

Antalya Yüzey Isı Adası Özelliklerinin Uydu Verileri ile Analizi

(Analyzing of Antalya Surface Heat Island by using Satellite Data)

Serhat Şensoy

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara
ssensoy@mgm.gov.tr

Laila Shahin

Jordan Meteorological Department
Amman, Ürdün
laila_n_shahin@yahoo.com

Yrd. Doç. Dr. Erkan Yılmaz

Coğrafya Bölümü
Ankara Üniversitesi, DTCF, Ankara
eryilmaz@ankara.edu.tr

Necla Türkoğlu

Coğrafya Bölümü
Ankara Üniversitesi, DTCF, Ankara
nturkoglu@ankara.edu.tr

İhsan Çiçek

Coğrafya Bölümü
Ankara Üniversitesi, DTCF, Ankara
ihsan.cicek@ankara.edu.tr

Volkan Darende

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Yazılım ve Donanım Şb.Müdürlüğü, Ankara
vdarende@mgm.gov.tr

Başak Yazıcı

Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Klimatoloji Şube Müdürlüğü, Ankara
byazici@mgm.gov.tr

ÖZET

Sanayi, ticaret, ulaşım, turizm, eğitim ve kültürel faaliyetlerin gelişmiş olması şehirleşmede etkili olan faktörlerdir. Günümüzde şehirler hem yatay hem de dikey yönde gelişmektedirler. Değişen arazi örtüsü ve yapılaşma nedeniyle şehirler çevrelerine göre farklı sıcaklık özellikleri gösterirler. Bu farklı sıcaklık koşulları 2m. hava sıcaklığı ile ölçüldüğünde “şehir ısı adası (ŞIA)”, yüzey sıcaklığı ile belirtildiğinde ise “yüzey ısı adası (YIA)” adını alır. Antalya şehri hem deniz kenarında bulunması hem de içerdiği çok sayıda sera nedeniyle diğer şehirlerden farklı bir arazi örtüsüne

sahiptir. Bu çalışmada Antalya ve yakın çevresinde YIA'nın yıl içindeki değişimi araştırılmıştır. Çalışmada, Landsat uydu görüntüleri, meteorolojik veriler ve tanımlayıcı istatistikler kullanılmıştır. Uydu görüntülerinin termal bantlarından yüzey sıcaklık modelleri üretilmiş ve yıl içinde gösterdiği farklılıklar analiz edilmiştir. Kontrollü sınıflandırma yöntemiyle oluşturulan arazi örtüsüne göre yüzey sıcaklıklarındaki farklılıklar belirlenmiştir. Kışın Antalya şehri, yüzey sıcaklığı açısından çevresindeki alanlardan daha düşük YIA; buna karşılık hava sıcaklığı açısından deniz etkisindeki kıyı istasyonu pozitif ŞIA özellikleri göstermektedir. Kışın deniz yüzey sıcaklığı diğer tüm alan yüzeylerinden sıcaktır. Kışın şehrin doğusundaki sera alanları etrafına göre sıcak görülmektedir. Bu da ısıtıldıklarının göstergesidir. İlkbaharda yoğun şehir alanlarında ve havaalanında pozitif YIA belirgindir. Kara yüzeyleri deniz yüzeylerinden sıcaktır. Yaz aylarında Antalya yoğun şehir alanlarında pozitif YIA ve ŞIA değerleri mevcuttur. Deniz yüzeyleri kara yüzeylerinden soğuk olduğundan kıyı kesimlerinde daha düşük YIA değerleri vardır. Sonbaharda şehirde eylülde de devam eden pozitif YIA değerleri ekim ve kasım aylarında zayıflamaktadır. Kasım ayında kara ve deniz yüzeyleri yaklaşık YIA değerlerine sahiptir. Denizin etkisiyle Antalya kıyılarında daha ılıman iklim özellikleri görülürken, yoğun şehir alanlarında ise kışın negatif yazın pozitif YIA özellikleri görülür. Yıl içindeki normalize edilmiş vejetasyon indeksi (NDVI) değerleri analiz edilmiş; buna göre en yüksek NDVI değerlerine nisan ayında rastlanmıştır. Çalışmada yüzey sıcaklıkları ile NDVI değerleri arasındaki ilişkiler de incelenmiş; iki parametre arasında kış aylarında negatif, yaz aylarında ise pozitif korelasyonlar bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Antalya, yüzey sıcaklığı, şehir ısı adası, YIA, ŞIA, NDVI

Abstract: Industry, commerce, transportation, tourism, education, and cultural activities affect urbanization. Today, cities are developing horizontally and vertically. Due to changing land cover and settlement, cities show different temperature characteristics according to their surroundings. These different temperature conditions are referred to “surface urban heat island (SUHI)” when indicated by surface temperature and “urban heat island (UHI)” when measured by 2m temperature. Antalya city has different land cover than other cities since existed greenhouses and being located seaside. In this study, change of SUHI in Antalya and its surroundings was investigated. Landsat satellite images, station data and descriptive statistics were used. Surface temperature models were produced from the thermal bands of satellite images and differences during the year were analyzed. Differences in surface temperatures were determined according to the land cover created by controlled classification. In winter, Antalya has lower SUHI values than surrounding whereas coastal stations show positive UHI characteristics. In winter, sea surface temperature is warmer than all other surfaces. In winter, the greenhouses located eastern part, are seen warm due to heating. In spring, dense urban areas and airport have positive SUHI. Land surfaces are hotter than sea surfaces. In summer, there are positive SUHI and UHI values in dense urban areas. Since sea surfaces are colder than land's, there are lower SUHI values in coastal areas. In autumn, positive SUHI values continuing in September are weak in October and November. In November, land and sea surfaces have about SUHI values. Temperate climatic characteristics can be seen on the Antalya coast while dense urban areas show, negative SUHI for winter, positive SUHI for summer. Normalized difference vegetation index (NDVI) values were analyzed accordingly; highest NDVI indices were seen in April. According to relationships between surface temperatures and NDVI, negative correlations in winter and positive in summer have been found.

Keywords: Antalya, land surface temperature, urban heat island, UHI, SUHI, NDVI

1. GİRİŞ

Şehir ısı adası (ŞIA), suni bir yapı olan şehirlerin çevrelerindeki yarı doğal-doğal kırsal alanlara göre daha sıcak olma durumu olarak tanımlanmaktadır. Şehirler, değişen yapı malzemesi ve şehir morfolojisine bağlı olarak, güneşten gelen radyasyonu daha fazla tutmakta ve radyasyonu geri

yansıtma da geciktirici rol oynamaktadır. Bu durum şehirde farklı enerji bilançosu oluşmasına, değişen arazi örtüsüne göre ısı ve enerji kapanı meydana gelmesine neden olmaktadır. Şehrin dikey gelişimi, gelen radyasyonun emilme sayısını artırarak şehir kanyonlarını üretmekte ve şehir ısı adası etkisi büyümektedir. Özellikle şehir kanyonları bu etkileri artırmakta ve şehirleri, çevrelerine göre farklı iklim özellikleri gösteren “mikro ve mezo klima” alanları yapmaktadır.

