

# LANDSAT 9 YÜZEY SICAKLIĞI VERİLERİNİN FARKLI İKLİM SINIFLARI İÇİN DOĞRULUK ANALİZİ

Mitat Can YILDIZ<sup>1</sup>, Rüştü ÇALLI<sup>2</sup>, Emirhan ÖZDEMİR<sup>3</sup>, Fehmi VEZİROĞLU<sup>4</sup>, Alihsan ŞEKERTEKİN<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, mcan.yildiz@igdir.edu.tr

<sup>2</sup>Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, rustu.calli@igdir.edu.tr

<sup>3</sup>Öğr. Gör. Dr., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, emirhan.ozdemir@igdir.edu.tr

<sup>4</sup>Öğr. Gör., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, fehmi.veziroglu@igdir.edu.tr

<sup>5</sup>Doç. Dr., Iğdır Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 76002, Suveren, Iğdır, alihsan.sekerteekin@igdir.edu.tr

## ÖZET

Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS), atmosfer ile arazi arasındaki etkileşimleri kontrol eden farklı ölçeklerde arazi yüzeyinin fiziksel süreçleri için önemli bir parametredir. YYS verileri, yukarı ve aşağı yönlü ışımları ölçen meteoroloji istasyonlarından elde edilebilmektedir. Bu istasyon verileri nokta bazlı veriler olduğundan topoğrafyayı tam olarak temsil etmemektedir. Öte yandan YYS, Termal Kızılötesi (TIR) uzaktan algılama kullanılarak çeşitli zamansal ve konumsal çözünürlüklerde tahmin edilebilmektedir. Uzaktan algılama topluluğu için uzay tabanlı YYS verilerinin doğruluğunun değerlendirilmesi en önemli ve zor prosedürlerden biridir. Bölgenin iklimi uydu tabanlı YYS alımını etkilediğinden, bu çalışma Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) farklı Köppen iklim bölgelerini dikkate alarak Landsat-9 yüzey sıcaklığı (YS) ürünlerinin doğruluk analizini yapmayı amaçlamaktadır. SURFRAD istasyonları, yerinde YYS gözlemleri sunan önemli veri kaynaklarıdır ve bu çalışmada Landsat-9 YS ürününü doğrulamak için BND, TBL, DRA, FPK, GWN, PSU ve SXF olmak üzere yedi SURFRAD istasyonu kullanılmıştır. Landsat-9'un bu istasyonlar üzerindeki YYS doğruluk sonuçları sırasıyla 2,25 °C, 6,30 °C, 3,73 °C, 3,47 °C, 2,11 °C, 2,21 °C, 3,17 °C Karesel Ortalama Hata (KOH) olarak elde edilmiştir. Tüm veri setleri dikkate alındığında 3,39 °C KOH hesaplanmıştır. Test sahalarında çok sınırlı sayıda bulutsuz Landsat-9 verisi mevcut olduğundan bu sonuçlar ön sonuçlar olarak değerlendirilmelidir.

**Anahtar Sözcükler:** uzaktan algılama, yüzey sıcaklığı, doğruluk analizi, SURFRAD, Köppen İklim Bölgeleri.

## ABSTRACT

### ACCURACY ANALYSIS OF LANDSAT 9 SURFACE TEMPERATURE DATA FOR DIFFERENT CLIMATE CLASSES

Land surface temperature (LST) controls the interactions between the atmosphere and the land and is an important parameter for the physical processes of the land surface at different scales. LST data may be obtained from meteorological stations that measure the upwelling and downwelling radiances. Since this station-based LST pertains to point-based data, it does not represent the topography. On the other hand, LST may be estimated at various temporal and geographical resolutions using Thermal Infrared (TIR) remote sensing. For the remote sensing community, evaluating the accuracy of space-based LST retrievals is one of the most significant and difficult procedures. Since the climate of the region also affects the satellite based LST retrieval, this study aims to conduct accuracy analysis of Landsat-9 surface temperature (ST) products considering different Köppen climate zones in the United States of America (USA). SURFRAD stations are unique sources of data on in-situ LST, and in this study, seven SURFRAD stations, namely, BND, TBL, DRA, FPK, GWN, PSU, and SXF were used to validate the Landsat-9 ST product. The LST accuracy results of Landsat-9 over these stations were obtained 2,25 °C, 6,30 °C, 3,73 °C, 3,47 °C, 2,11 °C, 2,21 °C, 3,17 °C RMSE, respectively. Considering all data sets, 3,39 °C RMSE was calculated. These results should be evaluated as the preliminary ones since very limited number of cloud-free Landsat-9 data are available over the test sites.

