



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 21.10.2022
Kabul Tarihi : 24.01.2023

Received Date : 21.10.2022
Accepted Date : 24.01.2023

ALBEDO, YER YÜZEY SICAKLIĞI VE NDVI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN LANDSAT-7 VE LANDSAT-8 UYDU VERİLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ: SAFRANBOLU ÖRNEĞİ

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ALBEDO, LAND SURFACE TEMPERATURE AND NDVI USING LANDSAT-7 AND LANDSAT-8 SATELLITE DATA: A CASE STUDY SAFRANBOLU

Emre YÜCER^{1*} (ORCID:0000-0003-0417-9338)

¹Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Emre YÜCER, emreyucer@karabuk.edu.tr

ÖZET

Gelişen uzaktan algılama teknolojileri, kentsel alanlarda meydana gelen yüzey parametrelerindeki değişimlerin izlenmesinde etkin şekilde kullanılmaktadır. Yerel ve küresel ölçekte yüzeylerin spektral ve termal özelliklerinden yararlanarak kentsel ısı adaları hakkında bilgiler elde edilmektedir. Çalışmamızda Dünya Kültür Mirası listesinde bulunan Karabük ilinin Safranbolu ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Albedo, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ve Yer Yüzey Sıcaklığı (YYS) değişkenlerinin hesaplanması için 12/08/1999 tarihli Landsat-7 ve 11/08/2019 tarihli Landsat-8 uydu verileri kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için korelasyon ve saçılım analizleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarda; YYS ve albedo arasında pozitif, YYS ve NDVI arasında negatif, albedo ve NDVI arasında negatif yönlü ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişkiler hem korelasyon analizinde hem de saçılım grafiklerinde benzer şekilde çıkmıştır. YYS, albedo ve NDVI arasındaki ilişkiyi etkileyen başlıca etmenler; yüzeydeki malzemenin türü, yüzeydeki nem miktarı, bitki örtüsü ve yoğunluğu şeklinde sıralanabilir.

Anahtar Kelimeler: Albedo, Landsat, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi, Safranbolu, yer yüzey sıcaklığı

ABSTRACT

Developing remote sensing technologies are effectively used in monitoring the changes in surface parameters in urban areas. Information about urban heat islands is obtained by utilizing the spectral and thermal properties of surfaces at local and global scale. In our study, Safranbolu district of Karabük province, which is on the World Cultural Heritage list, has been chosen as the application area. Landsat-7 satellite image data from 12/08/1999, and Landsat-8 satellite image data from 11/08/2019, were used to calculate the Albedo, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) variables. In the results, it was determined that there were positive relations between LST and albedo, negative relations between LST and NDVI, and negative relations between albedo and NDVI. These relationships were found similarly in both correlation analysis and scatter plots. The main factors affecting the relationship between LST, albedo and NDVI can be listed as the type of material on the surface, the amount of moisture on the surface, vegetation and its density.

Keywords: Albedo, Landsat, normalised difference vegetation index, Safranbolu, land surface temperature

ToCite: YÜCER, E., (2023). ALBEDO, YER YÜZEY SICAKLIĞI VE NDVI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN LANDSAT-7 VE LANDSAT-8 UYDU VERİLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ: SAFRANBOLU ÖRNEĞİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 177-190.

GİRİŞ

Kentsel ısı adaları ve kent merkezlerinde meydana gelen ısı artışları kentleşmenin ve buna bağlı hızlı nüfus artışının neden olduğu önemli bir olgudur. Kentleşme süreciyle birlikte kentsel ve kırsal alanlar arasında önemli sıcaklık farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Bu sıcaklık farklılıkları sadece büyük şehirlerde değil daha küçük şehirlerde de kendini göstermektedir (Rajasekar ve Weng, 2009; Stathopoulou vd., 2009). Kentsel ısı adalarının artması özellikle yaz aylarında enerji tüketimini maksimum seviyeye çıkarmaktadır. Bu ısı etkisini en aza indirmek için kentlerin akıllı tasarlanmasına ihtiyaç vardır. Bu kapsamda yapılacak en etkili strateji, kentsel alanlardaki yüzey yansıtım değerlerinin artırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda planlanan kentsel alanlar uzun vadede enerji tasarrufuna katkı sağlayacaktır (Anniballe vd., 2014; Yuan ve Bauer, 2007; Bretz vd., 1998).

Yerleşim alanları düşük ve yüksek yansıtıcılık arasında değer alan yüzeylerden oluşmaktadır. Bu yüzeyler, üzerinde sıcak ve soğuk tepe noktalarına sahip değişken termal bir model ortaya çıkarmaktadır. Güneşi yansıtan yüzeyler açık renkli olup, koyu renkli yüzeyler güneş ışığını daha fazla soğurur. Binalar ve çatı yüzeyleri düşünüldüğünde daha az soğurulan güneş ışınları daha düşük sıcaklık demektir. Buda binalarda soğutma talebinin ve enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlayacaktır (Saco vd., 2018; Wang ve Akbari, 2016).

Albedo bir yüzeyin soğurma ve yansıtım davranışlarını nicel olarak tanımlayan bir parametredir. Temel tanımıyla albedo, yer yüzeyinden yansıyan enerjinin gelen enerjiye oranına olarak adlandırılır. Albedo birimsiz bir ölçü değerine sahip olup 0 ve 1 arasında değerler almaktadır. Albedo değeri yüzeyin karakterine göre (toprak, beton, asfalt, metal vb.) değişebilmektedir. Akbari vd. (2009) mevcut çatıların ortalama albedo değerlerinin 0.25'i geçmediği, ancak yenilemeler ile yaklaşık olarak 0,55 ile 0,60'a kadar yükseltilebileceğinden bahsetmektedir. Özellikle konut ve sanayi tesislerinin çatılarında yansıtma katsayısı yüksek olan malzemelerle kaplanması ya da boyanmasıyla albedo değerleri artırılabilir (Bonafoni vd., 2017).

YYS (Yer Yüzey Sıcaklığı) tek başına bir değer olmanın yanında yeryüzü üzerinde farklı türdeki değişimlere de etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar YYS değerini; arazi kullanımı, küresel ısınma, bitki örtüsü yoğunluğu gibi çalışmalarda kullanmışlardır (Yıldız vd. 2017; Ndossi ve Avdan 2016; Li vd. 2013).

Kentsel alanlardaki albedo ve YYS değerlerinin belirlenmesi ve takip edilmesinde uzaktan algılama görüntüleri çok kullanışlıdır. Literatürde uydu görüntüleri ve uzaktan algılama teknolojileri yardımıyla yapılmış pek çok YYS çalışması bulunmaktadır. Chen vd. (2006) arazi değişimi ile ilgili yaptıkları çalışmalarında, arazi örtüsünde meydana gelen değişimleri YYS ile ilişkilendirip bunu açıklamaya çalışmışlardır. Prata vd. (2009) ve Li vd. (2013) uydu görüntülerindeki termal bantlardan YYS elde edilmesinde farklı algoritmaların karşılaştırıldığı çalışmalar yapmışlardır. Avdan ve Javanovska (2016) YYS belirlemek için geliştirdikleri modülde Landsat-8 uydu verilerini kullanmışlardır. Kullandıkları yöntemde YYS değerlerini meteorolojik verilerle karşılaştırmışlardır. Ndossi ve Avdan (2016) Landsat-8 uydu verilerinden YYS elde edilmesinde açık kaynak kodlu QGIS yazılımını kullanmışlardır. Bu yazılıma Python üzerinden eklenti yaparak sonuçları haritalandırmışlardır. Balçık ve Ergene (2017) Landsat-8 uydu görüntülerinden YYS hesaplanmasında split-window algoritmasını kullanmışlardır. Elde ettiği sonuçlarda, YYS ile yapay alanlar arasındaki ilişkiyi istatistiksel olarak irdelemişlerdir. Jeevalakshmi vd. (2017) yaptıkları çalışmada uydu verilerinde YYS elde edilmesinde doğruluk değerinin artırılması için NDVI ve arazi sınıflandırma verilerinden yararlanmışlardır. Erener ve Sarp (2018) Kocaeli ilindeki sanayi alanlarındaki mekânsal değişimi zamansal olarak incelemiş ve bu değişimin YYS arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