Çevrelerine göre daha sıcak ve soğuk olabilen şehirler, ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarında farklılıklar yaratmakta, sıcaklık streslerine neden olmaktadır [1]. Şehirlerde yaşayan yoğun nüfus ve endüstri faaliyetine bağlı olarak kirlilik artmaktadır. Şehirler çevrelerine göre hem dikey hem de yatay görüş oranının azaldığı bölgeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Şehirlerde hidrolojik döngü kesintiye uğramaktadır. Bunlara bağlı olarak şehirler, insan sağlığını ve yaşam kalitesini etkileyen hava olaylarının görüldüğü yerlerin başında gelmektedir.

ŞIA, sadece sıcaklık açısından farklılıklar yaratmamakta, şehirdeki rüzgar paternini değiştirmekte, yağış şeklinde ve tipinde değişikliklere neden olmakta, gizli ısıyı ortadan kaldırarak su buharı ve nem dağılışında değişiklikler yaratmakta nihayetinde de termal konfor değişiklikleri oluşturmaktadır [2-4]. Şehrin büyümesi bu farklılıkları daha da artırmaktadır.

Şehrin çevresi ile olan meteorolojik farkları birçok yöntemle çalışılabilmekte, her yöntem farklı yönlerini göstermektedir. Yersel istasyonlara bağlı çalışıldığında, şehir ve kırsal alan arasındaki meteorolojik değişkenler arasındaki farklar, bu farkların azaldığı ve arttığı dönemleri ortaya çıkarılabilmektedir. Bunun yanında termal kameralar, termal uydu görüntüleri ve kızılötesi hava fotoğrafları ile de şehir sıcaklıkları çalışılabilmektedir. Bu durumda ise hava sıcaklığı değil, şehirden yayılan enerji ölçülmekte yani yüzey sıcaklıkları araştırılmaktadır. Hava sıcaklığının kırsal alanlara göre yüksek olma durumu “şehir ısı adası (ŞIA)” (urban heat island) olarak tanımlanırken, şehrin yüzey sıcaklığı açısından kırsal alanlara göre sıcak olma durumu “yüzey ısı adası (YIA)” (surface urban heat island-SUHI) olarak ifade edilmektedir [5]. Şehirsel alanın dikey yöndeki atmosfer şartları ravinsonde ile yapılan ölçümlerle araştırılabilmekte, bu sayede “şehir domu” incelenebilmektedir. Mobil ölçümlerle de şehir iklimi çalışmaları yapılabilmekte ve şehrin bir hattındaki değişkenler incelenebilmektedir.

Türkiye’de şehir ısı adası çalışması birkaç şehirde yapılmış, yüzey ısı adası ile ilgili çalışmalar ise daha sınırlı kalmıştır. Her şehrin birbirinden farklı arazi kullanımları söz konusudur. Antalya şehri, seraları, tarihi yapıları, denizi, otelleri ve hızlı yapılaşması ile farklı arazi yüzeylerine sahiptir ve bu nedenlerle YIA ve ŞIA açısından incelenmeye değer. Bu çalışmada, Antalya’nın 1970’lerden günümüze gösterdiği değişim incelenmiş, özellikle son döneminde YIA’nın yıl içinde nasıl bir karakterde olduğu anlaşılmasına çalışılmıştır. Şehir ve çevresinde, uydu görüntüsünün alındığı dönemde hangi arazi örtüsündeki YIA şiddetinin fazla olduğu anlaşılmasına çalışılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI ÖZELLİKLERİ

Antalya, Akdeniz Bölgesinin batısında yer alır (Şekil 1) ve 2015 yılı nüfusu 2.288.456 ile Türkiye’nin beşinci büyük, 20,909 km² lik yüzölçümü ile de altıncı büyük şehirdir. Öte yandan tarihi yapıları, sahillerinin güzelliği ve bölgedeki çok sayıda 5 yıldızlı otelleri ile Türkiye turizminin başkenti sayılabilir. Aynı zamanda sera tarımı ile de önemli bir tarımsal potansiyele sahiptir. Torosların ve denizin sınırlandırıcı etkisi nedeniyle şehir doğu-kuzey yönüne doğru gelişmiştir. Şehir nüfusu 1965-1970 yılları arası %19, 1970-1075 yılları arası %16 artmıştır. Bu hızlı büyüme yavaşlamış olarak (%3) bugün halen devam etmektedir. Antalya’da ekonomik hayat büyük oranda ticaret, tarım ve turizme dayalıdır. Antalya Türkiye’de en çok antik kent bulunan ildir. Sırasıyla Likyalılar, Lidyalılar, Pamfilyalılar, Bergamalılar, Romalılar, Bizanslılar, Selçuklular, Osmanlılar ve son olarak da Türkiye Cumhuriyeti hakimiyetinde bulunmuş fakat bu medeniyetlerin hiçbirine başkent olmamıştır. Yükseltisi 0-300m arasında değişen Antalya şehri, tamamı Akdeniz Bölgesi’nin batısında yer alır ve

Antalya Körfezi'yle Batı Torosların arasında kurulmuştur. Şehir son dönemlerde kuzeye ve doğuya doğru genişlemiştir.



Şekil 1. Antalya şehri lokasyon haritası.

Antalya, Akdeniz ikliminin tipik olarak görüldüğü bir alandır. Antalya meteoroloji istasyonu verilerine göre (1970-2015) şehir ve çevresi en fazla yağışı kış aylarında almakta, yaz yağışlarının çok az olduğu bu alanda yıllık ortalama toplam yağış 1074 mm'nin üzerine çıkmaktadır. En soğuk ay olan ocak ayı sıcaklık ortalaması 10°C'a yaklaşan Antalya'da yaz aylarındaki sıcaklık ortalaması 25°C'yi geçmekte, şehirde 6 ay yaz günü ($T_{max} > 25^{\circ}C$) yaşanmaktadır [6]. Şehirde maksimum sıcaklıklar ise 45°C'ye kadar çıkabilmektedir. (Tablo1). Mayıs-eylül arası 10 saati geçen güneşlenme süresi aralık ve ocak aylarında 5 saate kadar düşmektedir.

Antalya, Köppen iklim sınıflanmasına göre (*Csa*) kışı ılık, yazı sıcak ve kurak Akdeniz iklimine, Aydeniz ve De Martonne iklim sınıflandırmalarına göre *yarı nemli*, Erinç iklim sınıflandırmalarına göre *nemli*, Thornthwaite sınıflandırmasına göre (*B1,B'3,s2,b'3*) nemli, mezotermal, su noksanı yaz mevsiminde, yaz buharlaşma oranı %53, deniz tesirinde bir iklime sahiptir [7].

Tablo 1. Antalya iklim verileri

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıl
Maks. Sıcaklık °C	23,9	25,9	28,8	36,4	38,0	44,8	45,0	44,6	42,1	37,7	33,0	25,4	45,0
Ort. Maks. sıcaklık, °C	14,9	15,5	18,0	21,3	25,6	30,9	34,2	34,2	31,2	26,6	21,1	16,6	24,1
Ort. sıcaklık, °C	9,9	10,4	12,7	16,2	20,5	25,3	28,4	28,2	24,8	20,0	14,9	11,4	18,5
Ortalama min. sıcaklık, °C	6,0	6,3	8,0	11,2	15,0	19,6	22,7	22,7	19,4	15,2	10,6	7,5	13,6
Min. sıcaklık °C	-3,4	-4,6	-1,6	1,4	6,7	11,1	14,8	15,3	10,6	4,9	0,8	-1,9	-4,6
Ortalama yağış, mm	231,9	150,2	103,2	55,5	31,4	7,7	2,8	3,1	15,8	80,1	135,0	257,9	1.074,6

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

3. VERİ VE YÖNTEM

Bu çalışmada, her aya ait 1 Landsat uydu görüntüsü kullanılmış, bu görüntülerin tek bir yıla ait olması istenmişse de bulutluluk nedeni ile bu gerçekleşmemiş, görüntüler bir önceki yıllara başvurulmuş tamamlanmıştır. Elde edilen görüntülerden yüzey sıcaklıkları üretilmiş ve arazi örtüsü oluşturulmuştur. Görüntülerin alındığı günlerde, yersel istasyonlardaki hava sıcaklıkları da değerlendirmiş, yüzey sıcaklıkları ile hava sıcaklıkları arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.

