

İstanbul Metropoliten Alanında Kentsel Isınmanın Azaltılmasında Yeşil Alanların Önemi

The Importance of Green Spaces in Minimizing Urban Heat in The Istanbul Metropolitan Area

Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK, Betül ŞENGEZER

Artan şehirleşme, sanayileşme ve tüketim alışkanlıkları ile çevre ve atmosfer kirlenmesine bağlı olarak küresel ölçekte havanın ısınma eğilimi her geçen gün artmakta ve ortaya çıkan çevre problemleri, afetler, su, kara ve havadaki yaşamı tehdit eder hale gelmektedir. Küresel düzlemdeki iklim değişikliklerinin yanı sıra, kentlerin mikro iklimsel yapısında da değişimler meydana gelmekte, kentlerde bölgesel ısınmalar oluşmaktadır. Bu ikili etki ve kısır döngü insan sağlığını ve canlıların yaşamını giderek olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bağlamda, kent iklimi konusundaki araştırmalar günümüzde giderek ağırlık kazanmaktadır. Bulgular; yapılaşmanın artmasıyla birlikte kent sıcaklıklarının arttığı, buna karşın kentlerin havalandırma ve bitkilendirme olanaklarının artmasıyla da kentsel iklim konforunun iyileştiği yönündedir. Sağlıksız ve çarpık yapılaşması ile İstanbul metropoliten alanı, küresel tetikleyiciler ve beklenen depreme hazır olma sorununu çözme adına bir yenilenme akımı içerisinde. Bu kapsamda, yapılaşmanın devasa boyutlarda ilerlemesi, yeşil alanların hızla yok olmaya devam etmesi ise iklimsel tehditleri tetikleme potansiyeli taşımaktadır. Bu makalede, geleceğe ilişkin sağlıklı gelişme ve yapılaşma stratejilerine ışık tutmak amacı ile İstanbul metropolünde yeşil alan/bitki örtüsünün sıcaklık üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yüzeysel ısı adaları (surface heat island - SHI) ve normalize edilmiş bitki indeksi farkı (NDVI) değerleri uzaktan algılama yöntemi ile saptanmış, sıcaklık bağımlı değişken, bitki örtüsü bağımsız değişken olmak üzere regresyon analizi yapılmış, karar ağacı modeli oluşturulmuştur. Analiz sonuçlarına göre $R=0.452$; $R^2=20\%$ olup, analiz % 95 anlamlılık düzeyinde (sig. 0,00) anlamlıdır. İstanbul yerleşim alanı için yapılan analizde bitki örtüsünün en az olduğu küme ile en yoğun olduğu kümenin beklenen sıcaklık değeri arasındaki fark 4.24 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar sözcükler: İstanbul metropoliten alanı; kentsel ısınma; yeşil alan.

Increasing environmental and atmospheric pollution due to urbanization, industrialization and global warming is increasing with every passing day. Life in water, air and on land is threatened by environmental problems and disasters caused by this pollution. In addition to global climate change, changes also occur in urban microclimate and regional heat islands are occurring in urban areas. This dual effect and resulting vicious circle increasingly affect human health and natural life negatively. In this context, urban climate studies have come into question in recent years. Results have showed that increasing numbers of built-up areas are linked to increases in urban temperature and conversely larger areas of vegetation improve the city's ventilation and climatic comfort. The Istanbul Metropolitan Area is in a period of regeneration as it attempts to prepare for the expected earthquake and as a result of global dynamics. The resulting massive building campaigns and rapid destruction of green areas have a potential to trigger climatic threats. The effects of vegetation on the urban surface temperature in the Istanbul Metropolitan Area have contributed to the improved health construction strategies. Surface Heat Islands (SHI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values were determined from remote sensing techniques. The dependent variable is temperature and independent variable is NDVI values and the regression analysis was carried out. Then the heat model for NDVI was established with decision tree. The results of regression analysis were $R=0.452$; $R^2=20\%$; sig.=0.00 and so the analysis was significant in 95%. As a result of the analysis of the residential area of İstanbul, the difference between the expected temperature of the minimum and maximum vegetation clusters was calculated as 4.24.

Key words: Istanbul metropolitan area; urban heat; green spaces.

¹Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İstanbul

¹Department of City and Regional Planning, Yıldız Technical University, Faculty of Architecture, İstanbul

Giriş

Küresel iklim değişikliği sonucu; beklenmeyen aşırı sıcak havalar, kuraklık, susuzluk, buzulların erimesi, şiddetli fırtınalar, ... vb. gibi doğal olaylar günümüzün önemli sorun alanlarından birini oluşturmaktadır. Küresel düzlemdeki iklim değişikliklerine ilave olarak, kentleşmenin bir sonucu olarak kentlerin mikroiklimsel yapısında da değişimler meydana gelmekte, kentlerde bölgesel ısınmalar oluşmaktadır. Bu iki iklimsel olayın birbiri üzerindeki birikimsel etkilerinin sonuçları, özellikle orta enlem kuşağı ve tropikal bölgelerde, insan sağlığını ve canlıların yaşamını olumsuz etkileyebilmektedir. Avrupa'da 2003 yılında yaşanmış olan ve yaklaşık 70.000 kişinin ölümüyle¹ sonuçlanan durum bu problemin en güncel ve önemli örneklerinden birisidir. Kısaca, kentler, küresel ısınmanın temel etkenlerinden birini oluştururken, küresel ısınma da yarattığı iklimsel değişikliklerle kentler üzerinde baskı oluşturmaktadır.

Küresel iklim modelleri ve başlangıç ölçümlerine göre yeryüzünün ortalama sıcaklığı atmosfer bileşimindeki değişimler ile artmaya başlamıştır.² Charles David Keeling'in 1958'den 2004'e kadar Hawai'nin Mauna Loa tepesinden aldığı CO₂ sonuçlarına göre, atmosferdeki CO₂ yoğunluğu düzenli biçimde artmaktadır.³ Fosil yakıtların kullanımında ve orman alanlarının tahribinde yaşanan artış ile birlikte atmosferdeki CO₂ yoğunluğunun, son 150 yıl içerisinde %25 arttığı belirtilirken, 20.yüzyılın başlarında 290 ppm olan CO₂ konsantrasyonunun 21. yüzyılın sonunda 500 ppm'e çıkacağı tahmin edilmektedir. CO₂ yeryüzünde yayınlanan infrared ısı enerjisinin bir kısmını absorbe ettiğinden, CO₂ konsantrasyonundaki artış, dünya ölçeğinde ortalama yüzey sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Son 1400 yılın en sıcak yılları olarak kabul edilen 1990, 1995 ve 1997'de gerçekleşen sıcaklık rekorları kısa sayılabilecek bir süre içinde ard arda kırılmıştır. IPCC üçüncü değerlendirme raporuna göre de, 1990-2100 döneminde küresel ortalama yüzey sıcaklığı 1,4°C -5,80°C arasında yükselecektir.⁴

Konunun insan ve canlı sağlığı açısından taşıdığı önem nedeni ile kent iklimi üzerinde araştırmalar giderek artmakta ve deneyimlere dayalı olarak çözüm arayışları sürmektedir. Bununla birlikte, bugün birçok ülkede hala problemin temel kaynağı olan insan ve dolayısıyla kentleşmenin konu üzerindeki etkilerinin azaltılmasına dair ciddi stratejiler geliştirilememekte ve problem gün ve gün büyümekte, yayılmaktadır.

