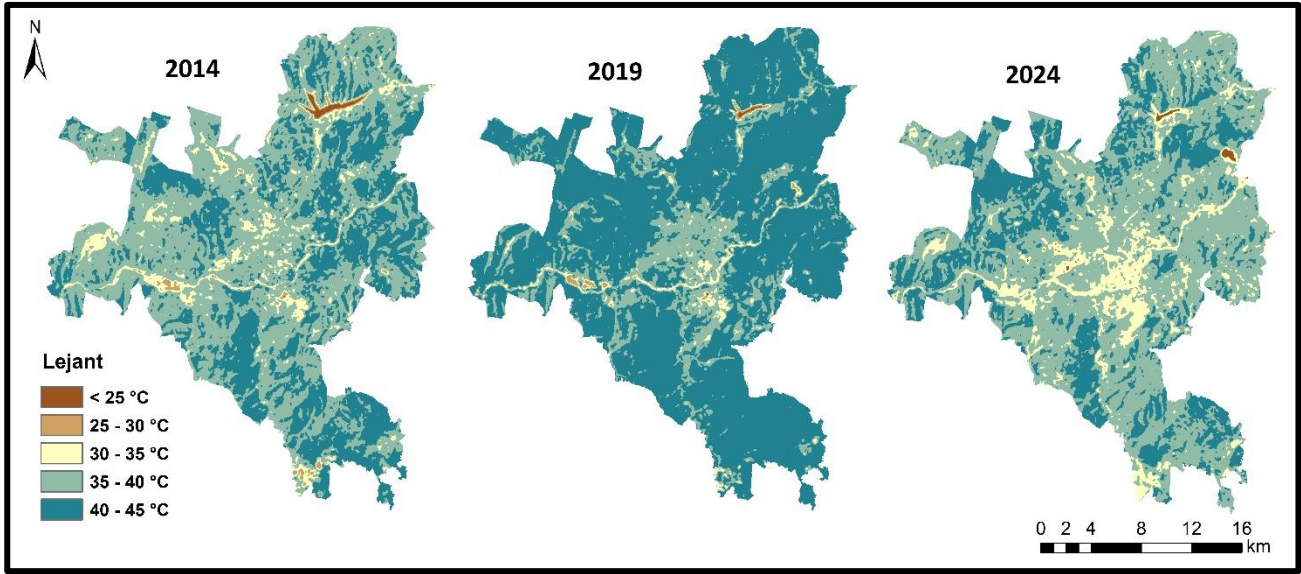
| Piksel Aralığı | Sınıflar                                     | Kapladığı Alan (ha) |         |         |
|----------------|----------------------------------------------|---------------------|---------|---------|
|                |                                              | 2014                | 2019    | 2024    |
| < 0            | Su Yüzeyi                                    | 433.4               | 296.1   | 272.7   |
| 0 - 0.03       | Çıplak Toprak                                | 163.9               | 246.1   | 347.7   |
| 0.03 - 0.3     | Seyrek Bitki Örtüsüne Sahip Alanlar          | 56280.7             | 55845.9 | 55618.9 |
| 0.3 - 0.5      | Orta Yoğunluklu Bitki Örtüsüne Sahip Alanlar | 811.1               | 1212.5  | 1326.7  |
| 0.5 >          | Yoğun Bitki Örtüsüne Sahip Alanlar           | 111.4               | 200.0   | 234.5   |

2019 yılı bulguları, kırsal alanlarda bitki örtüsünde kısmi iyileşmeler yaşandığını ancak kentsel merkezde düşük NDVI değerlerinin baskınlığını sürdürdüğünü göstermektedir. Orta yoğunluklu bitki örtüsüne sahip alanların 1212.5 ha'ya, yoğun bitki örtüsüne sahip alanların ise 200 ha'ya yükseldiği görülmektedir. Bununla birlikte çıplak toprak alanları da 246.1 ha'a çıkmıştır. AYS dağılımında, 40–45 °C sıcaklık sınıfındaki alanların 44318.3 ha ile önceki döneme göre dramatik bir artış göstermesi dikkat çekmektedir. Kent merkezinde sıcaklıkların çoğunlukla 35–40 °C aralığında seyrettiği, bazı bölgelerde 40 °C'nin üzerine çıktığı haritalardan da izlenmektedir. Bu tablo,