3.1. Uydu Görüntüleri ve Kullanılan Algoritmalar

Çalışmada Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) uydu görüntülerinin termal bantları kullanılarak yüzey sıcaklık modelleri üretilmiştir (Tablo). Sıcaklık modeli üretimi Landsat 8 görüntülerinin 10. bandı (TIRS sensörü) ile yapılmış, daha sonra her uydu görüntüsüne ait bantların kendi içinde aritmetik ortalamaları alınarak her aya ait tek bir sıcaklık modeli oluşturulmuştur.

Tablo 2: Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin tarihleri, görüntüyü alan uydu ile şehir ve çevresindeki maksimum, minimum ve ortalama yüzey sıcaklıkları.

Görüntü Tarihi	Uydu ve sensör	Y_{max}	Y_{min}	Y_{ort}	Y_{std}
2015-Ocak-11	Landsat 8 OLI	14,6	-0,6	8,8	2,0
2015-Şubat-12	Landsat 8 OLI	13,8	0,5	8,9	1,7
2014-Mart-13	Landsat 8 OLI	20,7	-8,9	12,6	1,9
2015-Nisan-17	Landsat 8 OLI	36,4	15,6	22,5	3,1
2015-Mayıs-19	Landsat 8 OLI	48,2	21,8	33,8	5,1
2014-Haziran-17	Landsat 8 OLI	44,9	22,2	33,6	5,1
2015-Temmuz-22	Landsat 8 OLI	52,5	27,2	40,5	5,8
2015-Ağustos-07	Landsat 8 OLI	43,5	26,0	33,9	3,7
2015-Eylül-08	Landsat 8 OLI	39,8	24,7	32,0	3,3
2015-Ekim-10	Landsat 8 OLI	34,2	19,3	25,8	2,1
2013-Kasım-21	Landsat 8 OLI	22,1	9,6	16,5	1,1
2015-Aralık-13	Landsat 8 OLI	16,6	5,0	12,7	1,4

Açıklama: Y_{max} -Maksimum yüzey sıcaklığı, Y_{min} -Minimum yüzey sıcaklığı, Y_{ort} -Ortama yüzey sıcaklığı, Y_{std} -Yüzey sıcaklık standart sapmasını ifade etmektedir.

Landsat 8 görüntüleri toplam 12 banttan oluşmaktadır. Bu bantların çeşitli kombinasyonlarına algoritmalar uygulanarak çeşitli indisler üretilmektedir [8]. Landsat 8 uydusunun 10. (10,30-11,30 μ) ve 11. (11,50-12,50 μ) bantları termal bantlar olarak tanımlanmaktadır [9]. Fakat 11. Bantta arıza olduğu bildirildiğinden sıcaklıklar 10. banttan elde edilmiştir. 100 metrelik mekansal çözünürlüğü olan bantlardan yüzey sıcaklık modeli oluşturulması, birkaç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak bantlardaki yansımaya değerleri (0-255) spektral radyans (SR) değerine çevrilir (Eşitlik 1). İkinci işlem yansımaya değerlerinin yayılan enerjiye çevrimidir (Eşitlik 2). En sonunda ise elde edilen Kelvin enerji yayılma değerleri selsiyus ölçeğine çevrilir (Eşitlik 3) ve bunların aritmetik ortalaması alınarak yüzey sıcaklık modeli oluşturulur.

$$SR_{L8} = M_L * YD + A_L \dots \dots \dots [1]$$

$$T_K = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{SR} + 1\right)} \dots \dots \dots [2]$$

$$T_C = T_K - 273,15 \dots \dots \dots [3]$$

Eşitliklerde SR-spektral radyans değerini; M_L -katsayısı, A_L katsayısı, YD -yansımaya değerini (0-255), K_1 katsayısı, K_2 -katsayısı, T_K -Kelvin değerini, T_C -selsiyus sıcaklık değerini ifade etmektedir. Katsayılar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: TIRS Thermal Band Kalibrasyon Katsayıları [9]

Uydu ve Bant	K_1 Katsayısı	K_2 Katsayısı	A_L Katsayısı	M_L Katsayısı
Landsat 8-10	774.89	1321.08	0,1	0,0003342

3.2. Arazi Örtüsü Verileri

Antalya şehri ve yakın çevresine ait 2000 ve 2012 yılı Corine arazi kullanım bilgileri bulunmaktadır. Ayrıca Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nce hazırlanmış, 1980 yıllarına ait arazi kullanım sınıflarına ait haritalar da bulunmaktadır. Sözü edilen arazi kullanım haritaları YIA ve ŞİA açısından

yeteri kadar ayrıntı içermeyen arazi kullanım bilgilerini sunmaktadır. Yüzeysel ısı adası ise arazi kullanım türünden çok, arazi örtüsüne göre şekillenen ve daha ayrıntılı tanımlamalara göre karakter kazanan bir olgudur. Çalışmada bu gerekliliklerin sağlanması amaçlanmıştır, 2015 yılı Temmuz ayına ait Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak kontrollü sınıflandırma yapılmış ve elde edilen arazi örtüsüne göre sıcaklık değerleri incelenmiştir. Yapılan kontrollü sınıflandırma, rastgele alınan 200 nokta ile doğruluk değerlendirmesine tabi tutulmuş ve Genel Klasman Doğruluğu (Overall Classification Accuracy) %70.00, Genel Kappa İstatistikleri (Overall Kappa Statistics) 0.6703 olarak bulunmuştur.

Kontrollü sınıflandırmada Landsat 8 görüntüsünün 12 bandı da kullanılmış, maksimum olasılık (maximum likelihood) tahmin edicisi ile örneklere bağlı öngörüler yapılmıştır. Bu şekilde çalışma alanına ait su yüzeyi, sanayi, şehir içi yeşil alan, orman alanı, yoğun şehir alanı, az yoğun şehir alanı, sera alanı ve boş alanlar bilgilerini içeren arazi örtüsü haritası oluşturulmuştur.

3.3. Yersel İstasyon Verileri ve Karşılaştırılması

Çalışmada, yüzeysel sıcaklıkları ile hava sıcaklıkları arasındaki ilişkiler incelenmiş ve kırsal alan ile şehirseldaki istasyonlardaki hava sıcaklıklarının yüzeysel sıcaklıkları ile ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, Antalya, Aksu ve Havaalanı istasyonları kullanılmış, bu istasyonların, uydu görüntülerinin tarihlerine göre saatlik hava ve yüzeysel sıcaklıkları incelenmiştir. Yersel istasyonlara ait ölçüm bilgileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiş, konumlarına göre istasyon özellikleri belirlenmiştir (Tablo).