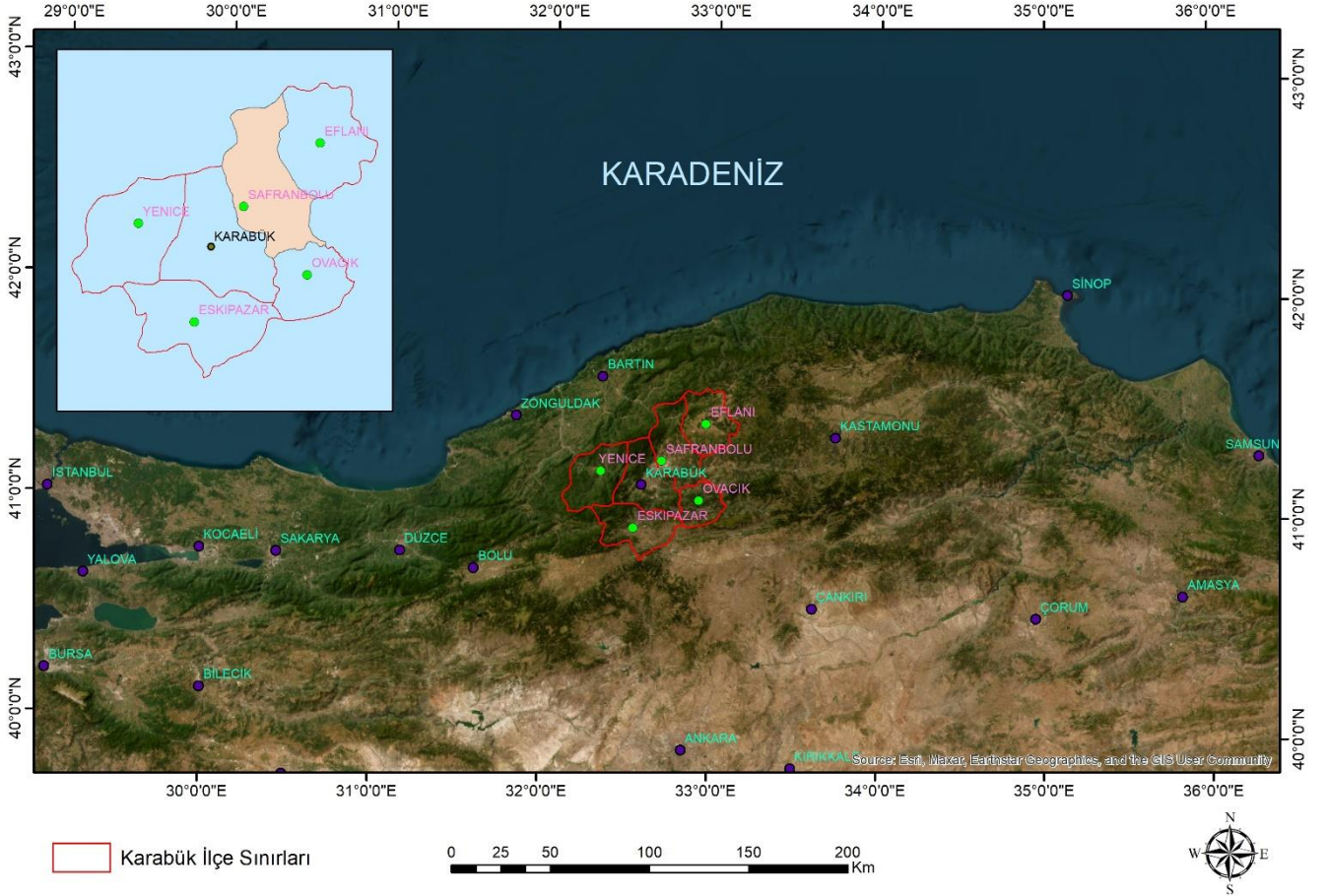
YYS ile ilgili yapılan farklı çalışmalarda kentsel alanlarda meydana gelen ısı artışlarının yavaşlatılması için öneriler getirilmiştir. Önerilen çözümler içinde en fazla öne çıkanlar; kentsel alanlardaki yüzey yansıtıcılığının artırılması (Wang ve Akbari, 2016; Dimoudi vd., 2014; Akbari vd., 2012; Suehrcke vd., 2008) ve kentsel alanlardaki bitki örtüsü (yeşil çatı, yeşil alanlar, sokak ağaçları) yoğunluğunun artırılması (Wang ve Akbari, 2016; Dimoudi vd., 2014; Givoni, 1991) yer almaktadır. Yapılan çalışmalarda Albedo ve YYS değerlerinin dağılımında bitki örtüsü yoğunluğunun etkili olduğu fikri ortak görüş olarak öne çıkmaktadır.

Literatürdeki yapılan çalışmalar incelendiğinde tek başına YYS tespiti üzerine çalışmalar olmakla birlikte, çalışmaların büyük kısmında arazi kullanımı, meteorolojik değişkenler, bitki örtüsü değişim gibi farklı bileşenlerle arasındaki ilişki incelenmiştir. Buradan hareketle çalışmamızın temel amacı: Landsat-7 ETM+ ve Landsat-8 OLI uydu görüntüleri kullanarak kentsel alanlardaki albedo, YYS ve NDVI değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu değerlerin hesaplanmasında farklı tarihli uydu verilerini kullanarak zamansal değişimde ortaya çıkarılacaktır. Son olarak

albedo, YYS ve NDVI değerleri arasındaki ilişki olup olmadığı, varsa bu ilişkinin ne yönde oluştuğunu ortaya koymak için korelasyon ve saçılım analizleri gibi istatistiksel metotlar uygulanacaktır.

ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

Çalışma alanı olarak Karabük ilinin Safranbolu ilçesi seçilmiştir. Safranbolu Türkiye'nin Batı Karadeniz bölgesinde, 41°16' kuzey enlemi ile 32°41' doğu boylamında bulunmakta olup Ankara'ya yaklaşık 230 km, İstanbul'da 400 km'dir (Şekil 1). Safranbolu UNESCO tarafından 1994 yılında Dünya Miras Listesi'ne alınmıştır. Safranbolu ilçesinin yüzölçümü 1013 km² olup büyük kısmı orman alanları ile çevrilidir. Engebeli bir topoğrafyaya sahip Safranbolu'nun en düşük rakımlı noktası yaklaşık 300 m, en yüksek rakımlı noktası 1750 m'dir (Safranbolu, 2022).



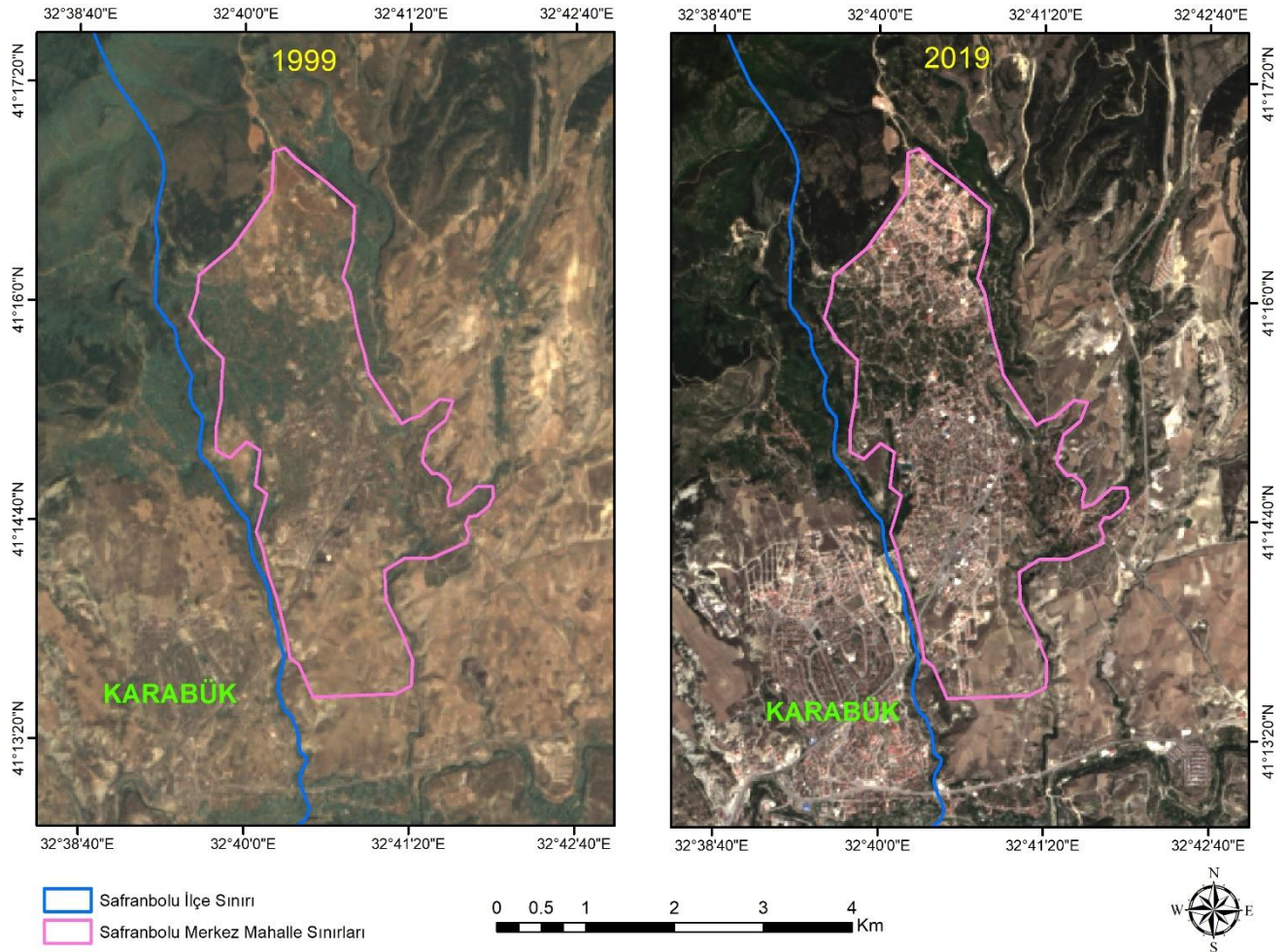
Şekil 1. Karabük ve Safranbolu İdari Sınırlar