**Keywords:** remote sensing, surface temperature, accuracy analysis, SURFRAD, Köppen Climate Zones

## 1. GİRİŞ

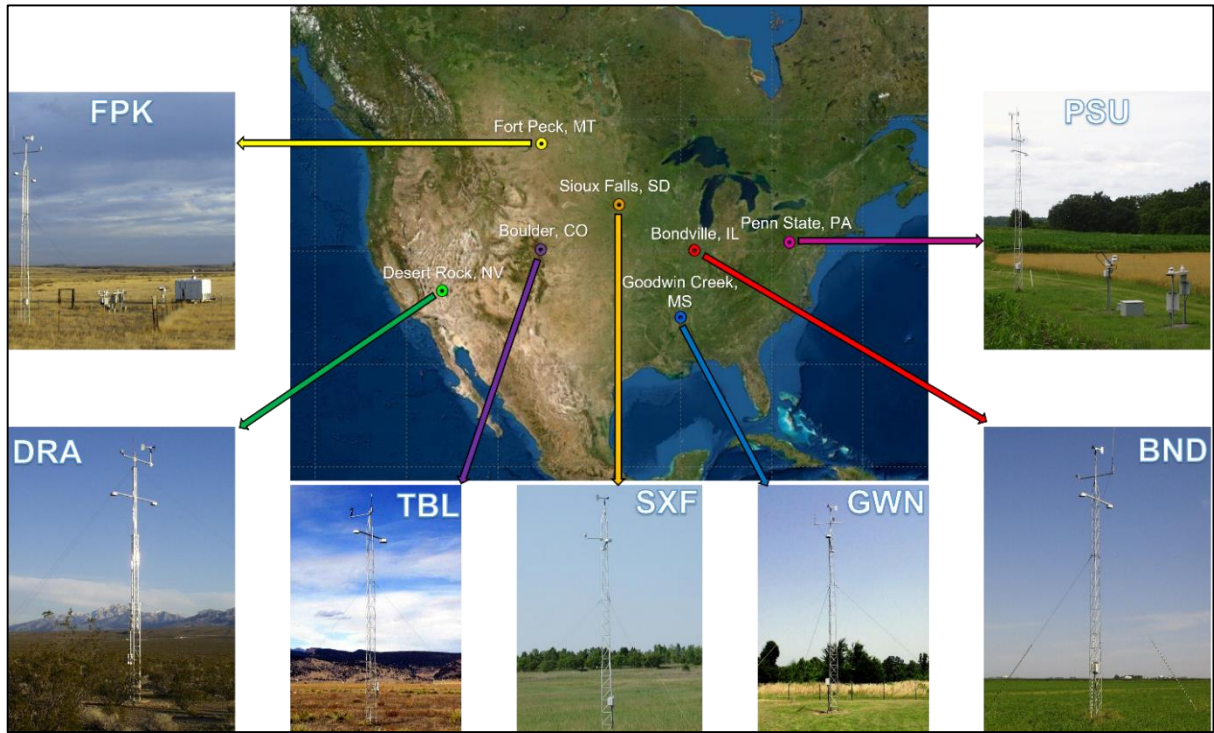
İklim değişikliği, kentsel ısı adaları, su yönetimi ve biyolojik süreçlerin modellenmesi gibi konulardaki araştırmalarda Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. YYS, arazi yüzeyinin ve atmosferin enerji dengesi üzerinde doğrudan etkiye sahip olup, iklim modelleri ve ısı akışlarını şekillendiren kritik bir faktör olarak kabul edilmektedir (Meng vd., 2017; Şekertekin vd., 2016). Atmosfer ile yüzey arasındaki enerji alışverişini düzenlediği için YYS verileri; çevresel analizler, şehir planlaması ve tarımsal uygulamalarda sıkça kullanılmaktadır. Yapılan önceki çalışmalar, YYS'nin iklimle ilişkili ve Yüzey Isı Adası (YIA) araştırmalarında (Bonafoni vd., 2017; Mohammad vd., 2019; Zhou vd., 2019), bitki örtüsü izleme (Weng vd., 2004), su kaynakları yönetimi (Anderson vd., 2008), buharlaşma ve terleme süreçleri (Jiang ve Weng, 2017), yangın takibi (Prasad vd., 2013) ve jeotermal anomali araştırmaları (Erenoğlu vd., 2019; Mia vd., 2014; Şekertekin ve Arslan, 2019) gibi birçok alandaki önemini ortaya koymuştur.