Küresel ekonomik ilişkilerdeki değişime bağlı olarak

kentlerin önemi artmakta, artan dünya nüfusu kentlerde yığılma eğilimi göstermektedir. 1800'lerde dünya nüfusunun %3'ü kentlerde yaşamaktayken, 20. yy. sonlarında bu oran %47'ye ulaşmış, 2008 yılıyla birlikte dünya nüfusunun yarıdan fazlası kentlerde yaşamaya başlamıştır.⁵ Gelişmekte olan ülkeler ise kentleşmenin en büyük katılımcılarıdır. Asya ve Afrika'da 2000-2030 arasında kentsel nüfusun iki katına çıkacağı beklenmektedir.

Teknolojik, ekonomik, toplumsal dinamikler, kentlerde yığılmayı yönlendirirken, bu hızlı gelişim ekolojik problemlere yol açmaktadır. Hava-su ve gürültü kirliliği gibi ekolojik problemlere, yoğun enerji kullanımına bağlı olarak kentsel ısınmada eklenmiştir ve insan bu problemin etki artırıcı faktördür.⁶ Kentlerin iklim değişimine, iklim değişiminin de kentlere etki etmesi döngüsü içerisinde insan, sağlıklı yaşam koşulları girdabına girebilmektedir. Bu bulgulardan hareketle, kentlerde antropojenik etkilerin iklim üzerindeki etkilerini minimize etmeye yönelik önlemlerin alınması ve stratejilerin geliştirilmesi özel önem arz etmektedir.

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) kent iklimini, ısı kirliliği ve hava kirletici emisyonları içeren yapılaşmış alanlar ile bölge iklimi arasındaki etkileşimler tarafından değiştirilen yerel iklim olarak tanımlamaktadır.⁷ Kent iklimindeki bozulmanın yarı bilimsel gözlem ile farkına varılması 18. Yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır. On dokuzuncu yüzyıl ortasında termometre, barometre ve rüzgar ölçer gibi meteorolojik araçlarının yaygınlaşması, bilimsel araştırmaları da beraberinde getirmiştir. Luke Howard 1833 yılında kentsel iklim değişikliğinde kabul gören ilk bilimsel çalışmayı yapmıştır (Landsberg, 1981). Luke Howard Londra kent hava durumu kayıtları ile o zamanki kırsal istasyon KEW Bahçelerini⁸ karşılaştırarak kent istasyonunun daha sıcak olduğunu bulmuştur. Kendi kırsal çevrelerinden farklı olan kent sıcaklıkları günümüzde "kentsel ısı adası" olarak adlandırılmaktadır.⁹ Literatürde de, kentsel ısı adaları ile antropojenik etkiler arasındaki ilişkileri saptamak için makro, mezo ve mikro olmak üç farklı ölçekte çalışmalar yürütülmektedir.

Mezo ölçekte yapılan çalışmalar kapsamında ortaya çıkan bulgularda, çeper bölgeler ve kent merkezleri arasında oluşan bu iklim farklılığının sebepleri aşağıdaki maddelerde toplanabilmektedir.

- Kentsel yapı ve özellikleri; (morfoloji, makroform, yeşil sistem, kentsel doku, bina kompozisyonları vb

¹ Robine, et. al. 2007, s. 1

² Akbari, 2002, s. 119-126

³ Madra, 2007, s. 31

⁴ Koçak, 2012, s. 6

⁵ ECOSOC, 2011, s. 1

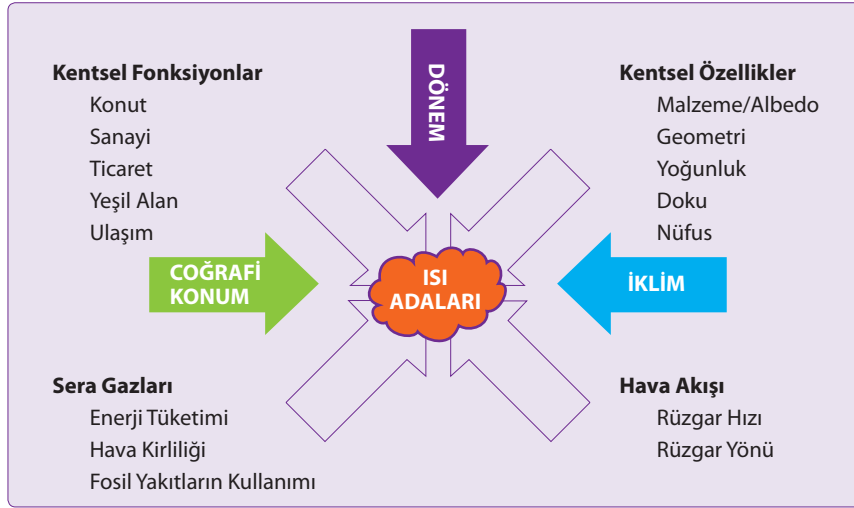
⁶ Dhakal, 2004, s. 11-13

⁷ World Health Organization (WHO), 2004.

⁸ İngiltere'de bulunan Kraliyet Botanik Bahçeleri

(Royal Botanic Gardens

⁹ Emmanuel, 2005, s. 22



Şekil 1. Isı adalarını etkileyen faktörler.

faktörler) rüzgâr hızı-yönünü ve hava sıcaklığını etkilemektedir. Bunların hava akımı üzerindeki olumsuz etkileriyle birlikte, kent merkezlerinde ısı salınımı yavaşlamakta, dolayısıyla kentin ısı dengesi değişmekte ve kent merkezlerinde sıcaklıklar artmaktadır.

- Kentsel yüzey tepkisi; kentsel faktörlerin fiziksel özelliklerine bağlı olup, bu faktörler sıcaklığı etkilemektedir. Bu fiziksel özellikler, termal özelliklere (ısıtma kapasitesi, ısı iletkenliği, vb) ve ışınimsal özelliklere (emissivite, albedo, vb) göre alt kısımlara ayrılmaktadır. Bu faktörler, kentsel malzemelerde ısı depolanması ve enerjinin gizil ve hissedilir ısı akısı olarak bölümlenmesiyle ifade edilmektedir.¹⁰ Albedo etkisi (artan koyu renkli yüzeyler) sıcaklıkları arttırmaktadır,

- Yoğun ve yüksek binalar, ısı emilimini artırması yanı sıra, hava akımını engellemesi nedeniyle de sıcaklık artışında etken olabilmektedir. Ancak, iklim modellerine dayalı olarak bina formları ve farklı yükseklik kompozisyonları ile aralarındaki geometrik ilişkinin hava akımını sağlayacak şekilde düzenlenmesi ile sorunların üstesinden gelinebileceği de belirtilmektedir.¹¹

- Sera gazları, trafik yoğunluğu, yoğun enerji kullanımı, tüketim alışkanlıkları sıcaklıkları arttırmaktadır.