Albedo, YYS ve NDVI değerlerinin hesaplanması ve sonuçların karşılaştırılmasında mevsimsel farklılık olmaması için 12/08/1999 tarih, 08:19 saatli Landsat-7 ETM+ ve 11/08/2019 tarih, 08:26 saatli Landsat-8 OLI uydu verileri kullanılmıştır. Landsat-7 ve Landsat-8 uydularının mekânsal çözünürlükler termal ve pankromik bantları dışında 30 m'dir. Landsat-7 uydusunun termal band (Band 6) 60 m mekânsal çözünürlüğe, Landsat-8 uydusunun termal bandı (Band 10-11) 100 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir (Şekil 2). Çalışma alanını içine alacak uydu verileri Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS) web sitesinden indirilmiştir (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

Şekil 3'de Safranbolu merkez mahalle sınırlarını içine alacak şekilde belirlenen çalışma alanı görülmektedir. Şekil 3'de altlık olarak kullanılan görüntüler, analizde kullanılacak verilerin doğal görüntü halinde getirilmiş band kombinasyonlarıdır.

Landsat-7 ETM+			Landsat-8 OLI		
	Mekânsal Çözünürlük	Spektral Çözünürlük(µm)	Spektral Çözünürlük(µm)	Mekânsal Çözünürlük	
			0.435 – 0.451	30 m	Band 1-Kıyı/Aerosol
Band 1-Mavi	30 m	0.441 - 0.514	0.452 - 0.512	30 m	Band 2-Mavi
Band 2-Yeşil	30 m	0.519 - 0.601	0.533 - 0.690	30 m	Band 3-Yeşil
Band 3-Kırmızı	30 m	0.631 – 0.692	0.636 – 0.673	30 m	Band 4-Kırmızı
Band 4-Yakın Kızılötesi (NIR)	30 m	0.772 – 0.898	0.851 – 0.879	30 m	Band 5- Yakın Kızılötesi (NIR)
Band 5-Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-1)	30 m	1.547 – 1.749	1.566 – 1.651	30 m	Band 6- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-1)
Band 6-Termal Kızılötesi (TIR)	60 m	10.31 – 12.36	10.60 – 11.19	100 m	Band 10-TIR-1
			11.50 – 12.51	100 m	Band 11-TIR-2
Band 7-Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-2)	30 m	2.064 – 2.345	2.107 – 2.294	30 m	Band 7- Kısa Dalga Kızılötesi (SWIR-2)
Band 8-Pankromik	15 m	0.515 – 0.896	0.503 – 0.676	15 m	Band 8-Pankromik
			1.363 – 1.384	30 m	Band-9- Cirrus

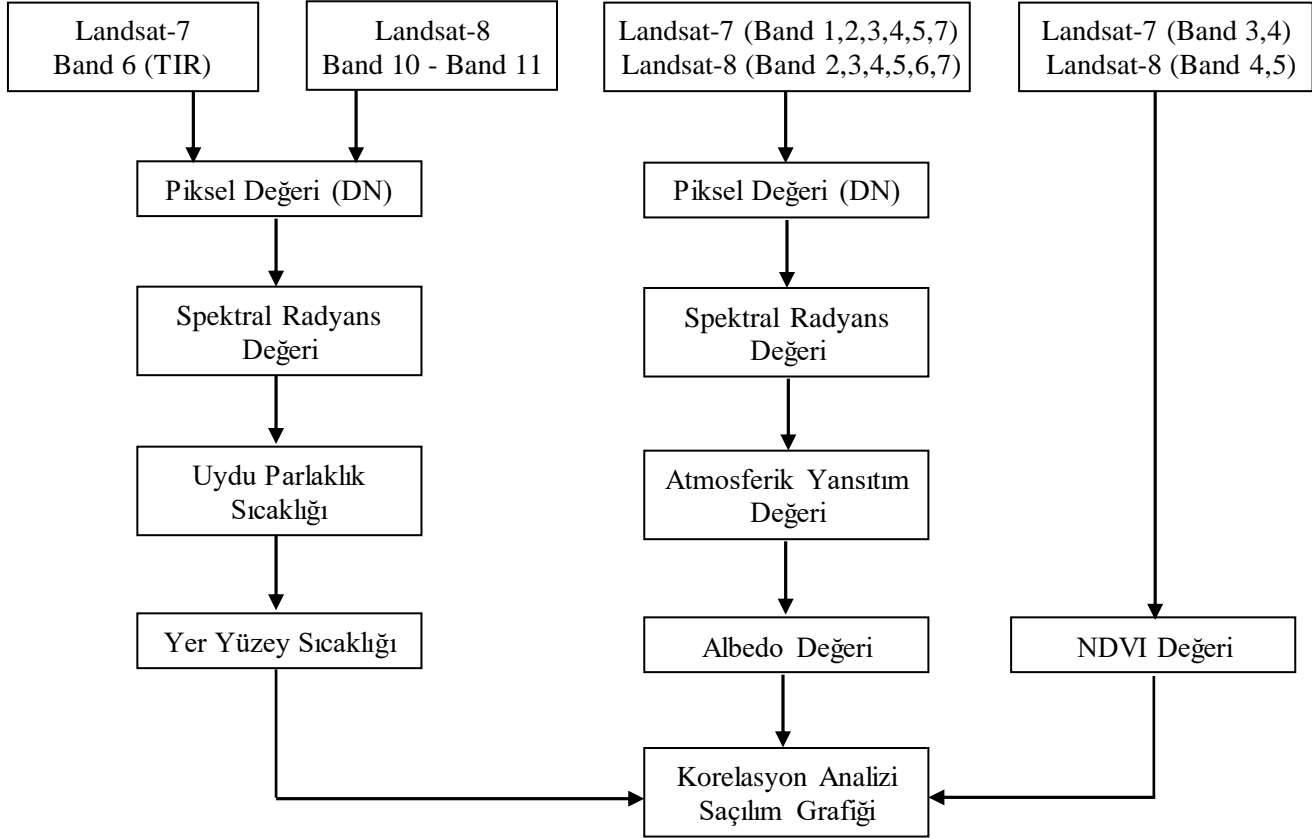
Şekil 2. Landsat-7 ve Landsat-8 Uydularındaki Bandların Teknik Özellikleri (Landsat, 2022)



Şekil 3. Çalışma Alanına ait 1999 Tarihli Landsat-7 ve 2019 Tarihli Landsat-8 Uydu Verilerinin Doğal Renk Kombinasyonu

METODOLOJİ

Çalışmanın ilk aşamasında 1999 ve 2019 yıllarına ait uydu verileri kullanılarak YYS, Albedo ve NDVI değerleri hesaplanacaktır. İkinci aşamada çalışma alanına ait elde edilen bu özelliklerin hem istatistiksel hem de görsel karşılaştırılması yapılarak aralarındaki ilişki açıklanmaya çalışılacaktır (Şekil 4). Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS) web sitesinden indirilen veriler kullanıma hazır verilerdir. Bu nedenle verilere geometrik ve radyometrik bir düzeltme işlemi uygulanmamıştır. YYS, Albedo ve NDVI değerlerinin hesaplanmasında ArcGIS yazılımından yararlanılmıştır. Sonuçların karşılaştırılması ve değerler arasındaki istatistiki ilişkinin ortaya çıkarılmasında SPSS programı kullanılmıştır.