Son yıllarda, uydu tabanlı uzaktan algılama sistemlerinin gelişimi, YYS'nin geniş alanlar üzerinde gözlemlenmesini ve analiz edilmesini mümkün kılmıştır. Termal Kızılötesi (TIR) sensörleri sayesinde farklı zaman dilimlerinde ve çözünürlüklerde YYS verileri elde edilebilmektedir. Landsat serisi uydular, bu tür verilerin sağlanmasında önemli bir rol oynamış ve özellikle 2021 yılında fırlatılan Landsat-9, yüksek radyometride YYS verileri sunan en son uzay misyonlarından biri olmuştur. Bununla birlikte, bu verilerin doğruluğunun ve güvenilirliğinin değerlendirilmesi, uzaktan algılama topluluğu için büyük bir zorluk olarak kabul edilmektedir (Zhou vd., 2019).

Bu çalışmanın temel amacı, Landsat-9 uydusundan elde edilen yüze sıcaklığı verilerinin doğruluğunu farklı Köppen iklim bölgelerinde değerlendirmektir. Uzay tabanlı YYS verilerinin doğruluğunu ölçmek için literatürde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Çapraz doğrulama, radyansa dayalı (R-tabanlı) ve sıcaklık tabanlı (T-tabanlı) teknikler, bu doğrulama süreçlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. T-tabanlı teknik, yer tabanlı ve uydu tabanlı YYS verilerini karşılaştırarak sensör kalibrasyonu ve atmosferik etkilerin değerlendirilmesini sağlamaktadır (Weng vd., 2004) ve bu çalışmada da bu yöntem esas alınmıştır. Çalışmada, Landsat-9 YS ürünlerinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, Amerika Birleşik Devletleri'nde yer alan çeşitli Köppen iklim bölgelerindeki SURFRAD (Yüze Radyasyon Ağı) istasyonlarından elde edilen yer tabanlı YYS verileri kullanılmıştır. Bu doğrulama, Landsat-9 YS verilerinin çeşitli iklim koşullarındaki performansını incelemek açısından kritik öneme sahiptir. Çalışmada, tropikal, kuru, ılıman, karasal ve kutup iklimlerinin, Landsat 9 kaynaklı YS gözlemlerinin doğruluğuna olan etkileri analiz edilmiştir.