Tablo4: Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları ve özellikleri

İstasyon	İstasyon Özelliği	Koordinat		Yükseklik (m)
Antalya	Kıyı istasyonu (deniz etkisinde)	36°53'06.22"K	30°40'58.38"D	42
Aksu	Yarı Şehirseld	36°56'54.93"K	30°50'50.20"D	18
Havaalanı	Havaalanı (Yarı Şehirseld)	36°54'09.37"K	30°48'03.55"D	52

4. BULGULAR

4.1. Antalya YIA'nın Zamansal Gelişimi

Antalya, sürekli genişleyen ve nüfusu artan bir şehirdir. Bu genişleme ve kalabalıklaşma durumu, YIA'nın da genişlemesine neden olmaktadır. 1975'lerde sadece Muratpaşa ve Konyaaltı ilçeleri ile sınırlı olan Antalya şehri, şu an içerisinde Aksu, Kepez, Döşemealtı, Side, Manavgat ilçelerini de almıştır. Batıda Torosların sınırlandırması nedeniyle şehir ilk kurulduğu yerden genel olarak doğuya ve kuzeye doğru gelişmiştir.

4.2. Antalya YIA'nın Mevsimsel Gelişimi

Sıcaklık modellerinden, meteoroloji istasyonları, yakın çevresindeki (250m) yüzeysel sıcaklıkları elde edilmiş, buna göre; Antalya istasyonunda Aksu ve Havaalanına göre aralık-şubat aylarında yüksek, mart-kasım aylarında ise düşük yüzeysel sıcaklıkları elde edilmiştir (Tablo 5).

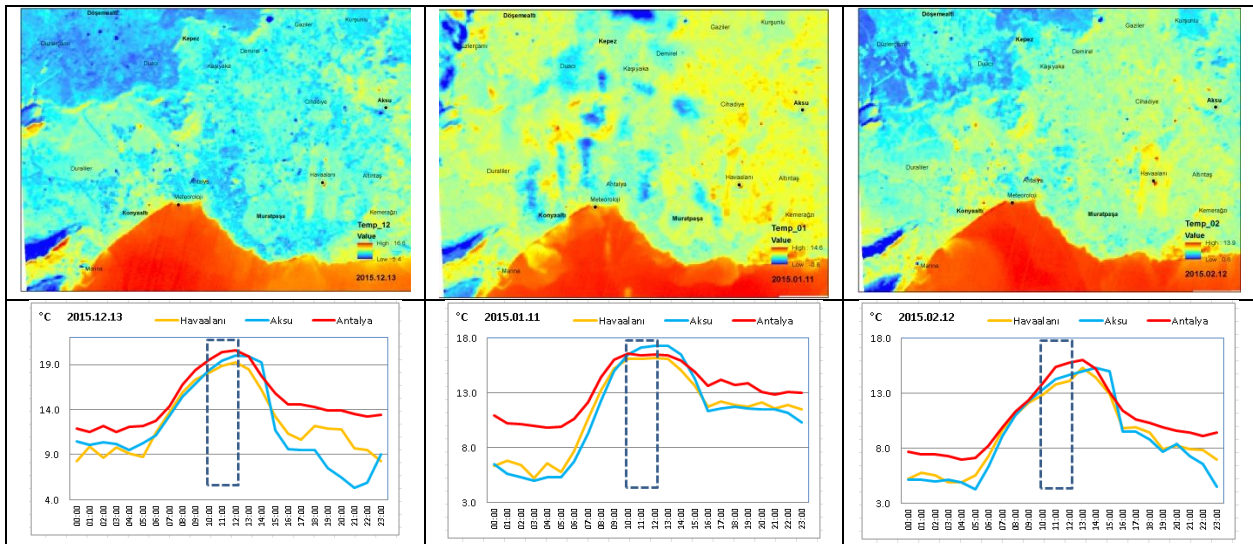
Tablo 5: Meteoroloji istasyonları için uydu görüntülerinden elde edilen yüzeysel sıcaklıkları (İstasyon noktalarına 250 m tamponlar oluşturularak elde edilen alan için hesaplanmıştır).

İstasyon	Oc.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağus.	Eyl.	Ek.	Kas.	Ara.
Antalya Bölge Md.	10,9	11,1	13,6	20,5	26,5	26,6	32,4	28,5	27,3	24,0	16,1	14,9
Aksu	8,5	8,9	9,8	24,3	35,5	35,8	41,5	34,8	32,3	26,3	16,2	12,4
Havaalanı	9,7	10,4	15,9	28,9	41,7	39,8	46,6	38,6	36,3	29,5	18,7	13,3

İstasyonun bulunduğu Antalya kıyı alanı, yarı şehirsel havaalanı ve Aksu mevkiilerine göre kış aylarında pozitif, yaz aylarında ise negatif yüzey ısı adası, özelliği göstermektedir. Bunda denizin büyük etkisi vardır. Fakat yoğun şehir alanındaki veriler bunun tersidir. Aşağıda mevsimlere göre Antalya YIA'nın özellikleri ve meteoroloji istasyonlarının hava sıcaklıkları ile yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkiler verilmiştir.

4.2.1. Kış Mevsimi

Aralık, ocak ve şubat aylarında Antalya şehri, yüzey sıcaklığı açısından çevresindeki alanlardan daha düşük yüzey ısı adası (YIA); buna karşılık hava sıcaklığı açısından pozitif şehir ısı adası (ŞIA) özellikleri göstermektedir (Şekil 2). Her 3 ayda da deniz yüzey sıcaklığı diğer tüm alan yüzeylerinden sıcaktır. Denizin kenarındaki Antalya meteoroloji istasyonu ise yarı şehirsel Aksu ilçesi ile sera alanları ve havaalanına göre yüksek yüzey sıcaklıkları göstermektedir. Bunda kış aylarında karalardan sıcak olan deniz sıcaklığının büyük etkisi vardır. Şehrin doğusundaki sera alanlarının etrafına göre sıcak görünmesi ısıtıldıklarının göstergesidir. (Şekil 2).

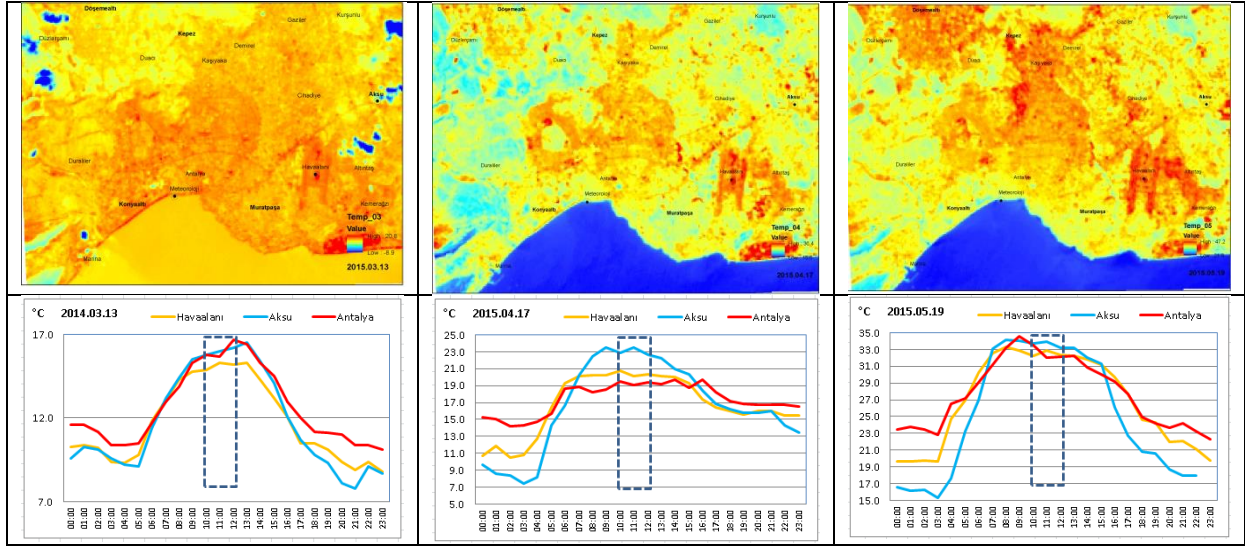


Şekil 2. Aralık (solda), Ocak (ortada) ve Şubat (sağda) aylarında yüzey sıcaklıkları ile aynı günlerin kırsal ve şehir istasyonlarındaki hava sıcaklığı. Alt satırdaki kesik çizgili dikdörtgenler, görüntünün alınma zamanını gösterir