- Yeşil alanlar ve bitki örtüsü, sıcaklıkları düşürücü etki oluşturmaktadır. Yeşil alanların azalması; özellikle, kent merkezlerinde bozulmuş olan bitki örtüsü doku-su, yeşil alanların tahribatı ve koyu renk yüzeylerin artışı ısı emilimini artırarak, bu ısınmayı daha da arttırıcı etki yaratmaktadır. Bina ve yüzeylerdeki ısı emilimi daha sonra çevreye yayılarak hissedilebilir bir sıcaklık artışına neden olmaktadır.

Kentlerde ısı adalarının olumsuz etkisini azaltmanın başat iki faktörü kentlerde hava akımının sağlanması ve bitkilendirmedir. Bu nedenle kentlerdeki açık alan sistemlerinin iklimlendirme modelleri bağlamında kurgulanması önem taşımaktadır. Bir kent ikliminin mekânsal büyüklüğünün/uzantısının yaklaşık 250 km olan bir yerel mezoklima olarak tanımlanması,¹² kent iklimine kent çeperlerinin ve çevresinin dâhil olduğunu ve kent iklimi açısından bu alanların önemini yansıtmaktadır.

Alexandri vd. kentsel alanlarda sıcaklığın düşürebilmesinin ölçütünü; bitkilendirmeye, var olan kentsel geometriye ve iklimsel şartlara bağlamıştır. Yapılan çalışmalar, bu parametrelerin 0.4°C'den 19.9°C'ye kadar etkili olduğunu göstermektedir.¹³ Yine, birçok çalışmada, kent ormanları, yeşil alanlar, serin çatı ve kaplamaların,¹⁴ uygun geometrili yapılaşmaların ısı adalarının azaltılmasında etken faktörler olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle kent ormanlarının olumlu iklimsel etkilerinin yanı sıra, kentsel iklim değişiminde kentiçi ağaçların ve yeşil alanların etkileri de gözardı edilmemelidir.

Yeşil alanlar ve ağaç topluluklarının alanı genişletildikçe etki derecesi de artmaktadır. Konforlu kent iklimi yaratma ve binanın mikro ölçekli hava sıcaklığını düşürmede bitkilendirmede oldukça önemli yer tutmaktadır. Farklı seviyelerde bitkilendirme ile hava sıcaklığı daha etkili bir biçimde düşürülebilmektedir. Kent parklarının yanı sıra bina yüzeylerinin yeşillendirilmesiyle, ısı adası etkisi kentin tümünde azaltılabilmektedir.

Şehir ağaçlarının sayısındaki belirgin bir artış, tüm şehrin ısı dengesini değiştirerek kentsel ısı adalarının

¹⁰ Jackson, 2010, s. 849

¹¹ Santamouris, 2001, s. 39-48

¹² World Health Organization (WHO), 2004

¹³ Alexandri, 2002, s. 315

¹⁴ Golden, 2004, s.343

yoğunluğunu düzenleyebilmektedir.¹⁵ Ağaçların gölgeleme, rüzgâr kesme, terleme-buharlaştırma özellikleri, binalarda yazın soğutmada kullanılan enerji miktarını azaltmakta, soğutucu donanım ve enerji tesislerinin tüketim maliyetlerinde %1 kadar azalma sağlamaktadır. Enerji tasarrufunun yanı sıra, kent ağaçları ve açık renkli yüzeyler atmosferdeki CO₂ artışını yavaşlatmada da etkili olmaktadır.¹⁶ Kentlerin soğutulmasında kullanılan doğal kaynak olarak bitki örtüsü, dolaylı yoldan soğutma için gerekli enerji miktarını düşürmekte, yine buna bağlı olarak elektrik üretimi için gerekli fosil yakıtların kullanımını da azaltmaktadır.

Gill vd. göre artan sıcaklıklara karşı olası adaptasyon stratejisi özel bahçelerde, kamu alanlarında ve cadde kenarlarında mevcut yeşil alanları korumak ve mümkün olduğu kadar bunu zenginleştirmektir.¹⁷ Yapılaşma formu oturmuş mevcut birçok kentsel alanda, geniş yeni yeşil alanlar yaratmak mümkün olmadığından yeşilin artırılması için tüm olanaklar kullanılmalı; bina çatıları, cepheleri, yol kenarları potansiyel alanlar olarak görülmelidir ve öncelik yoksunluğun, nüfusun yoğunluğunun olduğu bölgelere verilmelidir. Mevcut yoğun yerleşim alanlarında karşılaşılan sıcaklık artış deneyimlerinden yararlanılarak, gelişme sürecinin başlangıcında ve ortasından olan kentlerde benzer hatalar tekrarlanmamalıdır.

Bitki örtüsü ile sarmalanmış binalarda güneş ışığından ısı kazanımını düştüğünden, binaların klima kullanımıyla mekanik soğutma ihtiyacı da düşmektedir. Örneğin, Akbari vd., yapmış oldukları iklim ve hava kalitesi çalışmasında, yapılaşmış kentsel alanlarda yeni dikilen ağaçların, soğumaya ve ozon hava kalitesinin iyileşmesine önemli etkide bulunduğu sonucuna ulaşmışlardır.¹⁸ Kentsel iklim değişimi üzerine yapılmış bir çok çalışmanın hepsi bitki örtüsünün kent iklimi üzerinde yarattığı olumlu etkilere değinmektedir. Hatta gelişmiş ülkelerde konu çok daha detayda incelenmeye başlamış, araştırmalar ağaçlandırma çalışmalarında kullanılacak ağaçların seçiminde nelere dikkat edilmesi gerektiği, hangi ağaç türünün kentsel iklimi ne derece etkilediği ve nasıl yerleştirilmesi gerektiğine kadar varmıştır. Bu konuda Mayer vd. yapmış oldukları çalışmada, önemli termo fizyolojik endeksleri, Almanya/Freinburg şehrinde ağaçların insan rahatı üzerinde niceliksel etkilerini araştırmak için kullanmışlardır.¹⁹ Bu çalışmalarında, fizyolojik eşdeğer sıcaklıklar (PET) yöntemiyle, iç mekânda aranan konfor şartını kullanarak, sıcak yaz döneminde atkestanesi ağaçlarının gölgeliği

altında oluşan rahatlık düzeyini modellemişlerdir. Bu çalışmada küçük atkestanesi topluluklarının, hatta tekil bir ağaç örtüsünün bile bağlı nem ve hava sıcaklığını gölgeleri ile azalttığı ortaya konmuştur.