Şekil 4. Albedo, YYS ve NDVI Değerlerinin Belirlenmesinin İş Akış Şeması

Yer Yüzey Sıcaklığının Hesaplanması (YYS)

Uydu teknolojilerindeki teknik gelişmeler, uydu görüntülerindeki termal bantların kullanılarak yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasına imkân sağlamaktadır. Kullanılan uydu görüntülerindeki ısı bölgede algıma yapan bantların özelliklerine ve sayılarına bağlı olarak mono-window, single channel, split window gibi algoritma geliştirilmiştir. Çalışmamızdaki YYS hesaplanmasında, Artis ve Carnahan, (1982) çalışmalarında kullandıkları, daha sonradan yeniden uyarlanan ve pek çok araştırmacı tarafından kullanılan algoritmalarından yararlanılmıştır.

YYS'nin hesaplanma sürecindeki ilk aşama görüntüyü oluşturan piksel değerlerinin (DN) radyans değerine dönüştürülmesidir. Bu aşamada Landsat-7 (Eşitlik 1) ve Landsat-8 (Eşitlik 2) görüntülerin için iki farklı eşitlik kullanılmıştır (Polat, 2020; Roy vd., 2020; Anandababu vd., 2018; Gupta, 2003).

$$L_{\lambda} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIX_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \cdot (QCAL - QCALMIN) + LMIX_{\lambda} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de: L_{λ} = TOA Spektral radyans değeri, $QCAL$ = Pikselin kalibre edilmiş DN değeri, $LMIN_{\lambda}$ = En düşük spektral parlaklık, $LMAX_{\lambda}$ = En yüksek spektral parlaklık, $QCALMIN$ = Pikselin kalibre edilmiş en düşük DN değeri $QCALMAX$ = Pikselin kalibre edilmiş en yüksek DN değeridir.

$$L_{\lambda} = ML \cdot Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

Eşitlik 2’de: L_λ = TOA Spektral radyans değeri, M_L = Bandlar için radyans çarpımsal ölçeklendirme faktörü, A_L = Bandlar için radyans ilave ölçeklendirme faktörü, Q_{cal} = Kalibre edilmiş Level 1 piksel değeridir (Akyürek, 2020; Roy vd., 2020; Şener, 2016; Yılmaz, 2015; Barsi vd., 2014).

Termal uydu verilerindeki DN değerleri radyans değerine dönüştürüldükten sonra Eşitlik 3 kullanılarak uydu parlaklık sıcaklığına dönüştürülür.

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273.15 \quad (3)$$

Eşitlik 3’te: T_B = Uydu parlaklık sıcaklığı (K), L_λ = TOA spektral radyans (Watts/(m² * srad * µm)), K_1 = Band 10 ve Band 11 için termal dönüşüm sabiti, K_2 = Band 10 ve Band 11 için termal dönüşüm sabitidir (Akyürek, 2020; Polat, 2020; Roy vd., 2020; Avdan ve Jovanovska, 2016; Şener, 2016).

Eşitlik 3’ten elde edilen uydu parlaklık sıcaklığı Kelvin cinsindedir. Santigrada çevirmek için 273.15 çıkarılması gerekir. Elde edilen uydu parlaklık sıcaklığı Eşitlik 4 kullanılarak YYS’ne dönüştürülür.

$$T = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \cdot \frac{T_B}{\alpha}\right) \cdot \ln \varepsilon} \quad (4)$$

Eşitlik 4’te: T_B = Yer Yüzey Sıcaklığı, λ = Yayılan ışığın dalga boyu, $\alpha = h \cdot c / s = 14388 \mu\text{m K}$, h = Planck’s sabiti s = Boltzman sabiti, c = Işık hızı, ε = Yüzey yayınlığıdır (Polat, 2020; Zhang vd., 2006).

Eşitlik 7’deki ε değeri yüzey yayınlığını ifade etmektedir. Yüzey yayınlığı görüntüden elde edilen NDVI değerleri kullanılarak Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 yardımıyla iki aşamada hesaplanmaktadır. NDVI değerinin hesaplanmasında kırmızı ve yakın kızıl ötesi bandlardan yararlanır. Bu bandlar Landsat-7 uydusunda Band-3 (Kırmızı) ve Band-4 (Yakın Kızıl Ötesi) ile temsil edilirken, Landsat-8 uydusunda Band-4 (Kırmızı) ve Band-5 (Yakın Kızıl Ötesi) ile temsil edilmektedir (Eşitlik 5). NDVI görüntüleri üzerinden maksimum ($NDVI_{MAX}$) ve minimum ($NDVI_{MIN}$) değerleri kullanılarak Eşitlik 6 yardımıyla Bitki Örtüsü Oranı P_v hesaplanır. P_v değeri kullanılarak Eşitlik 7 yardımıyla yüzey yayınlığı elde edilir (Akyürek, 2020; Polat, 2020; Giannini vd., 2015; Sobrino vd., 2004)

$$NDVI = \frac{[Yakın Kızıl Ötesi - Kırmızı]}{[Yakın Kızıl Ötesi + Kırmızı]} \quad (5)$$

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \right]^2 \quad (6)$$

$$\varepsilon = 0,004 \cdot P_v + 0,986 \quad (7)$$

Albedo Değerinin Hesaplanması

Albedo yüzeylerin yansıtma gücü olarak tanımlanmasının yanında, temel tanımıyla, yer yüzeyinden yansıyan enerjinin gelene enerjiye oranına albedo denilmektedir. Albedo birimsiz bir ölçü değerine sahip olup 0 ve 1 arasında değerler almaktadır. Albedo değeri yüzeyin karakterine göre değişebilmektedir (Tablo 1) (Ahrens ve Henson, 2015; Oke, 2002).

Albedo değerinin hesaplanmasında araştırmacılar tarafından farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Uygulamamızda Shuai vd. (2014) ve Wang vd. (2016) çalışmalarında kullanılan yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde mavi, yeşil, kırmızı, NIR, SWIR-1 ve SWIR-2 bandları kullanılmıştır. Albedo değerinin hesaplanabilmesi için ilk yapılması gereken ilgili sensörlerin atmosferik yansıtım değerinin bulunmasıdır. Sensörlerin yansıtım değeri Landsat-7 ve Landsat-8 uydu verilerinde iki adımda hesaplanabilmektedir. Eşitlik 8, Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 yazılı olan dönüşüm formülleri Landsat-7 ve Landsat-8 Kullanıcı El Kitabı’ndan alınmıştır.

Tablo 1. Yüzey Türlerine Göre Albedo Değerleri

Yüzey Türü	Albedo Değeri
Su	0,10-0,60
Kar (temiz)	0,80-0,95
Tuğla-Taş	0,20-0,40
Ekili Alan	0,10-0,25
Çayır	0,25-0,30
Karışık Orman	0,10-0,20
Şehir	0,15
Asfalt	0,05-0,10
Parlak Çatı	0,35-0,50
Koyu Çatı	008,018

Landsat-7 uydu verilerindeki yansıtım değerini hesaplayabilmek için öncelikle Eşitlik 1'e göre uydu bandlarındaki radyans (L_λ) değerinin hesaplanması gerekmektedir. Radyans değeri hesaplandıktan sonra Eşitlik 8 kullanılarak sensördeki yansıtım değeri belirlenir.

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos \theta_s} \quad (8)$$

Eşitlik 8'de: ρ_p = Atmosferik yansıtım değeri, $\pi = 3.14159$, L_λ = Spektral radyans değeri, d = Dünya-Güneş mesafesi $ESUN_\lambda$ = Ortalama güneş ekzo-atmosferik ışınımları, θ_s = Derece cinsinden güneş zenit açısıdır.

Landsat-8 uydu verilerinde ilk adımda düzeltme getirilmemiş yansıtım değeri bulunur (Eşitlik 9). Elde edilen bu değer yerel güneş yükseklik açısı (θ_{SE}) ya da yerel güneş zenit açısı (θ_{SZ}) kullanılarak düzeltilir (Eşitlik 10).

$$\rho'_\lambda = M_p \cdot Q_{cal} + A_p \quad (9)$$

Eşitlik 9'de: ρ'_λ = Spektral yansıtım değeri (Güneş açısı değeri olmaksızın), M_p = Bandlar için yansıtma çarpımsal ölçeklendirme faktörü, A_p = Bandlar için yansıtma ilaveli ölçeklendirme faktörü, Q_{cal} = Kalibre edilmiş Level 1 piksel değeri (DN)

$$\rho_\lambda = \frac{\rho'_\lambda}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho'_\lambda}{\sin(\theta_{SE})} \quad (10)$$

Mavi, yeşil, kırmızı, NIR, SWIR-1 ve SWIR-2 bandlarının yansıtım değerleri hesaplandıktan sonra Eşitlik 11'e göre albedo değerleri hesaplanır (Wang vd. 2016; Shuai vd. 2014).

$$SA = b_{Mavi} \cdot \rho_{Mavi} + b_{Yeşil} \cdot \rho_{Yeşil} + b_{Kırmızı} \cdot \rho_{Kırmızı} + b_{NIR} \cdot \rho_{NIR} + b_{SWIR1} \cdot \rho_{SWIR1} + b_{SWIR2} \cdot \rho_{SWIR2} + b_0 \quad (11)$$

Eşitlik 11'deki ρ bandlara ait yansıtım değerini, b ilgili bandlara ait dönüşüm katsayısını temsil etmektedir. b değerleri Tablo 2'de Landsat-7 ve Landsat-8 verileri için ayrı ayrı verilmiştir (Mariano vd., 2018; Zhao vd., 2018; Cunha vd., 2019).