Kış aylarında yüzey ısı adası ile hava sıcaklıkları arasındaki ilişkiler incelendiğinde görüntünün alındığı saatte (UTC 8:35, Yerel 10:35) aralık, ocak ve şubat aylarında en yüksek yüzey sıcaklığı Antalya istasyonunda, hava sıcaklığı açısından ise ocak ayında Aksu diğer aylarda yine Antalya istasyonunda en yüksek sıcaklıklar görülmüştür (Şekil 3, Tablo 5). Bunda meteoroloji istasyonunun deniz kenarında bulunmasının ve kışın deniz etkisiyle ısınmasının etkileri vardır. İç kesimlerdeki yoğun şehir alanlarında ise kış aylarında negatif YIA söz konusudur.

4.2.2. İlkbahar Mevsimi

Mart, nisan ve mayıs aylarında Antalya yoğun şehir alanlarında ve havaalanında pozitif yüzey ısı adası belirgindir. Mart ayında deniz ve kara yüzey sıcaklıkları yer değiştirmekte ve kara yüzeyleri daha sıcak hale gelmektedir. Nisan-ekim arası ise kara yüzeyi deniz yüzeyinden hep sıcaktır. (Şekil 3, 4, 5). Nisan ayında Şehrin kuzeybatısında yer alan dağlık bölümlerin şehirden oldukça düşük yüzey sıcaklıklarına sahip oldukları izlenmektedir.

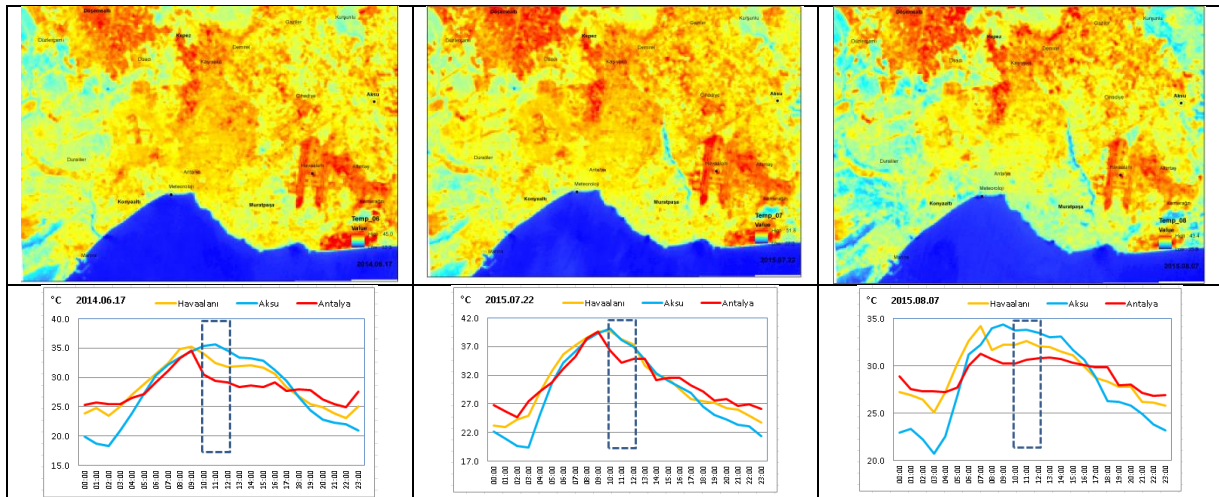


Şekil 3: Mart (solda), nisan (ortada) ve mayıs (sağda) aylarında yüzey sıcaklıkları ile aynı günlerin kırsal ve şehir istasyonlarındaki hava sıcaklığı. Alt satırdaki kesik çizgili dikdörtgenler, görüntünün alınma zamanını gösterir

Bahar aylarında uydu görüntülerinin alındığı günlerde, meteoroloji istasyonlarındaki hava sıcaklıkları ile uydu görüntülerinden bu istasyon noktaları için elde edilen yüzey sıcaklıkları arasında paralellik vardır. Buna göre Antalya istasyonu sıcaklıkları mart ayında Aksu'dan sıcak fakat Havaalanından düşüktür. Nisan ve mayıs aylarında denizin kenarında olmasından ve meltemlerden dolayı diğer istasyonlardan düşük değerler gösterir (Şekil 3, Tablo 5). Gece sıcaklıkları ise diğer iki istasyondan yüksektir. Bu da şehir ısı adasının (ŞIA) belirgin özelliğidir.

4.2.3. Yaz Mevsimi

Haziran, temmuz ve ağustos aylarında Antalya şehri çevresine göre yüksek yüzey sıcaklıklarına (YIA) sahiptir. Şehrin kuzeybatısında yer alan ve yarı şehrsel sayılabilecek Döşemealtı ilçesi ile doğuda yer alan havaalanı, yaz aylarında en yüksek yüzey sıcaklıklarına sahiptir. Bu dönemde iç kesimler deniz etkisindeki kıyı alanlardan daha sıcak sıcaklıklara sahiptir (Şekil 4).



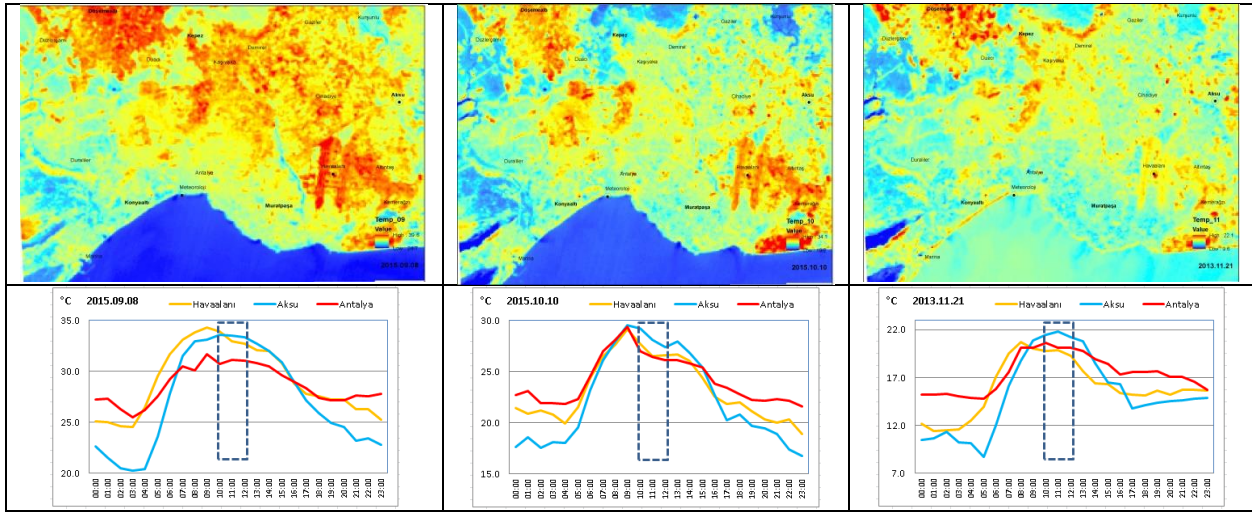
Şekil 4. Haziran (solda), temmuz (ortada) ve ağustos (sağda) aylarında yüzey sıcaklıkları ile aynı günlerin kırsal ve şehir istasyonlarındaki hava sıcaklığı. Alt satırdaki kesik çizgili dikdörtgenler, görüntünün alınma zamanını gösterir