Kentsel ağaçlandırma çalışmalarında su tutan bitkilerin tercih edilmesi önemlidir. Bu tür bitkilerin terlemesi ya da toprakta oluşan buharlaştırma, havayı soğutmada önemli bir unsurdur ve 1°C-5°C fark oluşturabilmektedir. Ağaç üzerinden hareket eden hava akımı, serinlemiş havayı ağaçsız bölgelere taşıyarak, çevrenin serinlemesine etkide bulunmaktadır.²⁰

Literatürde kentlerde hava akımı yaratılmasının ve bitkilendirmenin, iklim konforuna sağladığı katkıya vurgu yapılmaktadır. Sağlıksız, boşluksuz yağ lekeli gibi büyüyen İstanbul metropolü sağlıklı, güvenli, yaşanabilir bir dünya kenti olma iddiası ile günümüzde hızla yükselen ve yoğunlaşan bir yapı üretimi, yenilenme hareketi ile karşı karşıyadır. Kent iklimi üzerine yapılan araştırmalarda ise kent iklimini olumsuz etkileyen yerleşme ve yapılaşma hatalarına ışık tutulmakta, yaşam konforu için iklim bileşeninin önemini altı çizilmektedir. İncelenen kaynaklardan, insan sağlığı ve yaşam konforu açısından iklim konusuna ilişkin sağlıklı stratejilerin geliştirilmesi ve gerekli önlemlerin alınmasının ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır. Sürdürülebilirlik adına çok önemsenen bu bulgular, İstanbul metropolünde yeşil alan/bitki örtüsünün sıcaklık üzerindeki etkisinin araştırılmasını doğurmuş, bu konu makalenin amacını oluşturmuştur.

Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan kentsel özellikler ve iklim arasındaki ilişkilerin irdelenmesi de aynı derecede karmaşıktır. Çok fazla parametrenin etken olduğu ısı adaları problemi, doğru veriler ve doğru analizlerle süzgeçten geçirilerek, geniş bir bakış açısıyla değerlendirilmelidir. Günümüzde hızla ve planlı bir plansızlık içinde büyüyen İstanbul için konu günden güne önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, İstanbul'un yerleşme alanının tümü ele alınmış, mezo ölçekte sıcaklık, yeşil alan/bitki örtüsü ilişkisi değerlendirilmiştir.

İstanbul'un tümünün gözlenebilmesi ve problem noktalarının tespit edilebilmesi, planlamaya bütüncül bir girdi sağlaması, çoklu veri entegrasyonuna olanak tanınması, güncellenebilir olması, zamansal değişim analizine olanak sağlaması nedenleriyle, çalışmada uzaktan algılama ve CBS tekniklerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Yapılan analizde uydu verileri üzerinden hesaplanan sıcaklık verileri ile bitki örtüsü yoğunluğunu ifade eden "normalize edilmiş bitki indeksi farkı" (NDVI)²¹ ve-

¹⁵ Akbari, 2002, s. 120

¹⁷ Gill vd., 2007, s. 127

¹⁶ Akbari, 1990, s. 1

¹⁸ Akbari vd., 2008, s. 16

¹⁹ Mayer vd., 2006, s. 285-300

²⁰ Manning, 2008, s. 364

Tablo 1. CORINE arazi örtüsü sınıflarının 2000-2006 arası değişimi

	2000 (ha)	2006 (ha)	Fark (ha)
Yapay bölgeler	102272.89	104975.92	2703.03
Tarımsal alanlar	157866.47	156134.45	1732.02
Orman ve yarı doğal alanlar	272334.87	271125.5	1209.37
Sulak alanlar	400.31	338.45	61.86
Su kütleleri	12970.26	13270.52	-300.26

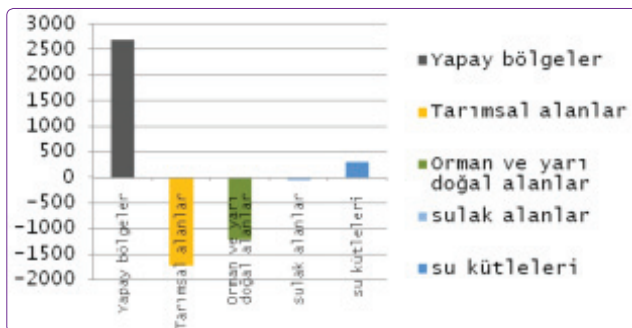
rileri ilişkilendirilerek, aralarındaki korelasyon incelenmiş, ağaç diyagramı ile modellenmiştir.

Materyal; Çalışma Alanı ve Özellikleri

Kuzeyde Karadeniz, güneyde Marmara Denizi ve ortada İstanbul Boğazı'ndan oluşan 41°K, 29°D koordinatlarındaki kent, İstanbul Boğazı boyunca ve Haliç'i çevreleyecek şekilde Türkiye'nin kuzeybatısında kurulmuştur. Toplam 39 ilçesi bulunan kentin TÜİK 2009 (ADNKS) nüfus sayımı sonuçlarına göre toplam nüfusu 12.782.960 kişidir. Halkın yaklaşık %65'i Rumeli yakasında; %35'si de Anadolu yakasında yaşamaktadır.

Yaz ayları genellikle sıcak geçen, kış ayları bölgeyi etkisi altına alan sistemlere bağlı olarak fazla soğuk geçmeyen İstanbul, Akdeniz ikliminin özelliklerini taşıyor görünse de, Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'nın etkisiyle farklı özellikler taşır. Kış aylarında Karadeniz'den gelen soğuk-kuru hava kütleleri ile Balkanlardan gelen soğuk-yağışlı hava kütlelerinin, özellikle Akdeniz'den gelen ılık ve yağışlı güneyli hava kütlelerinin etkisi altındadır. Bütün ilde Karadeniz'in soğukça yağışlı (poyrazlı) havasıyla Akdeniz'in ılık (Iodoslu) havası birbirini izler. İlde yaz-kış, gece-gündüz arasında büyük ısı farkları görülmemektedir.²²

Kentin iklimsel açıdan avantajlı yanları; çevresinin denizlerle kaplı olması, orman alanlarına sahip olması



Şekil 2. CORINE projesi 2000-2006 yılları arası arazi örtüsü değişim grafiği.

²¹ NDVI: Normalized difference vegetation index

ve su havzalarının bulunmasıdır. Ayrıca değişken yükselteli olması, bazı bölgelerde doğal hava koridorlarının oluşmasına neden olmaktadır. Boğazın kuzeydoğu-güneybatı olan doğrultusu, hâkim rüzgâr yönüyle paraleldir ve yoğunlaşmış kenti ikiye bölen boğaz serinletme görevi görmektedir.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2000-2006 Corine²³ arazi örtüsü sınıfları incelenildiğinde ise, 6 yıl içerisinde yaklaşık 2700 hektar yapay yüzeylerde artış olduğu, yaklaşık 2900 hektarın da tarım ve orman alanlarından azaldığı tespit edilmiştir (bkz Tablo 1, Şekil 2).