## 2. ÇALIŞMA ALANI

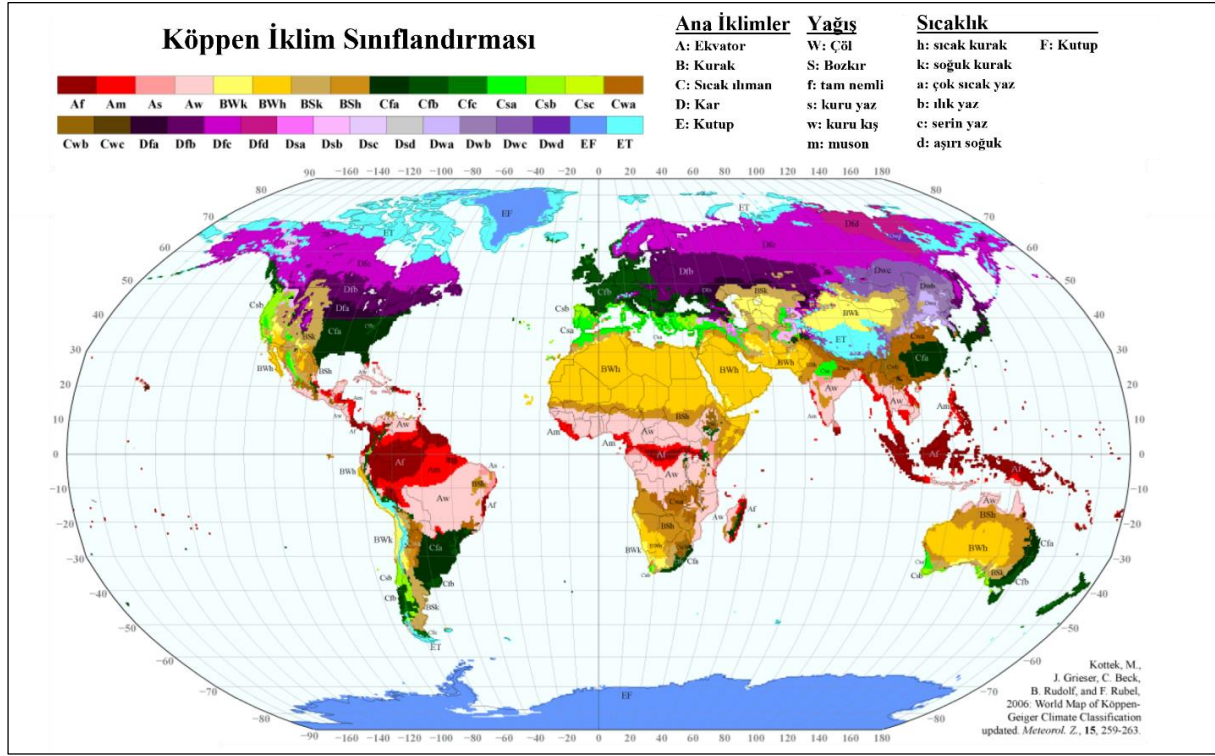
SURFRAD, NOAA (Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi) tarafından 1993 yılında kurulan bir ağıdır ve iklim araştırmalarını desteklemek amacıyla yüze radyasyon verilerinin doğru ve sürekli ölçümlerini sağlamaktadır. Bu ağ, ABD'nin farklı iklim bölgelerindeki yedi istasyondan oluşur: Montana, Colorado, Illinois, Mississippi, Pennsylvania, Nevada ve Güney Dakota. Her istasyon güneş ışınımı, geri yansıyan radyasyon, UVB (Ultraviyole B), meteorolojik parametreler gibi ölçümler yapmaktadır. Ağına faaliyete geçmesinden bu yana, ürünleri ve altyapısında çeşitli güncellemeler ve iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir (Augustine vd., 2005). SURFRAD, uydu bazlı yüze radyasyon tahminlerini doğrulamak ve iklim, hidrolojik, hava durumu modellerinin değerlendirilmesi için kritik veriler sunmaktadır. Veriler, kalite kontrolü yapıldıktan sonra günlük dosyalar halinde anonim FTP (Dosya Transfer Protokolü) ve web üzerinden ücretsiz olarak paylaşımına açıktır. Bu verilere <https://gml.noaa.gov/aftp/data/radiation/surfrad/> web adresinden ulaşılabilir. Çalışmada kullanılan farklı lokasyonlarda, farklı yüksekliklerde ve farklı iklim bölgelerinde bulunan 7 adet SURFRAD istasyonunun harita üzerindeki dağılımı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan SURFRAD istasyonları ve istasyonların harita üzerindeki dağılımı

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

İklim bilimi alanında önemli bir yere sahip olan Wladimir Köppen, 20. yüzyılın başlarında geliştirdiği Köppen İklim Sınıflandırması ile küresel iklim bölgelerinin tanımlanmasında yeni bir dönemi başlatmıştır. Köppen'in çalışması, yeryüzündeki çeşitli iklimlerin özelliklerini belirlemek ve sınıflandırmak amacıyla, bitki örtüsü ve sıcaklık-veri temelli bir yaklaşımı bir araya getiren bir sistem sunmaktadır. Kottek vd. (2006) yaptıkları çalışmada Köppen iklim sınıflandırmasına ait dünya haritasını oluşturmuşlardır (Şekil 2). Köppen iklim sınıflandırmasında iklimler A (tropikal), B (kuru), C (ılıman), D (kıtasal) ve E (kutupsal) olmak üzere beş temel grupta temsil edilmektedir. İklim sınıfları genellikle iki ve üç harf ile ifade edilmiştir. Sınıflandırmada ikinci harf bölgenin yağış durumunu, üçüncü harf ise bölgenin sıcaklığını ifade etmektedir. Örneğin; Dfa, sıcak-yaz nemli karasal iklimi temsil etmektedir.