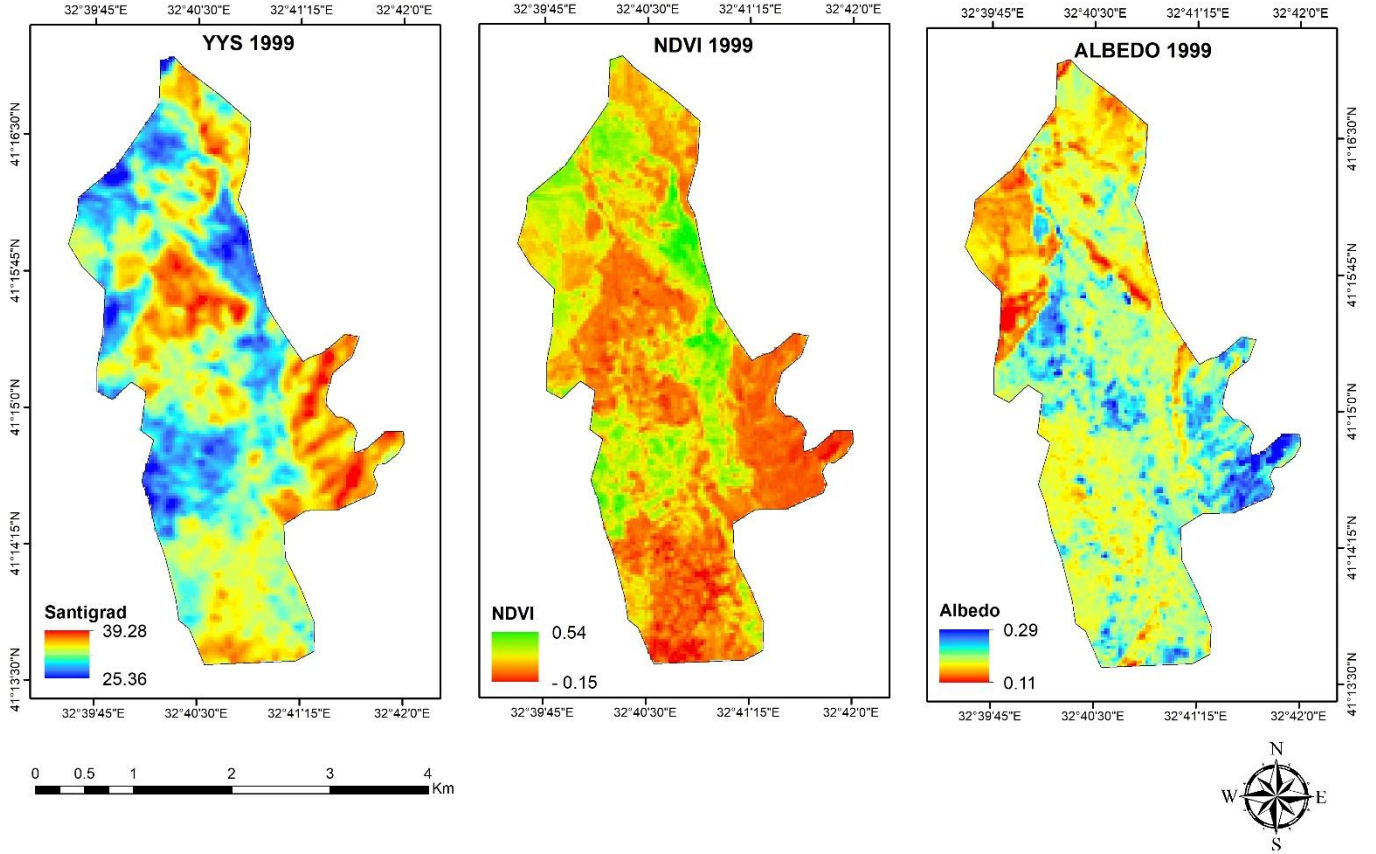
Tablo 2. Farklı Landsat Verileri için Albedo Hesaplamada Kullanılan Band Dönüştürme Katsayıları

	b_{Mavi}	$b_{Yeşil}$	$b_{Kırmızı}$	b_{NIR}	b_{SWIR1}	b_{SWIR2}	b_0
Landsat-7	0,3141	0	0,1607	0,3694	0,1160	0,0456	- 0,0057
Landsat-8	0,2453	0,0508	0,1804	0,3081	0,1332	0,0521	0,0011

BULGULAR

Yüzeyle yönelik birincil geri bildirim albedonun değişmesidir. Kuru bitki örtüsü ve çıplak toprak, genellikle biyolojik olarak aktif bitki örtüsünden daha yüksek albedoya sahiptir (Otterman, 1974). Bunun yanında bitki örtüsü yoğunluğunu ortaya çıkaran NDVI indeksi yüzey hakkında bilgi veren diğer bir bilgi kaynağıdır. Albedo değeri ve NDVI değerlerindeki farklılıklar yüzeydeki sıcaklık değerlerinde değişmeye neden olmaktadır. Yüzey sıcaklığında meydana gelen bu değişim Albedo, NDVI ve YYS arasında bir ilişkinin olabileceğini göstermektedir.

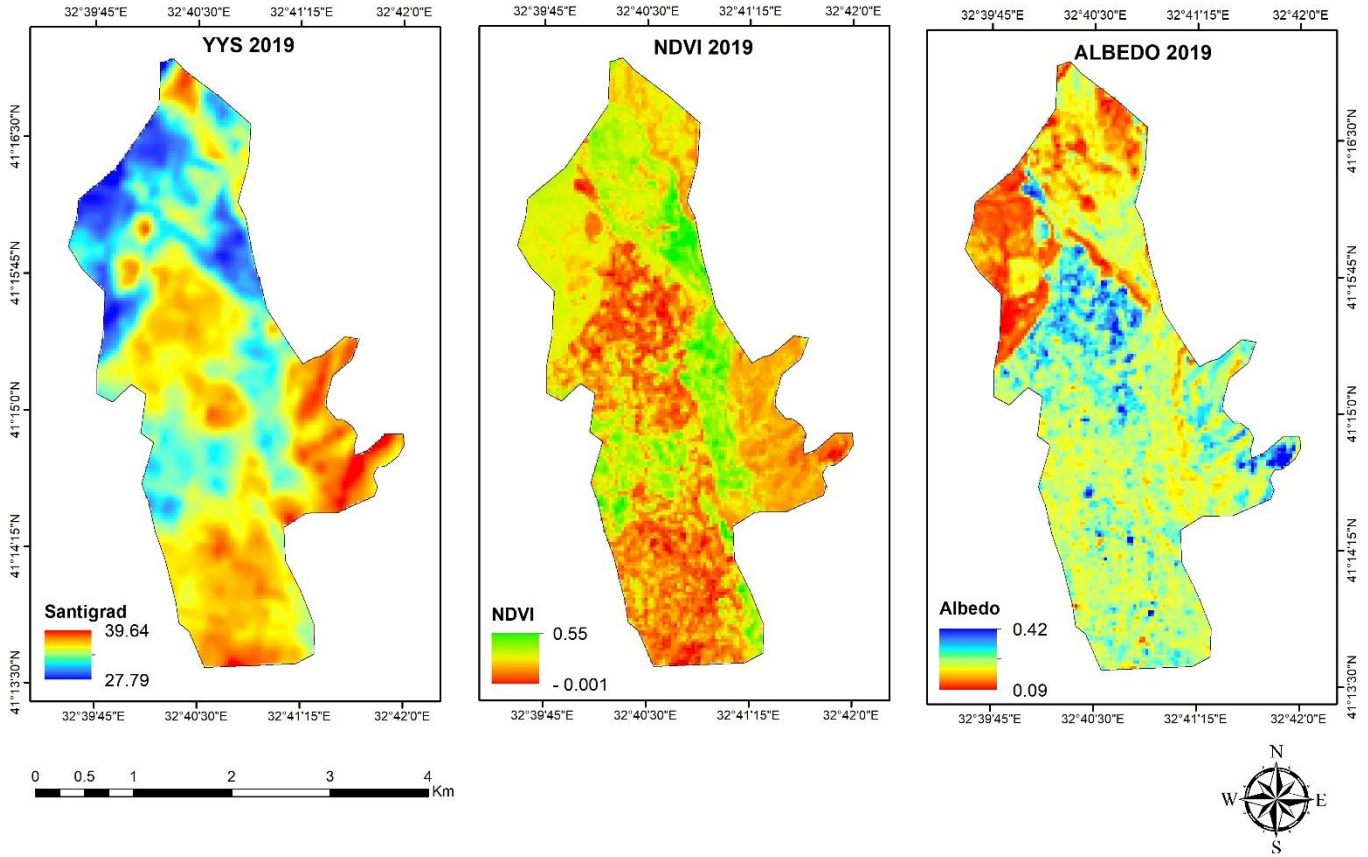
Çalışmanın ilk aşamasında 1999 ve 2019 yıllarına ait Albedo, NDVI ve YYS değerleri ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 5. Landsat-7 Uydu Verisi Kullanılarak Elde Edilen YYS, NDVI ve Albedo Haritası