Haziran, temmuz ve ağustos aylarında Antalya istasyonunun çevresine göre düşük sıcaklıklar gösterme durumu, hava sıcaklıklarında ve görüntülerden elde edilen istasyon yüzey sıcaklıklarında tam olarak görülmektedir. Bunun nedeni şehir içerisindeki meteoroloji istasyonunun deniz kenarında olması ve tüm kıyı alanlarda olduğu gibi denizin soğutucu etkisinden faydalanmasındandır. Bu

mevsimde hava sıcaklıkları ile yüzey sıcaklıkları arasında bir uyum görülmekte ve yarı şehir alanları, görüntü zamanında (11:35) Antalya istasyonuna göre daha sıcak yüzey ve hava sıcaklıklarına sahiptir. Fakat iç kesimlerdeki YIA yüksektir. Gece sıcaklıkları ise Antalya'da diğer iki istasyondan yüksektir. Bu da şehir ısı adasının (ŞIA) belirgin özelliğidir.

4.2.4. Sonbahar Mevsimi

Yaz aylarındaki yüzey ısı adası durumu eylül ayında da devam etmekte fakat ekim ve kasım aylarında zayıflamaktadır. Kuzeybatıdaki Döşemealtı ilçesi bu mevsimde de yüksek yüzey ısı adasına sahiptir. Deniz yüzeyinin karaya göre soğuk olma durumu kasım ayında değişmekte, kıyı alanları ile deniz yüzey sıcaklığı 16°C'ler civarında bulunmaktadır. Bundan sonraki kış mevsiminde ise deniz yüzeyi karalardan daha sıcak olacaktır. Kasım ayında Aksu, Cihadiye ve Kemerağzı bölgelerinde seraların yüzey ısılarının yükselmesi, ısıtılmaya başladıklarının göstergesidir (Şekil 5).



Şekil 5: Eylül (solda), ekim (ortada) ve kasım (sağda) aylarında yüzey sıcaklıkları ile aynı günlerin kırsal ve şehir istasyonlarındaki hava sıcaklığı. Alt satırdaki kesik çizgili dikdörtgenler, görüntünün alınma zamanını gösterir

Sonbahar aylarında görüntülerin alındığı zamanlardaki hava ve yüzey sıcaklıkları incelendiğinde; Antalya Meteoroloji Bölge istasyonunu verilerinin her iki istasyondan düşük olduğu görülmektedir. Gece sıcaklıkları ise diğer iki istasyondan yüksektir. Bu da şehir ısı adasının (ŞIA) belirgin özelliğidir (Şekil 5).

4.3. Antalya YIA'nın Arazi Örtülerine Göre Özellikleri

Antalya çevresinin 2015 yılı temmuz ayında alınan uydu görüntüsünden kontrollü sınıflandırma yöntemiyle oluşturulan arazi örtüsüne göre, çalışma alanının büyük kısmı şehir alanı ile kaplıdır. Yoğun ve az yoğun olarak ayrılan bu şehirsal alanlar içerisinde yeşil alanlar ve sanayi alanları bulunmaktadır. Şehrin doğusunda genel olarak sera tarım alanları ile havaalanı bulunmaktadır. Şehrin kuzeybatısında ise Toros sıradağları bulunmaktadır.

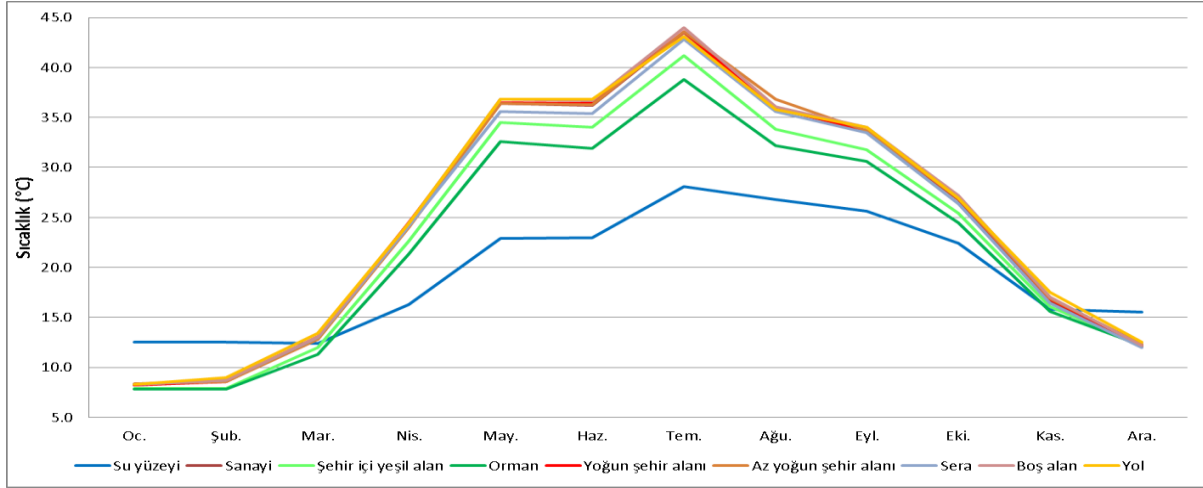
Yüzey sıcaklığı, arazi örtüsüne göre değişir. Antalya çevresindeki arazi örtülerindeki yüzey sıcaklıkları analiz edilmiş ve en düşük sıcaklıkların nisan-ekim arasında su yüzeylerinde olduğu, buna karşın aralık, ocak, şubat aylarında ise su yüzeyi sıcaklıklarının daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Su yüzeylerini orman alanları, şehir içi yeşil alanlar, sera, az yoğun şehir alanı, yoğun şehir alanı, sanayi ve boş alanlar takip etmektedir (Şekil 6).

Yukarıda sayılan yıllık ortalama sıcaklık gidişi, nisan ayında değişmekte ve bu değişim kasım ayına kadar devam etmektedir. Nisan-kasım döneminde en düşük sıcaklıklar su yüzeyinde bulunmaktadır. Kış mevsiminde ise en yüksek sıcaklıklar su yüzeyindedir. Bu durum şehir içerisinde fakat deniz kenarında olan Antalya istasyonunu da çok etkilemekte kış aylarında şehirde negatif YIA varken Antalya istasyonunda pozitif YIA ve ŞIA, nisan-kasım aylarında ise tam tersi şehir içerisinde pozitif YIA varken Antalya istasyonunda negatif YIA fakat gece pozitif ŞIA görülmektedir.