Şekil 2. Köppen'e göre iklim sınıflandırmasının dünya haritası

Köppen İklim Sınıflandırmasına göre BND istasyonunda kışı şiddetli, her mevsim yağışlı ve yazı sıcak (Dfa), TBL istasyonunda soğuk yarı kurak iklimi (Bsk), DRA istasyonunda kurak sıcak çöl iklimi (Bwh), FPK istasyonunda (Bsk), GWN istasyonunda kışı ılık, her mevsim yağışlı ve yazı çok sıcak (Cfa), PSU istasyonunda kışı şiddetli, her mevsim yağışlı ve yazı serin (Dfb) ve son olarak SXF istasyonunda ise kışı şiddetli, her mevsim yağışlı ve yazı sıcak (Dfa) iklim tipleri görülmektedir (García-Rodríguez vd., 2022). Çizelge 1'de çalışmada kullanılan istasyonlara ait bazı bilgiler verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan SURFRAD istasyonlarının bilgileri ve Köppen İklim Sınıflandırmasına göre iklim tipleri.

İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik	Görüntü Sayısı	Arazi Örtüsü	İklim Tipi
BND	Bondville, Illinois	40.051°K	88.373°B	230 m	14	Tarla	Dfa
TBL	Mountain, Boulder, Colorado	40.124°K	105.236°B	1689 m	9	Seyrek Çayır	Bsk
DRA	Desert Rock, Nevada	36.623°K	116.019°B	1007 m	12	Seyrek Çayır	Bwh
FPK	Fort Peck, Montana	48.307°K	105.101°B	634 m	8	Otlak/Çayır	Bsk
GWN	Goodwin	34.254°K	89.872°B	98 m	17	Çayır, Doğal	Cfa

PSU	Creek, Mississippi Penn. State Univ., Pennsylvania	40.720°K	77.930°B	376 m	9	Bitki Mozaığı	Dfb
SXF	Sioux Falls, South Dakota	43.734°K	96.623°B	473 m	14	Otlak/Çayır	Dfa

Uzaktan algılama verilerinin büyük hacmi ve karmaşıklığı, bu verilerin işlenmesi ve değerlendirilmesi süreçlerinde önemli zorluklar yaratmaktadır. Bu noktada, web tabanlı platformlar, uzaktan algılama verilerinin daha etkin bir şekilde işlenmesi ve analiz edilmesi için güçlü bir çözüm sunmaktadır. Bu platformlardan birisi olan Google Earth Engine (GEE), büyük ölçekli uydu verilerinin depolanması, işlenmesi ve analiz edilmesine imkan tanıyarak, kullanıcılara hızlı ve verimli veri erişimi sunmaktadır. Çalışma kapsamında GEE’de Landsat-9 OLI/TIRS sensörleri tarafından üretilen verilerden türetilen atmosferik olarak düzeltilmiş yüzeysel yansımaları ve yüzeysel sıcaklıklarını içeren uydu verileri kullanılmıştır.

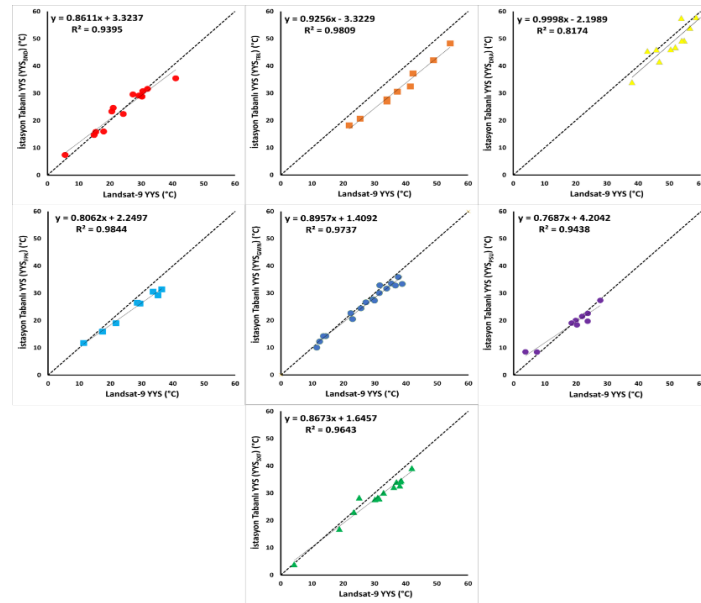
Görüntü tabanlı YYS sonuçları, yedi adet yerel tabanlı SURFRAD istasyonunun verileri kullanılarak doğrulanmaktadır. Bu istasyonlar doğrudan YYS ölçümleri sağlamadığından, YYS, Stefan-Boltzmann yasası ile ilgili olarak aşağıdaki Denklem (1) kullanılarak yukarı ve aşağı uzun dalga radyasyon ölçümlerinden hesaplanır:

$$YYS = \left[ \frac{F_{\lambda}^{\uparrow} - (1 - \varepsilon_b) \cdot F_{\lambda}^{\downarrow}}{\varepsilon_b \cdot \sigma} \right]^{1/4} \quad (1)$$