Şekil 5'e göre çalışma alanındaki en yüksek sıcaklığın 39.28 °C olduğu tespit edilmiştir. Bölgenin büyük kısmında NDVI değerinin 0'm altında olduğu görülmektedir. NDVI dağılımıyla YYS dağılım arasında negatif yönde benzerlik olduğu, yani NDVI değerinin negatif olduğu bölgelerde yüksek sıcaklık değerinin görüldüğü anlaşılmaktadır. Bu benzerlikten, bitki örtüsü açısından zayıf olan kısımlarda yüzey sıcaklığının daha fazla olduğu sonucu ortaya çıkarmaktadır. YYS yüksek olduğu bölgelerde albedo değerinin yüksek olduğu görülmektedir. 1999 yılında değişkenler arasındaki ilişkinin benzeri 2019 yılında da görülmektedir (Şekil 6).

YYS, NDVI ve Albedo arasındaki korelasyon analizi sonuçları (% 95 güven aralığında) Tablo 3'te görülmektedir. Tablo 3'e göre; YYS, NDVI ile negatif korelasyona sahipken Albedo ile pozitif korelasyona sahiptir. NDVI hem YYS ile hem de Albedo ile negatif korelasyona sahiptir. Albedo ise YYS ile pozitif, NDVI ile negatif korelasyon ilişkisi göstermektedir. Korelasyon katsayıları ve diğer sayfalarda verdiğimiz (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9) saçılım grafikleri incelenirken göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta bu görüntülerin ağustos ayna ait görüntüler olduğudur. Özellikle Albedo ve NDVI değerlerindeki mevsimsel olarak farklılıklar bu değişkenlerin YYS ile arasındaki korelasyonun pozitif veya negatif çıkmasına neden olmaktadır. Buna ek olarak 1999 ve 2019 yılları arasında korelasyon katsayılarını karşılaştırdığımızda; Albedo ve YYS arasında ilişkinin düşük bir oranda kuvvetlendiği, bunun dışındaki tüm ilişkilerdeki katsayılar azalmanın olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Landsat-8 Uydu Verisi Kullanılarak Elde Edilen YYS, NDVI ve Albedo Haritası

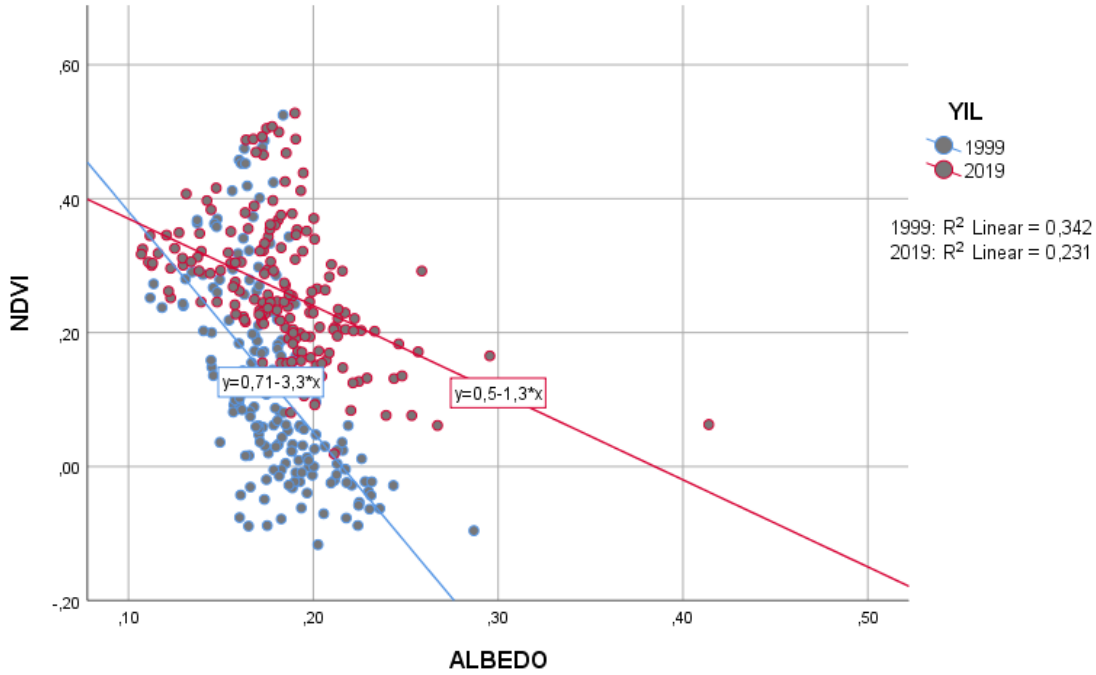
Tablo 3. YYS, NDVI ve Albedo Değerleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları (1999-2019)

	1999			2019			
YYS	1	-0,819	0,506	YYS	1	-0,718	0,527
NDVI	-0,819	1	-0,584	NDVI	-0,718	1	-0,48
Albedo	0,506	-0,584	1	Albedo	0,527	-0,48	1

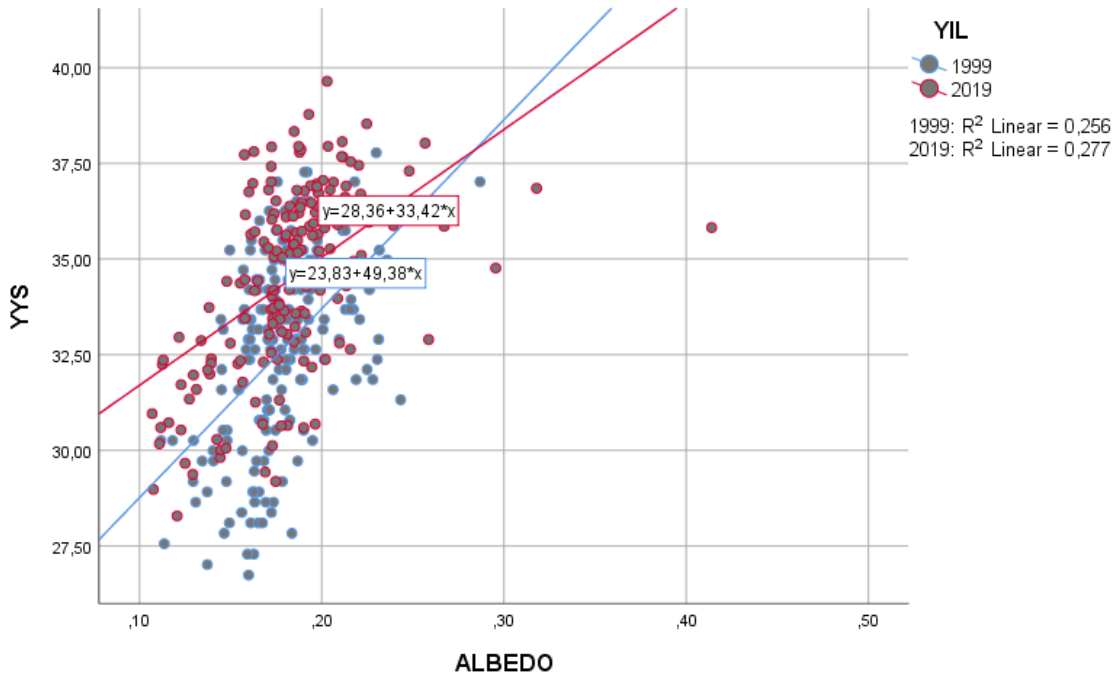
Albedo ve NDVI arasında negatif yönlü lineer ilişkinin olduğu Şekil 7'deki saçılım grafiğinde ortaya çıkarılmıştır. Bu negatif ilişkiyi Tablo 3'teki Pearson korelasyon katsayıları da (1999: -0.584; 2019: -0.48) göstermektedir. Bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde NDVI değeri 1'e yakın değerler alırken, bitki örtüsünün olmadığı alanlarda 0'ya yakın değerler almaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6'daki NDVI ve albedo dağılım haritası incelendiğinde çalışma alanının merkez ve güney bölgelerinde NDVI değerinin düşük, albedo değerinin ise yüksek olduğu görülmektedir. Buda bize bitki örtüsü yoğunluğunun fazla olduğu alanların, bitki örtüsü yoğunluğunun az veya hiç olmadığı alanlara göre albedo değerinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Albedo ve NDVI arasındaki negatif yönlü bu ilişki saçılım grafiğinden de anlaşılmaktadır. Albedo ve NDVI arasındaki negatif ilişkinin kuvveti 2019 yılında 1999 yılına göre azalmıştır.