İstanbul Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınan veriler üzerinden bir araştırma yapıldığında da, 1975-1990 yılları arası sıcaklık ortalamalarına göre 2000-2009 sıcaklık ortalamalarında istasyon noktalarına göre 1.5 ile 3 derece arasında değişen artışların olduğu tespit edilmiştir.²⁴ Bu verilere dayanarak, yapay yüzeylerdeki artış ve orman alanlarının tahribi ve azalışıyla birlikte İstanbul'un iklimsel yapısının çok daha hissedilir şekilde değişeceği açıktır. Bu çalışma ile bitki örtüsünün iklimsel etki derecesi incelenilerek, sorun ortaya konmaya çalışılmıştır.

Çalışmada, kentsel alan içerisinde bulunan bitki örtüsünün etki derecesinin araştırılması nedeniyle İstanbul'un sadece yerleşim alanları çalışma alanı olarak belirlenmiş, hesaplamalarda bu alan içerisindeki bitki örtüsü yoğunluğu ve sıcaklık değerleri kullanılmıştır (bkz: Şekil 3).

Yöntem

Kenti etkileyen 3 tip ısı adası bulunmaktadır.^{25,26} Bunlar 1) Örtü tabakası ısı adaları (Canopy layer heat



Şekil 3. İstanbul ili yerleşme alanı ve idari sınırları haritası.

^{22,23} ARIS, 2011

²⁴ Kuşçu, 2010, s. 427

²⁵ Voogt, 2004

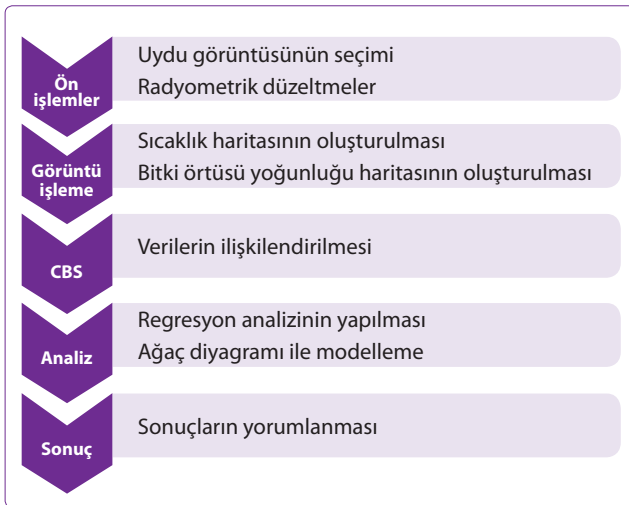
²⁶ Voogt vd., 2003

island - CLHI), 2) Sınır tabakası ısı adaları (boundary layer heat island - BLHI), 3)Yüzey ısı adaları (surface heat island -SHI)'dir. Isı adaları çeşitleri, konumsal ve zamansal özelliklerine bağlı olarak, farklı işlemlerle tespit edilmektedirler. CLHI ve BLHI ısı adalarının tespiti termometre ile yapılırken, SHI için uzaktan algılama yöntemi kullanılmaktadır. Hava durumu, coğrafi konum, zaman, dönem, kent formu ve kent fonksiyonları kent iklimlerinde ayırıcı özellikler yaratmaktadır.

Mezo ölçekde hazırlanan bu çalışmada, yüzey ısı adaları (SHI) ve bitki örtüsü yoğunluğu (NDVI) uzaktan algılama teknikleri yardımıyla tespit edilmiş, elde edilen ısı verileri çeşitli formüller yardımıyla sıcaklık verilerine dönüştürülmüştür. Daha sonra bitki örtüsü ve sıcaklık verileri ilişkilendirilerek istatistiksel analizlerle incelenmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar ağaç diyagramı ile modellenerek yorumlanmıştır. (bkz: Şekil 4)

Uzaktan algılama yöntemi, sıcaklıklar ile birlikte yüzeyin diğer özelliklerinin tespit edilmesinde kullanılabilir; örneğin çatılar, kaldırımlar, bitki örtüsü, çıplak zemin-toprak ve sulardan yayılan ve yansıyan enerji ölçülebilmektedir. Tüm yüzeyler dalgaboyunda yayılan enerjiyi dışarı vermektedir. Uydu görüntüleri ve diğer uzaktan algılama verileri, sıcaklık verilerini sağlamak üzere bu dalgaboylarını ayırt edebilmektedir. Uçak ve uydularda bulunan radyometreler ile şehir ve çevresinden salınan bu ısılardan ölçümleri, uzaktan temin edilmektedir.^{27,28,29}

Kentsel klimatolojik çalışmalarda yoğun olarak, termal bantlar kullanılmaktadır. Bu şekilde; hissedilir ısı akısı, net radyasyon (net radiation), buharlaşma (eva-



Şekil 4. Çalışma iş akış şeması.

poration) ve karbon akısı (carbon fluxes) vb. yüzey atmosferi değişimleri izlenebilmektedir. Yeni kentsel iklim uygulamaları; multi_sensor veri setleri ve yeni görüntü işleme tekniklerinin birlikte kullanımına bağlı olarak gelişmektedir.³⁰ Ayrıca uzaktan algılama, kentsel çevrenin mekânsal ve spektral çeşitliliğinin karmaşıklığına rağmen, farklı çözünürlükte farklı kentsel ortamları ölçmek, sınırlandırmak ve sınıflandırmak için kullanılabilir.³¹

Uzaktan algılama tekniklerini kullanmanın üstünlüğü, geniş alanlar üzerindeki sıcaklığı görselleştirebilme gücü ve tek bir seferde çok büyük sayıda termal verinin elde edilebilmesidir.³² Ancak bu yöntemde, kentsel sıcaklık sadece kuş bakışı olarak ölçülebilmekte, ağaçların altında kalan yeşil örtü ve duvar sıcaklıkları ihmal edilmektedir.³³ Ayrıca, uydu görüntüsünün çözünürlüğüne bağlı olarak arazi örtüsüne ait detay kayıpları söz konusu olmaktadır, örneğin uzaktan algılama verileriyle elde edilen bulgularda küçük yeşil alanlar gibi detay veriler kaybolabilmektedir.³⁴ Düşük çözünürlüklü uydu verileri geniş ölçekli ısı adaları ve özelliklerini incelemek için yeterli olurken; yüksek çözünürlüklü ısı verileri, ısı adası yoğunluğunun daha küçük ölçekteki arazi örtüsüyle karşılaştırılmasında fayda sağlamaktadır.³⁵ Bu nedenle amaca uygun görüntünün seçimi, çalışma hassasiyetini etkilemesine bağlı olarak büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, bu bilgiler ışığında, çalışmanın ölçeğine ve araştırmanın detayına bağlı olarak yersel ölçümler ve bilgilerle desteklenecek uzaktan algılama çalışmaları, alanın daha doğru biçimde tanımlanmasına olanak tanımaktadır.