Burada,  $F_{\lambda}^{\uparrow}$  ve  $F_{\lambda}^{\downarrow}$  uydu geçişleri sırasında ölçülen yukarı ve aşağı yönlü termal kızılötesi (3-50  $\mu\text{m}$ ) ışınımı  $\text{W}/\text{m}^2$  cinsinden temsil eder.  $\sigma$ , Stefan-Boltzmann sabiti ( $5.670367 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ) ve  $\varepsilon_b$  ise istasyon cihazları tarafından ölçülmeyen geniş bantlı uzun dalga yüzeysel emisyon oranını ifade eder. SURFRAD istasyonları için uzun dalga geniş bantlı emisyon oranı 0.97 olarak kabul edilebilmektedir (Şekertekin ve Bonafoni, 2020).

#### 4. BULGULAR

Bu çalışmada, SURFRAD istasyonlarına ait uydu görüntüleri, bulut oranının en düşük seviyede olduğu zaman aralıkları seçilerek elde edilmiştir. Bu seçim, yüzeysel sıcaklıklarının uydu verilerine dayalı olarak doğru bir şekilde hesaplanabilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bulut oranının minimum düzeyde olması, uydu algılayıcılarının yüzeysinden gelen termal radyasyonu daha doğru bir şekilde tespit edebilmesi ve veri kalitesinin artırılması açısından kritik bir öneme sahiptir. SURFRAD istasyonlarına ait meteorolojik veriler, istasyonların bulunduğu konumlara ilişkin uydunun geçiş zamanı ile aynı dakikadaki ölçümler göz önüne alınarak toplanmıştır. Uydu verileri ile SURFRAD istasyonları arasındaki zaman uyumu, yüzeysel sıcaklıklarının doğru karşılaştırılması için gereklidir. Landsat 9 YYS ürünleri ile kullanılan yerel SURFRAD istasyonlarına ait YYS değerlerinin karşılaştırılması Şekil 3’teki saçılım grafiklerinde sunulmuştur.



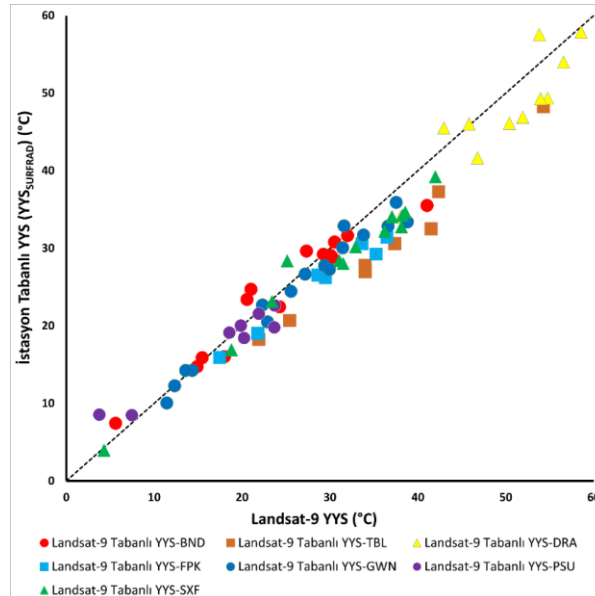
Şekil 3. Yer tabanlı SURFRAD istasyonlarından elde edilen YYS’ler ile Landsat-9 uydu verilerinden elde edilen YYS’lerin saçılım grafikleri

Çalışmanın doğruluk düzeyini değerlendirebilmek için doğruluk ölçütleri arasında en sık kullanılan Karese Ortalama Hata (KOH) esas alınmıştır. KOH, elde edilen değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasının karekökü alınarak hesaplanmaktadır. KOH'da değerlerin sıfıra yakın olması, modelin tahminlerinin gerçek değerlere daha yakın olduğunu, dolayısıyla daha başarılı bir performans sergilediğini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında 7 istasyona ait toplamda 83 adet farklı uydu görüntüsü kullanılmıştır. Landsat-9'dan elde edilen YYS'lerin istasyonlar üzerindeki YYS doğruluk sonuçları sırasıyla Çizelge 2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** Çalışma sonucunda her bir istasyon için elde edilen KOH değerleri