Nisan-kasım arası en düşük sıcaklıklar sırasıyla, su yüzeyi, orman alanları, şehir içi yeşil alan ve diğerleri şeklinde devam etmektedir. Bu da yaz aylarında bu arazi yüzeylerinin diğerlerine göre sıcaklığı daha fazla

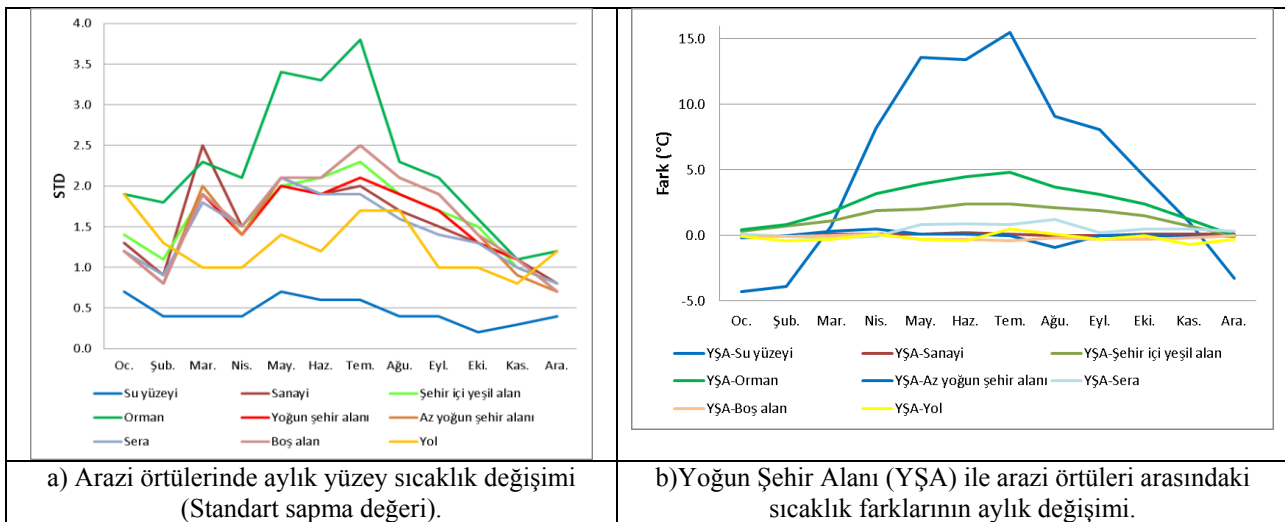
düşürdüğünü göstermektedir. Yaz aylarında en yüksek yüzey sıcaklıkları sırasıyla az yoğun şehir alanı, yoğun şehir alanı, sanayi ve boş alanlarda görülmüştür. Fakat değerler birbirine çok yakındır. Orman alanları, yaz ayları haricinde en soğuk yüzeyler olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 6).

Arazi örtülerindeki yüzey sıcaklık değişkenliği, arazi örtülerindeki yüzey sıcaklığı homojenliğini vermekte ve bu çalışmada standart sapma değerleriyle açıklanmaktadır. Buna göre, en değişken standart sapma orman alanlarında görülmekte ve bu değişim yaz aylarında artmakta; bunu boş alanlar, şehir içi yeşil alanlar, yoğun şehir alanı, sanayi, sera, az yoğun şehir alanı, yol ve su yüzeylerinin izlediğini görmekteyiz.



Şekil 6: Arazi örtülerinin aylara göre ortalama yüzey sıcaklıkları

Su yüzeyleri tüm aylarda en homojen yüzey sıcaklıklarını vermektedir. En yüksek sıcaklık değişimi ise orman alanlarında karşımıza çıkmaktadır (Şekil 7a).



a) Arazi örtülerinde aylık yüzey sıcaklık değişimi (Standart sapma değeri).

b) Yoğun Şehir Alanı (YŞA) ile arazi örtüleri arasındaki sıcaklık farklarının aylık değişimi.

Şekil 7: Arazi örtülerine göre çeşitli özelliklerin yıl içindeki gidişi

Yoğun şehir alanı (YŞA) ile diğer arazi örtüleri arasındaki yüzey sıcaklık farkları yıl içinde hem nicelik hem de nitelik yönünden değişmektedir. YŞA ile diğer arazi örtüleri arasındaki en yüksek sıcaklık farkları su yüzeyleri ve orman alanlarında hesaplanmış, bunu şehir içi yeşil alan izlemiştir. Diğer alanlar yoğun şehir alanına çok yakın değerler göstermiştir (Şekil 7b).

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Antalya şehri ve yakın çevresindeki şehrsel gelişim ve buna bağlı YIA gelişimi ortaya konulmuştur. Ayrıca şehir ve çevresindeki yüzey sıcaklıklarının aylara göre değişimi incelenmiştir. Normal olarak YIA'lar, şehrin gelişimine bağlı olarak genişlemekte, planlanan alanların kaplama ve yapı malzemesine göre karakter kazanmaktadır. Yüzey sıcaklıkları ile belirlenen YIA'lar soğuk dönemden ziyade sıcak dönemde şiddetini artırmakta ve ana karakteri ortaya çıkmaktadır [10]. Antalya'da da normal YIA olarak tanımlanan pozitif YIA yaz aylarında, kurak dönemde belirlenmiştir.

Arazi örtüsü değişimine bağlı olarak yüzey sıcaklıkları ve hava sıcaklıkları, dolayısıyla da ortam koşulları değişmektedir. Genel olarak arazi örtülerindeki sıcaklık şartları; özgül ısı, ısı kapasitesi, termal iletkenlik ve albedoya bağlı olarak değişmekte bu değerlerin bir fonksiyonu olarak karşımıza çıkmaktadır. Şehirler özgül ısı değeri yüksek yapı malzemeleri ile kaplı olduklarından iklime göre değişiklik gösterse de geç ısınan ve geç soğuyan bir karakterdedir. Bu karakter, şehir ve çevresindeki yüzey sıcaklıklarında da gözlenebilmektedir. Antalya'da sabah saatlerinde negatif YIA oluşması, güneşlenme süresinin kısalığı ve özgül ısı ile ilişkilidir. Bunun benzeri Ankara'da belirlenmiştir [11]. Güneş doğuşuna bağlı olarak özgül ısı düşük ve gök görüş oranı yüksek olan kırsal alanlar şehrsel alana göre daha fazla ısınmakta ve negatif YIA oluşmaktadır.

Genel olarak yüzey sıcaklığı mevsime göre değişmekle birlikte su yüzeylerinde yazın düşük kışın ise yüksek değerler göstermektedir. Sera alanları ısıtmadan dolayı kış aylarında yüksek YIA değerleri göstermektedir.