ASTER ve TM verileri, özellikle termal band çözünürlüklerine bağlı olarak, ısı adalarının tespitinde tercih edilirler.³⁶ Geniş şehir alanlarında Landsat TM verilerinin, arazi yüzey sıcaklıkları dağılımının analiz edilmesinde kullanılması önemli yöntemlerden birisidir.³⁷ Uydu görüntüsünün seçiminde, çalışmanın amacı da göz önüne alınarak ısınmanın daha fazla olduğu yaz dönemi görüntüsü tercih edilerek, Landsat-5 TM 28 Haziran 2007 görüntüsü seçilmiştir. Verinin mekânsal çözünürlüğü termal band hariç 30m'dir, termal band için 120m'dir.

Görüntü işleme çalışmalarına başlamadan önce uydu görüntüsünün üzerinde Chander ve Markham'ın³⁸ vermiş olduğu Landsat-5 TM kalibrasyon katsayıları ve

³⁰ Grimmond, 2006, s. 10

³¹ Weng vd., 2007, s. 205

³² Sabnis,2011, s. 175-226

³³ Voogt, 1997, s. 1118

³⁴ Hirano, 2004, s. 176

³⁵ Streutker, 2003, s. 288

³⁶ Du vd., 2009, s. 2

³⁷ Watanabe, 1991, s. 133-7

³⁸ Chander vd., 2007, s. 493

²⁷ Gartland, 2008, s. 29

²⁹ EPA, 2012

²⁸ Sabnis, 2011, s. 175-226

dönüşüm formülleri kullanılarak radyometrik düzeltmeler yapılmıştır. Uydu görüntülerine ait piksel değerleri, dijital değerlerle (DN) ya da parlaklık değerleri ile ifade edilmektedir. Her bir algılayıcıda farklı bir radyans değerini temsil eden dijital numaraların anlamlı hale gelebilmesi için aşağıdaki dönüşüm (bkz: 1) formülü uygulanarak L_{λ} değeri elde edilmiştir.

$$L_{\lambda} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} Q_{cal} + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

$$Q_{cal\ max} = 255 \quad Q_{cal\ min} = 0$$

$$L_{\lambda} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{255} Q_{cal} + LMIN_{\lambda}$$

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale}$$

L_{λ} değeri hesaplandıktan sonra yüzey sıcaklığının hesaplanabilmesi için yüzey elemanlarının yansıma karakteristiklerini öne çıkaran emissivite ve NDVI değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir.

Van (1993), doğal ortamda bir dizi termal band emissivite ve normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI) ölçümleri (bkz: 2) yaparak aralarında yüksek korelasyonda logaritmik bir bağlantı bulunduğunu tespit etmiştir. Genellikle kuru toprağın emissivite değeri, bitkilerin daha nemli olmasından dolayı daha düşüktür. Van vd. formülüne³⁹ göre (bkz: 3), ϵ değeri hesaplanmıştır.

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad (2)$$

$$\epsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(NDVI) \quad (3)$$

Gong'un yüzey sıcaklığını elde edebilmek için kullanmış olduğu tek kanal algoritmasına⁴⁰ (bkz: 4) göre yüzey sıcaklığı hesaplamaları yapılmıştır. Ancak bu formüllerde kullanılması gereken bazı sabitler, uydunun geçiş anındaki atmosferik koşulların bilinmemesi nedeniyle, yaz dönemi orta enlem standartları olarak alınmıştır.

$$L_{\lambda\ atm} \downarrow = 1.68 \text{ Wm}^{-2} \mu \text{ m}^{-1} \text{ Sr}^{-1}$$

$$L_{\lambda\ atm} \uparrow = 1.74 \text{ Wm}^{-2} \mu \text{ m}^{-1} \text{ Sr}^{-1}$$

$$\tau = 0.77$$

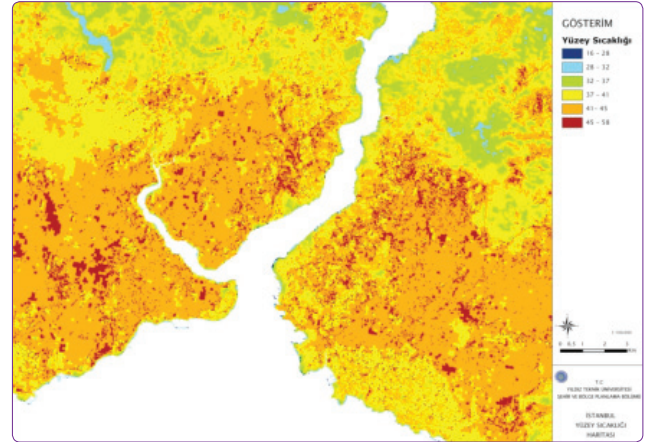
$$L_{\lambda}(TS) = \frac{(L_{\lambda} - L_{\lambda\ atm} \uparrow)}{\tau \epsilon_{\lambda}} - \frac{1 - \epsilon_{\lambda}}{\epsilon_{\lambda}} L_{\lambda\ atm} \downarrow \quad (4)$$

En son aşamada aşağıda sadeleştirilmiş olarak verilmiş olan formül (bkz: 5) üzerinden gerçek yüzey sıcaklığı hesaplanmıştır.

$$TS = \frac{1260.56}{\ln\left(\frac{607.76}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (5)$$

Elde edilmiş olan TS görüntüsü üzerinde tüm Şekil 5'de verilmiş olan İstanbul Yüzey Sıcaklığı Haritası elde edilmiştir.⁴¹

Görüntü zenginleştirme yöntemlerinden birisi olan



Şekil 5. İstanbul yüzey sıcaklığı haritası.

bitki örtüsü indisleri kullanılarak bitki örtüsü yoğunluğu ve dağılımı ön plana çıkartılarak belirlenebilmektedir. En yaygın kullanılan bitki örtüsü indislerinden biri normalize edilmiş bitki indeksi (NDVI) dir ve yakın kızılötesi ve kırmızı bölgede algılama yapmış olan bantlardan faydalanılarak hesaplanmaktadır.⁴²

NDVI, görüntü üzerinden her bir piksel verisi için hesaplanan, bitki örtüsünün biyokütle, yaprak alanı indeksi ve yüzdesi gibi bitki örtüsü özellikleri ile ilişkili vejetasyon miktarı ve durumunun bir ölçüsüdür.⁴³ Normalize edilmiş bitki indeksi farkı (NDVI) değeri, her bir piksel üzerinden aşağıdaki formülle (bkz: 6) hesaplanmaktadır.⁴⁴

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R) \quad (6)$$

IR pikselin yakın kızılötesi band (0.72–1.1 μm) değeridir ve R pikselin kırmızı band (0.58–0.68 μm) değeridir. NDVI değeri yüzey örtüsü niteliklerine göre (bitki örtüsü, su, toprak,...vb) "-1" ile "+1" arasında değişmektedir.⁴⁵ Bitki örtüsü, yüksek yakın kızılötesi reflektansına ve düşük kırmızı band reflektansına