İstasyon Kodu	İstasyon Adı	İklim Tipi	Karesel Ortalama Hata
BND	Bondville, Illinois	Dfa: Kış ı şiddetli, her mevsim yağışlı, yaz ı sıcak	2.25
TBL	Table Mountain, Boulder, Colorado	Bsk: Soğuk Yarı Kurak İklim	6.30
DRA	Desert Rock, Nevada	Bwh: Kurak Çöl iklimi (Sıcak)	3.73
FPK	Fort Peck, Montana	Bsk: Soğuk Yarı Kurak İklim	3.47
GWN	Goodwin Creek, Mississippi	Cfa: Kış ı ılık, yaz ı çok sıcak ve her mevsim yağışlı iklim	2.11
PSU	Penn. State Univ., Pennsylvania	Dfb: Kış ı şiddetli, her mevsim yağışlı, yaz ı serin	2.21
SXF	Sioux Falls, South Dakota	Dfa: Kış ı şiddetli, her mevsim yağışlı, yaz ı sıcak	3.17

Çalışmada, KOH değerleri incelendiğinde en az hata 2,11 °C ile Cfa (Kış ı ılık, yaz ı çok sıcak ve her mevsim) iklim sınıfında yer alan GWN istasyonunda görülürken en fazla hata 6,30 °C ile Bsk (Soğuk Yarı Kurak İklim) iklim sınıfında olan TBL istasyonunda gözlemlenmiştir. Dfb (Kış ı şiddetli, her mevsim yağışlı, yaz ı serin) iklim sınıfında yer alan PSU istasyonuna ait değerlendirmeler de ikinci en iyi sonuçları sunmuştur. TBL ve FPK istasyonları aynı iklim sınıfında olmalarına karş ın Landsat 9 YS doğruluk değerlendirmelerinde farklı sonuçlar vermişlerdir. Ancak değerlendirmelerde kullanılan veri sayısının kısıtlı olması nedeniyle kesin bir neden-sonuç ilişkisi kurmak zor olmaktadır. Tüm veri setleri dikkate alındığında genel KOH değeri 3,39 °C olarak elde edilmiştir. Bütün bu veri setine ait saçılım grafiğ i Şekil 4'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Çalışma sonucunda istasyon bazlı YYS ve uydu bazlı YYS ile elde edilen saçılım grafiğ i

## 5. SONUÇLAR

Farklı iklim tiplerinin etkisini incelemek amacıyla yapılan karşılaştırmada, her istasyonun bulunduğu iklim koşulları ve bu koşulların modelin doğruluğuna olan etkileri gözlemlenmiştir. BND istasyonunun yer aldığı kışı şiddetli, her mevsim yağışlı ve yazı sıcak (Dfa) iklim tipinde, KOH 2,25 °C olarak hesaplanmıştır. Soğuk yarı kurak iklime (Bsk) sahip olan TBL ve FPK istasyonlarında sırasıyla 6,30 °C ve 3,47 °C KOH değerleri gözlemlenmiştir. TBL'deki yüksek hata oranı, step ikliminin yarı kurak doğası ve yüksek sıcaklık değişimleri ile ilişkilendirilebilir. FPK'de ise aynı iklim tipine rağmen daha düşük bir hata oranı, bölgesel faktörler veya topografyanın daha homojen yapıda olması ile açıklanabilir. DRA istasyonunda kurak sıcak çöl iklimi (Bwh) gözlemlenmekte olup, burada 3,73 °C KOH elde edilmiştir. Çöl ikliminin sıcaklık dalgalanmaları ve düşük nem oranı, uydu ve yer tabanlı veriler arasında sıcaklık farklarının daha belirgin hale gelmesine neden olmuş olabilir. Ilıman ve yağışlı (Cfa) iklim tipinde yer alan GWN istasyonunda KOH değeri 2,11 °C olarak hesaplanmıştır. Diğer istasyonlara göre daha düşük hata oranı, bu tür iklimlerin daha dengeli sıcaklık profilleriyle uydu verilerinin daha iyi eşleşmesini sağlamış olabileceği düşünülmektedir. Benzer şekilde, PSU istasyonunun yer aldığı kışı şiddetli, her mevsim yağışlı ve yazı serin (Dfb) iklim tipinde 2,21 °C KOH değeri gözlemlenmiştir. Son olarak, BND istasyonuyla aynı iklim tipine sahip olan SXF istasyonunun bulunduğu Dfa iklim tipinde 3,17 °C KOH değeri elde edilmiştir.