Albedo ve YYS değerleri arasındaki ilişki mevsimlere göre farklılaşabilmektedir. Mevsimsel değişimlerde özellikle canlı bitki örtüsü yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde bu değişim daha fazla ortaya çıkmaktadır (Zolotokrylin vd., 2020). YYS ve Albedo arasında pozitif bir ilişkinin olduğunu saçılım grafiği Şekil 8'de görülmektedir. Bunun yanında bu değişkenler arasındaki pozitif ilişki korelasyon katsayılarından da (1999: 0.506; 2019: 0.527) ortaya çıkarılmıştır. Albedo ve YYS arasındaki ilişki mevsime göre farklılık göstermektedir. Özellikle radyasyon tipi yüzey sıcaklığının hâkim olduğu dönemlerde, yağışlı dönemlerde, negatif ilişki ortaya çıkmaktadır (Zolotokrylin vd., 2020). Bunun yanında yağışın az olduğu, kuru dönemlerde albedo ve YYS sıcaklığı eş zamanlı olarak değişir. Bu

mevsimlerde radyasyon tipi yüzey sıcaklığının zayıfladığını göstermektedir. 2019 yılında Albedo ve YYS arasındaki ilişki 1999'a göre düşük bir değerde de olsa artmıştır.

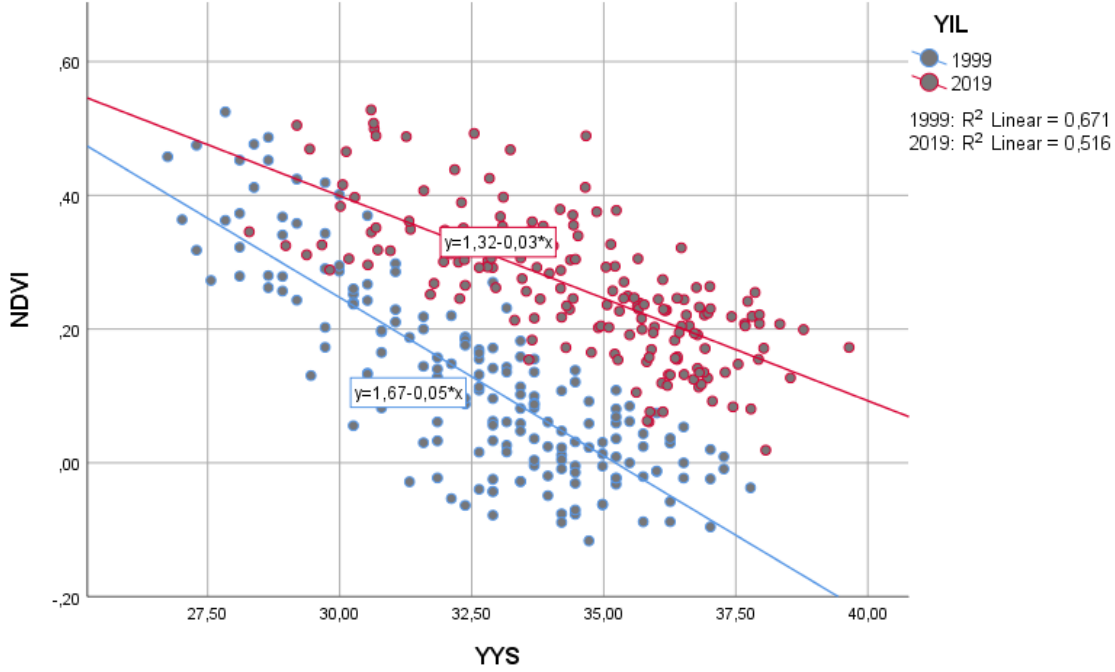


Şekil 7. Çalışma Alanına ait NDVI ve Albedo Değerlerinin Saçılım Grafiği



Şekil 8. Çalışma Alanına ait YYS ve Albedo Değerlerinin Saçılım Grafiği

Şekil 8'deki NDVI ve YYS arasındaki saçılım grafiğinden iki değişken arasında doğrusal negatif ilişkinin olduğu anlaşılmaktadır. Benzer sonuçlar korelasyon katsayılarından da (1999:-0.819, 2019: -0.718) elde edilmiştir. Bitki örtüsü bakımından yoğun bölgelerde yüzey sıcaklığının düşük olduğu, buna karşın bitki örtüsü zayıf alanlarda yüzey sıcaklığının daha yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. 20 yıllık süreçte NDVI ve YYS arasındaki negatif ilişkinin kuvvetinde düşüş olmuştur.



Şekil 9. Çalışma Alanına ait NDVI ve YYS Değerlerinin Saçılım Grafiği

SONUÇ VE TARTIŞMA

Çalışmamızda 12/08/1999 tarih, 08:19 saatli Landsat-7 ETM+ ve 11/08/2019 tarih, 08:26 saatli Landsat-8 OLI uydu görüntüleri kullanılarak Karabük ili Safranbolu ilçesinin ilçe merkezine ait Albedo, NDVI ve YYS değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değişkenlerin aralarındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için korelasyon analizi ve saçılım grafikleri oluşturulmuştur.

Albedo ve NDVI arasında negatif yönlü doğrusal bir ilişki ortaya çıkmıştır. Cunha, vd. (2019), Zolotokrylin vd. (2020) ve yaptıkları çalışmalarda albedo ve NDVI arasında negatif yönlü ilişki olduklarını tespit etmişlerdir. Bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgeler yüksek NDVI değerine sahiptir. Buna karşın bu bölgelerde albedo değeri düşük seyretmektedir. Tersisi durumda da bitki örtüsünün olmadığı bölgelerde düşük NDVI değeri gözlemlenirken, albedo değeri diğer bölgelere oranla daha yüksektir.

Albedo ve YYS arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğu saçılım grafiğinden anlaşılmaktadır. Zolotokrylin vd. (2020) yaptıkları çalışmada, albedo ve YYS arasındaki ilişkinin yıl boyunca farklılık gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bu ilişkinin farklılaşmasının temelinde mevsimsel etkilerin olduğu belirtilmiştir. Topraktaki nem bu ilişkiyi büyük oranda etkilemektedir. Yağışlı dönemlerde negatif yönlü ilişki görülürken, yağışların az olduğu kurak dönemlerde pozitif ilişki görülmektedir. Çalışmamızda yağışın en az olduğu ağustos ayına ait görüntülerin kullanıldığı göz önüne alındığında, yapılan çalışmayla benzer sonuçlar ortaya çıktığı görülmektedir.

YYS ve NDVI arasında ise negatif yönlü ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Taşdelen (2019), Akyürek (2020), Polat (2020), Orhan (2021) yaptıkları çalışmalarda NDVI değeri yüksek, bitki örtüsü yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde YYS daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Düşük NDVI değerine sahip yapılaşmanın, sanayi alanlarının yoğun olduğu bölgelerde YYS yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bu ilişki bitki örtüsü yoğunluğunun yüzey sıcaklığının üzerindeki etkisini kanıtlamaktadır. Bitki yoğunluğu arttıkça yüzeydeki ısınmanın daha az olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalarla benzer sonuçlar ortaya koyan çalışmamızda YYS ve NDVI arasındaki negatif ilişki istatistiksel olarak ortaya çıkarılmıştır.