³⁹ Van vd., 1993, s. 1119-1131

⁴⁰ Gong, 2005, s. 3260

⁴¹ Kuşçu vd., 2010, s.2

⁴² Sertel vd., 2009, s.4

⁴³ NYSERDA, 2006, s. 25

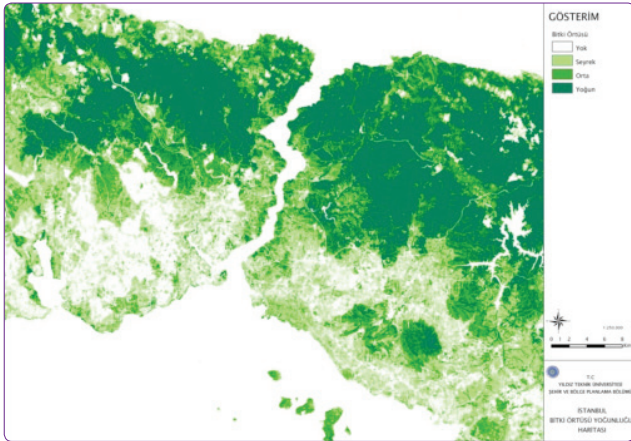
⁴⁴ Lillesand vd., 1987, s. 448

⁴⁵ Balázs vd., 2007, s. 8

sahiptir, bu nedenle indeks pozitif değer almaktadır. Bu değer biyokütle miktarına bağlıdır. Örneğin yüzey düşük yoğunluklu bitki örtüsü dokusu ile kaplıysa NDVI $\approx 0.2-0.5$ arasında, eğer yüzey yoğun bitki örtüsü dokusu ile kaplı ise (orman alanları gibi) ve pikselin tamamını bu örtü kaplıyorsa NDVI $\approx 0.5-1$ aralığında değer alacaktır. Çıplak kaya, asfalt ve beton yüzeylerin yakın kızıl ötesi ve kırmızı band reflektansları yaklaşık eşit olduğu için NDVI değeri "0" civarında olmaktadır. Su yüzeylerinde ise, kırmızı band yüksek, yakın kızıl ötesi düşük reflektans verdiği için NDVI değeri -1'e yaklaşmaktadır. Dolayısıyla bu indeks yardımı ile, sulak alanlar, yapılaşma alanları ve bitki örtüsü alanları her bir piksel için tespit edilebilmektedir.⁴⁶ Tunay vd.'nin yapmış olduğu çalışmada da; NDVI verilerinde çok yüksek oranda yeşil bitki örtüsü bulunan ($NDVI > 0.7$), düşük oranda yeşil bitki örtüsü bulunan ($0.4 > NDVI > 0$) ve bitki örtüsü bulunmayan ($NDVI < 0$) bölgeler olarak tanımlanmıştır.⁴⁷

Bu iki sınıflandırmadan da yararlanılarak İstanbul bitki örtüsü yoğunluğu haritası oluşturulurken, NDVI değerleri Tablo 2'de verilmiş olan aralıklara göre dört sınıfa ayrıştırılmıştır. Bu ayrışımaya göre aşağıda Şekil 6'da verilmiş olan "Bitki Örtüsü Yoğunluğu Haritası" elde edilmiştir.

Hesaplamalarla elde edilmiş olan NDVI değerleri, her bir pikselin sıcaklık değerleri ile ilişkilendirilerek tabloya aktarılmıştır. Daha sonra, çalışma konusunun kentsel iklim araştırması olması nedeniyle ve istatistiksel olarak daha anlamlı analiz yapılabilmesi amacıyla, çalışma alanı İstanbul yerleşme alanı sınırları kapsamında kesilerek analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 6. İstanbul bitki örtüsü yoğunluğu haritası.

⁴⁶ Balázs vd., 2009, s. 279

⁴⁷ Tunay vd., 2008, s. 71-79

Analizler ve Bulgular

Bağımlı değişken sıcaklık, bağımsız değişken NDVI olmak üzere, önce basit doğrusal regresyon analizi ile incelenmiş, daha sonra kümeleme yöntemi olan karar ağacı ile modellenerek değerlendirilmiştir.

Bağımlı değişken sıcaklık, bağımsız değişken NDVI olmak üzere çalışma alanında bulunan her bir piksel verisi üzerinden basit doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Tablo 3'de izlenebilen regresyon sonucuna göre R değeri 0.452, R2 değeri %20 olarak bulunmuştur.

Buna göre bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında %45'lik ilişki olduğu, bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni açıklama oranının %20 olduğu sonucu çıkmaktadır. Yani sıcaklık %20 oranında bitki örtüsünden etkilenmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi, kentsel iklimin çok fazla parametreye bağlı olması nedeniyle, kalan %79'luk kısım modele dâhil edilmemiş olan diğer değişkenler tarafından açıklanmaktadır. Sonuçlar diğer faktörler de düşünülerek değerlendirildiğinde, bitki örtüsünün tek başına önemli bir etkisinin bulunduğunu işaret etmektedir. Sıcaklığın, bitki örtüsüyle açıklanmaya çalışıldığı model (Tablo 4), % 95 güvenirlikte anlamlıdır (sig.=0.00). Son olarak model katsayıları incelendiğinde (Tablo 5), bitki örtüsündeki artışın sıcaklığı düşürdüğü ve katsayıların anlamlı olduğu görülmektedir. Özetle model tahmin sonucu $y=42.980-9.729x$ olarak çıkmaktadır.

Kümeleme analizleri, veri grupları arasındaki benzerliklerden yararlanarak yapılan bir çeşit gruplamadır. Araştırma çalışmalarının karar verme sürecinde sağladığı özet bilgilerin, modelin bütün halinde değerlendirilmesine ve yorumlanmasına olanak tanınması yönünden kolaylık sağlamaktadır. Kümeleme analizi, araştırmada gözlenen nesnelere ölçülen tüm değişkenler üzerin-

Tablo 2. NDVI değer aralıklarında bitki örtüsü yoğunluğu

-1.0<	Bitki örtüsü yok	<0.05
0.05<	Seyrek bitki örtüsü	<0.2
0.2<	Orta bitki örtüsü	<0.4
0.4<	Yoğun bitki örtüsü	<1