Genel olarak, çalışma sonuçlarına göre tüm istasyonlar için ortalama 3,39 °C KOH elde edilmiştir. Bu sonuç, farklı iklim tiplerinin YYS doğruluğunu etkilediğini göstermektedir. Daha ılıman ve dengeli iklimlerde (Cfa, Dfb) hata oranlarının daha düşük olduğu, buna karşın aşırı sıcaklık dalgalanmalarının yaşandığı yarı kurak ve çöl iklimlerinde (Bsk, Bwh) hata oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, iklim tiplerinin yersel veriler ve uydu verileri arasındaki sıcaklık farklarının yorumlanmasında kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Elde edilen farklılıklar, Landsat-9'un farklı iklim bölgelerindeki performansını anlamak için daha geniş bir veri seti ile yapılacak doğrulama çalışmalarının gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, bulutsuz veri sayısının sınırlı olması nedeniyle, bu çalışma sonuçlarının ön değerlendirme niteliğinde olduğu, daha geniş ve çeşitli veri setleri ile yapılacak analizlerle sonuçların daha da güçlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Anderson, M. C., Norman, J. M., Kustas, W. P., Houborg, R., Starks, P. J. ve Agam, N.,**2008. A thermal-based remote sensing technique for routine mapping of land-surface carbon, water and energy fluxes from field to regional scales. *Remote Sensing of Environment*, 112(12): 4227-4241.
- Augustine, J. A., Hodges, G. B., Cornwall, C. R., Michalsky, J. J. ve Medina, C. I.,** 2005. An update on SURFRAD-the GCOS surface radiation budget network for the continental United States. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22: 1460-1472.
- Bonafoni, S., Baldinelli, G. ve Verducci, P.,** 2017. Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies. *Sustainable Cities and Society*, 29: 211-218.
- Erenoglu, R. C., Arslan, N., Erenoglu, O. ve Arslan, E.,** 2019. Application of spectral analysis to determine geothermal anomalies in the Tuzla region, NW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 12: 1-15.
- García-Rodríguez, A., García-Rodríguez, S., Granados-López, D., Díez-Mediavilla, M. ve Alonso-Tristán, C.,** 2022. Extension of PAR models under local all-sky conditions to different climatic zones. *Applied Sciences*, 12(5): 2372.
- Jiang, Y. ve Weng, Q.,** 2017. Estimation of hourly and daily evapotranspiration and soil moisture using downscaled LST over various urban surfaces. *GIScience & Remote Sensing*, 54(1): 95-117.
- Kottke, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. ve Rubel, F.,** 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15: 259-263.
- Meng, X., Cheng, J. ve Liang, S.,** 2017. Estimating land surface temperature from Feng Yun-3C/MERSI data using a new land surface emissivity scheme. *Remote Sensing*, 9(12): 1247.
- Mia, M. B., Nishijima, J. ve Fujimitsu, Y.,** 2014. Exploration and monitoring geothermal activity using Landsat ETM+ images: A case study at Aso volcanic area in Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 275: 14-21.

**Mohammad, P., Goswami, A. ve Bonafoni, S.,** 2019. The impact of the land cover dynamics on surface urban heat island variations in semi-arid cities: a case study in Ahmedabad City, India, using multi-sensor/source data. *Sensors*, 19(17): 3701.

**Prasad, N., Bandi, R. G. ve Padmaja, B.,** 2013. Monitoring and extracting abnormalities in land surface temperature images for automatic identification of forest fires. In 2013 European Modelling Symposium, 215-219.

**Sekertekin, A. ve Arslan, N.,** 2019. Monitoring thermal anomaly and radiative heat flux using thermal infrared satellite imagery—A case study at Tuzla geothermal region. *Geothermics*, 78: 243-254.

**Sekertekin, A. ve Bonafoni, S.,** 2020. Land surface temperature retrieval from Landsat 5,7 and 8 over rural areas: assessment of different retrieval algorithms and emissivity models and toolbox implementation. *Remote Sensing*, 12: 294.

**Sekertekin, A., Kutoglu, S. H. ve Kaya, S.,** 2016. Evaluation of spatio-temporal variability in Land Surface Temperature: A case study of Zonguldak, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 188: 1-15.

**Weng, Q., Lu, D. ve Schubring, J.,** 2004. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4): 467-483.

**Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y. ve Sobrino, J. A.,** 2019. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, 11(1): 48.