Günümüzde uzaktan algılama teknolojileri yardımıyla yer yüzeyi hakkında pek çok bilgi elde edilebilmektedir. Uydu kaynaklı gözlemlerin yer ölçümleri ile doğrulanması, uydu verilerinden YYS, albedo ve NDVI değişikliklerinin zamanla izlenmesini mümkün kılan, bunu yaparken istenilen bölgeyi çalışma esnekliği ve analizlerin kısa sürede hesaplaması gibi muazzam avantajlar sağlamaktadır.

Kentsel alanlarda yüzey malzemesi olarak kullanılan asfalt, beton, kiremit, alüminyum vb. malzemelerin albedo değerlerinin ve bu malzemelerin kentsel ısı adalarının oluşumu üzerindeki etkileri üzerine uluslararası alanlarda yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Türkiye’de kentsel alanlar üzerinde yüksek çözünürlüklü uydu verilerinden yararlanılarak kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Ahrens, C. D., & Henson, R. (2015). *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*, Eleventh Edition, Cengage Learning, Boston.
- Akbari, H., Menon, S., & Rosenfeld, A. (2009). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. *Climatic Change*, 94, 275-286. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9515-9>
- Akbari, H., Damon Matthews, H., & Seto, D. (2012). The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. *Environmental Research Letters*, 7, 1–10. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024004>
- Akyürek, Ö., (2020). Termal uzaktan algılama görüntüleri ile yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi: Kocaeli örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 377-390. <http://dx.doi.org/10.21324/dacd.667594>
- Anandababu, D., Puruhothaman B. M., & Babu, S.S. (2018). Estimation of land surface temperature using landsat 8 data. *International Journal of Advance Research, Ideas And innovations in Technology*, 4(2), 177- 186.
- Anniballe, R., Bonafoni, S., & Pichierri, M. (2014). Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using Modis data. *Remote Sensing of Environment*, 150, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.05.005>
- Artis, D. A., & Carnahan, W.H. (1982). Survey of Emissivity Variability in Thermography of Urban Areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(82\)90043-8](https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8)
- Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>
- Barsi, J., Schott, J., Hook, S., Raqueno, N., Markham, B., & Radocinski, R. (2014). Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607- 11626. <https://doi.org/10.3390/rs61111607>
- Balçık F. B., & Ergene E. M., (2017). Yer yüzey sıcaklığının termal uzaktan algılama verileri ile belirlenmesi: İstanbul örneği. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği 9. Teknik Sempozyumu*, ss 21.
- Bonafoni, S., & Baldinelli, G., & 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*, 17(29), 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.005>
- Bretz, S., Akbari, H., & Rosenfeld, A. (1998). Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. *Atmospheric Environment*, 32(1), 95-101. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00182-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00182-9)
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y., (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 133-146. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.11.016>
- Cunha, J., Nóbrega, R., Rufino, I., Erasmi, S., Galvão, C., & Valente, F. (2019). Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: evidence from the Brazilian Caatinga. *Remote Sensing of Environment*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111250>
- Dimoudi, A., Zoras, S., Kantzioura, A., Stogiannou, X., Kosmopoulos, P., & Pallas, C. (2014). Use of cool materials and other bioclimatic interventions in outdoor places in order to mitigate the urban heat island in a medium size city in Greece. *Sustainable Cities and Society*, 13, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.04.003>
- Erener, A., & Sarp G., (2018). Spatiotemporal distribution of industrial regions and impact on LST in the case of Kocaeli. *FIG Congress Proceedings*.
- Giannini, M.B., Belfiore, O.R., Parenta, C., & Santamaria, R. (2015). Land surface temperature from landsat 5 tm images: comparison of different methods using airborne thermal data. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 8(3), 83-90.

- Givoni, B. (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment*, 25, 289–299. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U)
- Gupta, R. P. (2003). *Remote Sensing Geology (Second Edition)*, Springer, Verlag.
- Jeevalakshmi, D., Reddy, S. N., & Manikiam B., (2017). Land surface temperature retrieval from landsat data using emissivity estimation. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(20), 9679-9687.
- Landsat. (2022). <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/>
- 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>
- Mariano, D. A., Santos, C. A. C., Wardlow, B. D., Anderson, M. C., Schiltmeyer, A. V., Tadesse, T., & Svoboda, M. D. (2018). Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in northeastern Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 213, 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.048>.
- Ndossi, M. I., & Avdan U., (2016). Açık kaynak kod teknoloji kullanılarak yer yüzey sıcaklığının belirlenmesinde yeni bir eklentinin geliştirilmesi. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, ss 1135-1141.
- Otterman, J. (1974). Baring high-albedo soils by overgrazing: hypothesized desertification mechanism. *Science*, 186 (4163), 531–533. <https://doi.org/10.1126/science.186.4163.531>
- Oke, T. R. 2002. *Boundary Layer Climates*. Routledge: New York.
- Polat, N. (2020). Mardin ilinde uzun yıllar yer yüzey sıcaklığı değişiminin incelenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2 (1), 10-15
- Prata, A. J., Caselles, C. C., Sobrino, J. A., & Otle, C., (2009), Thermal remote sensing of land surface temperature from satellites: current status and future prospects. *Remote Sensing Reviews*, 12, 175-224. <https://doi.org/10.1080/02757259509532285>
- Rajasekar, U., & Weng, Q. H. (2009). Spatio-temporal modelling and analysis of urban heat islands by using Landsat TM and ETM plus imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(13), 3531–3548. <https://doi.org/10.1080/01431160802562289>
- Roy, S., Pandit, S., Eva, E. E., Bagmar, M. S. H., Papia, M., Banik, L., Dube, T., Rahman, F., & Razi, M.A. (2020), Examining the nexus between land surface temperature and urban growth in Chattogram metropolitan area of Bangladesh using long term landsat series data. *Urban Climate*, 2(2020), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100593>
- Saco, P. M., Moreno-de las Heras, M., Keesstra, S., Baartman, J., Yetemen, O., & Rodríguez, J. F. (2018). Vegetation and soil degradation in drylands: Nonlinear feedbacks and early warning signals. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.06.001>.
- Safranbolu Belediyesi website. (2022). <https://www.safranbolu.bel.tr/>
- Sobrino, J. A., & Raissouni, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 353-66. <https://doi.org/10.1080/014311600210876>
- Stathopoulou, M., Synnefa, A., Caralis, C., Sanamouris, M., Karless, T., & Akbari, H. (2009). A surface heat island study of Athens using high-resolution satellite imagery and measurements of the optical and thermal properties of commonly used building and paving materials. *International Journal of Sustainable Energy*, 28(1), 59–76. <https://doi.org/10.1080/14786450802452753>
- Shuai, Y., Masek, J. G., Gao, F., Schaaf, C. B., & He, T. (2014). An approach for the long-term 30-m land surface snow-free albedo retrieval from historic Landsat surface reflectance and MODIS-based a priori anisotropy knowledge. *Remote Sensing of Environment*, 152, 467–479. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.009>
- Suehrcke, H., Peterson, E. L., & Selby, N. (2008). Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. *Energy and Buildings*, 40, 2224–2235. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.015>

- Şener, E. (2016). Burdur Gölü Yüzev Sıcaklığı Mevsimsel Değişiminin Landsat 8 Uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(2), 67-73. <https://doi.org/10.21923/jesd.31386>
- Yıldız, A., Bağcı, M., Başaran, C., Çonkar, F. E., & Ayday C., (2017). Landsat 8 uydu verilerinin jeotermal saha araştırmalarında kullanılması: Gazlıgöl (Afyonkarahisar) çalışması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 277-284.
- Yılmaz, E. (2015). Landsat görüntüleri ile Adana yüzev ısı adası. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(2), 115-138. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000167
- Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.003>
- Wang, Y., & Akbari, H. (2016). Analysis of urban heat island phenomenon and mitigation solutions evaluation for Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 26, 438–446. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.015>
- Wang, Z., Erb, A. M., Schaaf, C. B., Sun, Q., Liu, Y., Yang, Y., Shuai, Y., Casey, K. A., & Román, M. O. (2016). Remote sensing of environment early spring post-fire snow albedo dynamics in high latitude boreal forests using Landsat-8 OLI data. *Remote Sensing of Environment*, 185, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.059>.
- Zhao, Y., Wang, X., Novillo, C.J., Arrogante-Funes, P., Vázquez-Jiménez, R., & Maestre, F.T. (2018). Albedo estimated from remote sensing correlates with ecosystem multifunctionality in global drylands. *J. Arid Environ*, 157, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.010>.
- Zolotokrylin, A. N., Brito-Castillo, L., & Titkova, T. B. (2020). Local climatically-driven changes of albedo and surface temperatures in the Sonoran Desert. *Journal of Arid Environments*, 178, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104147>