2019 yılının kentsel ısı adası etkisinin en yoğun hissedildiği dönem olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. Spatial extent of land surface temperature classes (ha) / Arazi yüzey sıcaklığı sınıfları ve kapladıkları alanlar (ha)

| Arazi Yüzey Sıcaklığı | Kapladığı Alan (ha) |         |        |
|-----------------------|---------------------|---------|--------|
|                       | 2014                | 2019    | 2024   |
| < 25 °C               | 177.7               | 35.6    | 128.7  |
| 25 - 30 °C            | 352.3               | 198.8   | 589.4  |
| 30 - 35 °C            | 3700.2              | 1332.9  | 5951.4 |
| 35 - 40 °C            | 33490.2             | 11914.9 | 0      |
| 40 - 45 °C            | 20080.1             | 44318.3 | 0      |



Şekil 3. Land Surface Temperature Maps of 2014, 2019, and 2024 / 2014, 2019 ve 2024 Yıllarına ait Arazi Yüzey Sıcaklığı Haritaları

2024 yılı bulguları, NDVI değerlerinde belirgin bir artış yaşandığını ve bu artışın sıcaklıklara doğrudan yansıdığını göstermektedir. Tablo 3 verileri, orta yoğunluklu bitki örtüsüne sahip alanların 1326.7 ha'ya, yoğun bitki örtüsüne sahip alanların ise 234.5 ha'ya çıktığını ortaya koymaktadır. Bu gelişmeye paralel olarak Tablo 4 sonuçları, 25–30 °C sıcaklık sınıfındaki alanların 589.4 ha'ya yükseldiğini, 40–45 °C sıcaklık aralığındaki alanların ise 15376 ha'ya gerilediğini göstermektedir.

Minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri de bu eğilimi desteklemektedir. 2014'te ortalama sıcaklık 34.05 °C iken 2019'da 32.9 °C'ye düşmüş, 2024'te ise 27.45 °C'ye kadar gerilemiştir (Tablo 5). Özellikle kırsal alanlarda yeşil dokunun güçlenmesi, sıcaklık değerlerinde belirgin düşüşler yaratmıştır. Ancak kent merkezinde, yoğun yapılaşmanın etkisiyle 35–40 °C bandındaki sıcaklıkların varlığını koruduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 5. Minimum, maximum, and average land surface temperature (°C) / Arazi yüzey sıcaklığı minimum, maksimum ve ortalama değerleri (°C)

|             | Minimum | Maksimum | Ortalama |
|-------------|---------|----------|----------|
| <b>2014</b> | 23.1    | 45       | 34.05    |
| <b>2019</b> | 21      | 44.8     | 32.9     |
| <b>2024</b> | 10.5    | 44.4     | 27.45    |

Üç dönem birlikte değerlendirildiğinde, 2014 yılı düşük bitki yoğunluğu ve yüksek sıcaklıklarıyla güçlü bir KIA etkisini işaret etmektedir. 2019 yılında bu etkinin zirveye çıktığı, özellikle 40–45 °C sıcaklık bandındaki alanların genişlediği görülmektedir. 2024 yılına gelindiğinde ise orta ve yoğun bitki örtüsünde yaşanan artışın, sıcaklıkların belirgin biçimde düşmesine ve ekstrem sıcaklık alanlarının daralmasına yol açtığı tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, NDVI ile AYS arasında ters yönlü bir ilişkinin bulunduğunu açıkça ortaya

koymaktadır. Yeşil alanların ve yoğun bitki örtüsünün hâkim olduğu bölgelerde sıcaklıkların düşük seyrettiği; çıplak toprak ve yapılaşmanın baskın olduğu alanlarda ise yüksek sıcaklıkların görüldüğü belirlenmiştir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Sivas kenti özelinde 2014, 2019 ve 2024 yıllarına ait Landsat verileri kullanılarak kentsel ısı adası (KIA) etkisi zamansal ve mekânsal boyutlarıyla incelenmiştir. Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) ve NDVI verilerinin karşılaştırmalı analizi, bitki örtüsü yoğunluğunun yüzey sıcaklıkları üzerinde belirleyici bir role sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle düşük NDVI değerlerinin yüksek AYS ile, yüksek NDVI değerlerinin ise düşük AYS ile eşleşmesi, literatürde de sıklıkla vurgulanan ters yönlü ilişkinin (Yue et al., 2007; Khorrami & Gündüz, 2019; Mercan, 2020) Sivas ili özelinde de doğrulandığını ortaya koymaktadır.

Tablo 5 verilerine göre, 2014 yılında ortalama yüzey sıcaklığı 34.05 °C iken 2024 yılında bu değer 27.45 °C'ye gerilemiştir. On yıllık süreçte ortalama sıcaklıklarda 6.6 °C'lik bir azalış, bitki örtüsündeki artışın kentsel iklim üzerindeki etkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu durum evapotranspirasyon ve gölgeleme mekanizmalarının yüzey enerji dengesini düzenleyerek sıcaklık birikimini sınırladığını göstermektedir. Bulgular aynı zamanda, yeşil alanların mekânsal dağılımının kentsel sıcaklık rejimini doğrudan şekillendirdiğini kanıtlamaktadır.

Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalar da benzer eğilimleri rapor etmektedir. Örneğin, Adana'da yürütülen araştırmada, endüstriyel ve ticari alanlarda geçirimsiz yüzeylerin baskınlığı

nedeniyle en yüksek yüzey ısı adası yoğunluğunun gözlemlendiğini ortaya koymuştur (Ünal Çilek, 2022). İstanbul üzerine yapılan analizlerde, geçirimsiz yüzeylerin artışının özellikle güney kesimlerde KIA etkisini güçlendirdiği ve NDVI'nın en kritik belirleyici değişkenlerden biri olduğu belirtilmiştir (Khorrami & Gündüz, 2019). Muş örneğinde 1990–2019 döneminde yıllık ortalama 0.3 °C'lik sıcaklık artışı belirlenmiş; yeşil alanların yoğun olduğu bölgelerde düşük, bitki örtüsünün tahrip edildiği alanlarda ise yüksek sıcaklık değerleri kaydedilmiştir (Mercan, 2020). Yozgat'ta ise 2012–2022 döneminde artan yapılaşma yoğunluğu ile birlikte AYS'nin yaklaşık 1.18 °C yükseldiği rapor edilmiştir (Saka & Atmaca, 2023).

Uluslararası ölçekte elde edilen bulgular da bu eğilimi desteklemektedir. Şanghay'da yapılan bir çalışmada, NDVI ile AYS arasında güçlü bir negatif korelasyon olduğu; özellikle yoğun yapılaşmanın bulunduğu bölgelerde sıcaklıkların belirgin biçimde arttığı ifade edilmiştir (Yue et al., 2007). Benzer şekilde Akdeniz iklimine sahip kentlerde, park ve yeşil koridorların çevresinde yüzey sıcaklıklarının 2 °C'den fazla düştüğü tespit edilmiştir (Yüksel & Coşkun Hepcan, 2023).

Bu bağlamda Sivas özelinde elde edilen bulgular hem ulusal hem de uluslararası literatür ile uyumludur. 2014–2019 dönemi, kentsel ısı adası etkisinin en yoğun hissedildiği yıllar olmuştur. Bu dönemde 40–45 °C sıcaklık bandındaki alanların 20080.1 ha'dan 44318.3 ha'a çıkarak iki kattan fazla genişlemesi, düşük NDVI değerlerinin (0.03–0.3) baskınlığını sürdürmesiyle doğrudan ilişkilidir. Buna karşılık 2014–2024 dönemi karşılaştırıldığında, orta yoğunluklu (0.3–0.5) ve yoğun (>0.5) bitki örtüsü

sınıflarının toplam alanı 2014 yılında 922,5 ha (811.1 + 111.4 ha) iken, 2024 yılında 1561.2 ha'ya (1326.7 + 234.5 ha) yükselmiştir. Bu %70'in üzerinde bir artışa karşılık gelmekte ve aynı dönemde ortalama sıcaklıkların 34.05 °C'den 27.45 °C'ye gerilemesiyle sonuçlanmaktadır. Bu süreçte 40–45 °C sıcaklık bandındaki alanların yaklaşık 4700 ha daralması, yeşil dokunun güçlenmesinin kentsel iklim üzerindeki düzenleyici rolünü somut biçimde ortaya koymaktadır. Dolayısıyla NDVI artışının evapotranspirasyon ve gölgeleme mekanizmaları üzerinden yüzey sıcaklıklarını düşürdüğü; NDVI azalmasının ise sıcaklık birikimini artırarak KIA etkisini kuvvetlendirdiği söylemek mümkündür.

Sonuç olarak, NDVI ile AYS arasındaki güçlü ters yönlü ilişki, kentsel iklim araştırmalarında güvenilir bir gösterge olarak değerlendirilebilir. Yeşil alanların korunması ve artırılması, geçirimsiz yüzeylerin azaltılması ve su yüzeylerinin sürdürülebilir biçimde planlamaya entegre edilmesi, KIA etkisinin azaltılmasına yönelik en etkili stratejiler olarak öne çıkmaktadır. Bu bulgular, yalnızca Sivas için değil, benzer iklimsel koşullara sahip diğer kentler için de sürdürülebilir şehir planlaması, iklim uyum politikaları ve kentsel ekoloji çalışmaları açısından yol gösterici niteliktedir.