Arazi örtüsüne göre yüzey sıcaklık değerleri arazi çeşitliliğine göre değişmektedir. Hem kırsal hem de şehrsel alanın birlikte araştırıldığı çalışmalarda en yüksek sıcaklıklar açık alan ve sanayi ve az yoğun şehir alanları gibi gök görüş oranı yüksek sahalarda belirlenmiştir. Antalya'da yaz aylarında en sıcak yüzeyler şehir yoğun alanlar olurken kış aylarında su yüzeyleri ve seralar en yüksek sıcaklıkların görüldüğü alanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Uydu görüntüleri ile analiz edilen yüzey ısı adalarında genel olarak görüntünün alındığı saatteki meteorolojik ve yüzeysel yansıma özellikleri etkili olmaktadır. Şehrsel alanların yarı kurak-kurak iklim bölgelerinde çevrelerine göre nispi sıcaklık durumu mevsimsel ve gün içerisindeki ısınma-soğuma özelliklerine göre farklılaşmaktadır. Bu nedenle çevresine göre sıcak karakterli olarak görmemiz gereken şehir alanları bu özelliğini ancak ısınmanın maksimum olduğu dönemden sonra devam ettirebilmekte, soğuma döneminde ve soğuma döneminin maksimum olduğu evreyi geçtiğinde çevresine göre soğuk bir karakter kazanmakta dolayısıyla geç ısınmaktadır. Bu durum, Landsat uydu görüntüleri kullanılarak yapılan yüzey sıcaklığı çalışmalarında (özellikle yarı kurak-kurak alanlarda) görülmektedir. Antalya çevresinde su yüzeylerinde hem ilişki yönü hem de anlamlılık değeri değişmektedir (kışın pozitif, yazın negatif YIA). Diğer arazi örtülerinde (YŞA, AYŞA) ise ilişki bunun tam tersi (kışın negatif, yazın pozitif YIA) şeklinde kalmaktadır.

6. SONUÇ

Çalışmadan elde edilen sonuçlar, aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Antalya'da yüzey ısı adası hızlı bir şekilde genişleyerek yaklaşık 949 km²'ye ulaşmıştır.
- Antalya şehrinde yüzey ısı adası açısından 3 farklı durum söz konusudur. Bunlardan ilki, şehrin soğuk, çevredeki alanların sıcak olduğu kış dönemidir (negatif YIA). Yalnız bu dönemde Antalya istasyon verileri denizin etkisiyle çevresine göre daha sıcaktır. Yaz döneminde görülen ve ikinci durum olarak tanımladığımız durum, şehrin, batısındaki ve kuzeyindeki alanlara göre sıcak, doğusundaki alanlara göre benzer özellikler gösterdiği normal yüzey ısı adası durumudur. Bu dönemde Antalya istasyonu verileri denizin etkisiyle çevresinden daha soğuktur. Üçüncü durum ise, şehrin pozitif YIA olduğu, fakat bu karakterin çok belirgin olmadığı geçiş aylarıdır. Mart ve kasım aylarında deniz ve kara yüzey sıcaklıklarının sıcak olma durumu yer değiştirir. Bu durumlar,

görüntülerin alınma saatleri, ısınma süresi ve arazi örtüsü ile ilişkilidir. Uydu görüntüleri sabah 08:35Z, Türkiye saati ile 10:35 (kış) ve 11:35 (yaz) civarında alınmaktadır. Kış döneminde güneş geç doğmakta, dolayısıyla görüntü alınana dek geçen süre kısalmaktadır. Kırsal alanlardaki gök görüş oranı fazla olduğundan hızlı bir ısınma meydana gelmekte ve şehirden daha sıcak görünmektedir. Yaz döneminde, güneşin erken doğuşuna bağlı ısınma süresi uzamakta, şehrin ısınması önceki günden kalan enerji birikimiyle daha da artmakta dolayısıyla kırsal alanlara göre daha sıcak özellikler göstermektedir.

- Kışın şehir alanı yüzey ısı adalarının negatif, sahil kesimlerinin ise pozitif olma durumu, denizin etkisiyle gerçekleşmektedir. Şehir çevresindeki alanların özgül ısıları şehrsel alana göre düşük ise ısınma döneminde şehir negatif YIA özelliğinde olmaktadır. Buna karşın, çevresindeki alanların özgül ısıları şehre göre yüksekse, tam tersi bir durum oluşmaktadır.
- Antalya şehri çevresinde yaz aylarında en yüksek yüzey sıcaklıklarının iç kesimlerde yoğun şehir alanlarında en düşük yüzey sıcaklıklarının su yüzeylerinde ve orman alanlarında olduğu görülmüştür. Kış mevsiminde ise en yüksek yüzey sıcaklıklarının su yüzeylerinde, sahil kesiminde ve sera tarımı alanlarında, en düşük sıcaklıkların ise şehrin kuzeybatısında Düzlerçamı ve Döşemealtı' da olduğu belirlenmiştir.
- Antalya çevresinde yüzey sıcaklık değişimi denizin geç ısınıp geç soğuması nedeniyle su yüzeylerinde düşük, orman alanlarında ise en yüksek olarak belirlenmiştir.
- Arazi örtüleri ve şehrin sıcaklık durumu yıl içerisinde değişmektedir. Su yüzeyleri, yazın şehirden soğukken, kışın şehirden sıcaktır. Bu durum sahil alanlarının yoğun şehir alanından farklılık göstermesine neden olmaktadır. Seraları ve şehir içi yeşil alanlar yazın şehirden soğuk diğer aylarda şehirden sıcaktır.
- Antalya ve çevresinde su yüzeyi sıcaklıkları açısından mart ve kasım aylarında geçiş dönemi vardır.
- Bu çalışmada şehrin alansal gelişimine bağlı olarak büyüyen YIA ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar Şehir Isı Adasındaki (ŞIA) değişimleri inceleyen çalışmalarla desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, X., Zhong, T., Wang, K., & Cheng, Z. (2009). "Scaling of impervious surface area and vegetation as indicators to urban land surface temperature using satellite data." *International Journal of Remote Sensing*, DOI: [10.1080/01431160802395219](https://doi.org/10.1080/01431160802395219)
- [2] Çalışkan, O., Çiçek, İ., & Matzarakis, A. (2012). "The climate and bioclimate of Bursa (Turkey) from the perspective of tourism." *Theoretical and Applied Climatology*, 107(3), 417-425.
- [3] Çalışkan, O., & Türkoğlu, N. (2011). "Ankara şehrinin insan biyoklimatolojisi açısından analizi." *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(2), 978-1001
- [4] Türkoğlu, N., & Çalışkan, O. (2011). "Nevşehir ve Ürgüp'te Şehirleşmenin Biyoklimatik Koşullar Üzerine Etkisi." *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 51(1), 45-63.
- [5] Yılmaz, E. (2013). *Ankara Şhrinde Isı Adası Oluşumu. (Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara*
- [6] Sensoy S., Türkoğlu N., Akçakaya A., Ulupınar Y., Ekici M., Demircan M., Atay H., Tüvan A., Demirbaş, H., 2013: Trends in Turkey Climate Indices From 1960 to 2010, 6th Atmospheric Science Symposium, 24- 26 April 2013, ITU, Istanbul, Turkey
- [7] Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y., Balta, İ., 2011, İklim sınıflandırmaları, MGM Url:https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari.pdf
- [8] Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery." *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594.
- [9] NASA. (2015). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*.
- [10] Cui, Y. Y., & de Foy, B. (2012). "Seasonal Variations of the Urban Heat Island at the Surface and the Near-Surface and Reductions due to Urban Vegetation in Mexico City." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(5), 855-868.
- [11] Çiçek, İ., Yılmaz, E., Türkoğlu, N., & Çalışkan, O. (2013). "Seasonal variation of surface temperature based on land cover in Ankara. Ankara şhrinde yüzey sıcaklıklarının arazi örtüsüne göre mevsimsel değişimi." 2013, 10(1), 20.