## Kaynaklar

- 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>
- Atun, R., Kalkan, K., & Gürsoy, Ö. (2020). Determining the forest fire risk with Sentinel 2 images. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(1), 22-26.

Carlson, T. N., & Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote sensing of Environment*, 62(3), 241-252.

Çirci Selçuk, B., (2024). Hafik Gölü (Sivas) Mikro Havzası Peyzaj Karakter Analizi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Elgendy, D., Tolba, O., & Kamel, T. (2025). The impact of increasing urban surface albedo on outdoor air and surface temperatures during summer in newly developed areas. *Scientific Reports*, 15(1), 25165.

Gerçek, D., & Türkmenoğlu Bayraktar, N., (2014). Kentsel Isı Adası Etkisinin Uzaktan Algılama ile Tespiti ve Değerlendirilmesi İzmit Kenti Örneği . 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul, İstanbul, Turkey Ihlen V, Zanter K (2019) Landsat 8 (I8) data users handbook. US Geological Survey, 106 p.

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>

Khorrami, B., & Gündüz, O. (2019). Uzaktan Algılama ve CBS'nin Yüzey Sıcaklığı ve Kentsel Isı Adası Tespit ve Analizinde Uygulanması. *Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu (UZALMET 2019) Antalya, Türkiye*.

Matuzko, A. K., & Yakubailik, O. E. (2018, November). Urban heat island effects over Krasnoyarsk obtained on the basis of Landsat 8 remote sensing data. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 211, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.

Mercan, Ç. (2020). Yer yüzey sıcaklığının termal uzaktan algılama görüntüleri ile araştırılması: Muş ili örneği. *Turkish Journal of Remote Sensing*, 2(2), 42-49.

Morsy, S., & Hadi, M. (2022). Impact of land use/land cover on land surface temperature and its relationship with spectral indices in Dakahlia Governorate, Egypt. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 272–282. <https://doi.org/10.26833/ijeg.978961>

Nse, O. U., Okolie, C. J., & Nse, V. O. (2020). Dynamics of land cover, land surface temperature and NDVI in Uyo City, Nigeria. *Scientific African*, 10, e00599.

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>

- Pettorelli, N., Vik, O. J., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503-510.
- Polat, N. (2020). Mardin ilinde uzun yıllar yer yüzey sıcaklığı değişiminin incelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2(1), 10-15. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tuzal/issue/52699/649526>
- Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Parshall, L., Chopping, M., Pope, G., & Goldberg, R. (2005). Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1), 51-62.
- Saka, B. N., & Atmaca, İ. (2023). Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Kentsel Yüzey Sıcaklıklarının Haritalanması, Yozgat Kenti Örneği. *Bozok Journal of Engineering and Architecture*, 2(2), 38-43.
- Saka, B. N., & Atmaca, İ. (2023). Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Kentsel Yüzey Sıcaklıklarının Haritalanması, Yozgat Kenti Örneği. *Bozok Journal of Engineering and Architecture*, 2(2), 38-43.
- Salih, M. M., Jasim, O. Z., Hassoon, K. I., & Abdalkadhum, A. J. (2018). Land surface temperature retrieval from LANDSAT-8 thermal infrared sensor data and validation with infrared thermometer camera. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.20), 608-612.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of environment*, 79(2-3), 213-224.
- Sivas Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. (2023). *Sivas ili 2023 yılı çevre durum raporu* [PDF]. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/sivas-ilcdr-2023-1-20240910164208.pdf>
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., Soria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., ... & Martínez, P. (2008). Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 46(2), 316-327.
- Stathopoulou, M., & Cartalis, C. (2007). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy*, 81(3), 358-368.
- Türkyılmaz, M., Özelkan, E., & Karaman, M. (2020). Termal uydu görüntülerinden üretilen yer yüzeyi sıcaklığı ile hava sıcaklığı ilişkisinin değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 932-948.
- Ünal Çilek, M. (2022). Kentsel yüzey ısı adalarının belirlenmesinde yer yüzey sıcaklık verilerinin kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, 33, 213-222. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1039572>
- Yılmaz, E. (2015). Landsat görüntüleri ile Adana yüzey ısı adası. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(2), 115-138.
- Yue, W., Xu, J., Tan, W., & Xu, L. (2007). The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data. *International journal of remote sensing*, 28(15), 3205-3226.
- Yüksel, A. T., & Coşkun Hepcan, Ç. (2023). Kentsel yüzey sıcaklığı ve mavi-yeşil altyapı ilişkisi: Karşıyaka örneği. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), 91-98. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.1214763>