Tablo 3. Doğrusal regresyon analizi

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.452 ^a	.205	.205	3.08431271026072E0

a. Predictors: (Constant), ndvi

Tablo 4. Sıcaklık, bitki örtüsü rekresyon ilişkisi anlamlılık düzeyi

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2079853.785	1	2079853.785	218633.143	.000 ^a
	Residual	8078835.831	849243	9.513		
	Total	1.016E7	849244			

a. Predictors: (Constant), ndvi; b. Dependent Variable: tsurf

Tablo 5. Korelasyon katsayıları

Model		Coefficients ^a				Sig.
		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	
1	(Constant)	42.980	.004		9956.56	.000
	ndvi	-9.729	.021	-.452	2	.000
					467.582	

a. Dependent Variable: tsurf

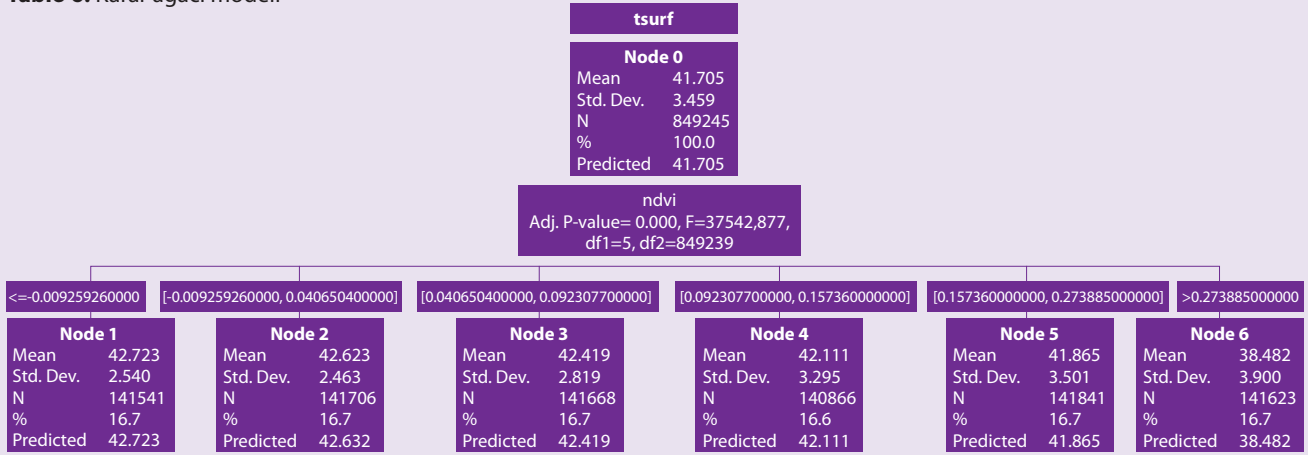
deki değerlerini hesaplayarak ortaya çıkacak kümeler ya da gruplara odaklanmaktadır. Nesnel arasındaki benzerlikleri saptamak amacıyla uzaklık ölçüleri, korelasyon ölçüleri veya nitelik verilerinin benzerlik ölçüleri kullanılmaktadır.⁴⁸

Düğüm ve dallardan oluşan karar ağacında; bağımlı değişkeni en çok etkileyen bağımsız değişkenler belirlendikten sonra her bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni etkileme derecesi tespit edilmekte ve ağaç bu şekilde alt dallara ayrılarak dallanmaktadır.

Yöntem aşağıda verilen konuların analizine olanak tanımaktadır.

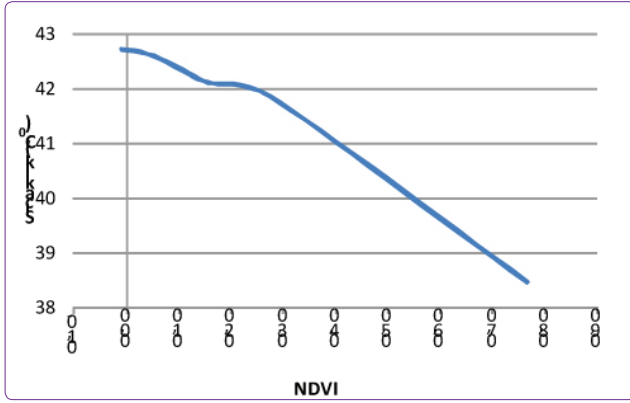
- Kümelenen grupların belirlenmesi
- Etki derecelerine göre faktörlerin sıralanması
- Alt küme ilişkilerinin belirlenmesi
- Geleceğe dönük tahminlerin yapılabilmesi

Buna göre 6 sınıflı kümeleme analizi yapıldığında (Tablo 6), NDVI değerlerine ait oluşan alt kümelerinde beklenen sıcaklık değerleri görülmektedir. NDVI değerlerinin "-1" den "+1" e doğru artış aralığında sıcaklık ilişkilerini gösteren bu ağaca göre, bitki örtüsü yoğunluğunun artışıyla birlikte sıcaklığın düzenli biçimde azaldığı görülmektedir. Tabloya göre bitki örtüsünün

Tablo 6. Karar ağacı modeli

⁴⁸ Kalaycı, 2008, s. 349

en az olduğu kümenin beklenen sıcaklık değeri 42.723 iken, bitki örtüsün en yoğun olduğu kümenin beklenen sıcaklık değeri 38.482 olarak hesaplanmıştır. Yani, bitki örtüsü yoğunluğundaki değişim kentsel iklimi yaklaşık 4 derece etkilemektedir. Bu iklimsel değerlendirme İstanbul'un yerleşim alanları üzerinden yapılmıştır. Yani sonuç değerler, yapılaşmış alanlar içerisinde bulunan bitki örtüsü yoğunluğunun yarattığı farklardan kaynaklanmaktadır. Orman alanları ve kırsal çevrenin de ele alınacağı bir analizde, bu farkın çok daha yüksek değerlere ulaşacağı aşikardır.



Şekil 7. Ağaç diyagramı beklenen değerler grafiği.

Değerlendirme ve Sonuç

Bu makale kapsamında bağımlı değişken sıcaklık, bağımsız değişken bitki yoğunluğu (NDVI) arasında yapılan regresyon analizinde de değişkenler arasında %45'lik ilişki olduğu, bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni açıklama oranının %20 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bir başka deyişle, yoğun yapılaşma, yapı malzemeleri gibi pek çok parametreden etkilenen kentsel sıcaklığa, % 20 gibi önemli bir oranda bitki örtüsü etki etmektedir. Yapılan ağaç diyagramı analizinden de İstanbul yerleşim alanı içerisinde bitki örtüsü yoğunluğundaki değişimin kentsel iklimi yaklaşık 4 derece etkilediği, bitki yoğunluğu arttıkça sıcaklık değerlerinin düştüğü saptanmıştır. İstanbul yüzey sıcaklık haritası incelendiğinde de, ayrıık yerleşim dokusu yeşilin göreceli daha yüksek olduğu Anadolu yakası sahil kesimi ile Boğaz boylarında sıcaklıkların daha düşük, merkez ve gecekondulaşmayla başlayan ıslah imar planı ile gelişen yoğun dokunun hakim olduğu alanlarda sıcaklıkların yüksek olduğu açıkça görülmektedir (bkz. Şekil 5).

Yeşil alanların biyofiziksel özellikleri, kentsel iklimin iyileşmesinde öne çıkan parametrelerden birisidir. Top-

rak ve bitkiler gün boyu önce ısıyı emmekte ve daha sonra buharlaşma yoluyla ısıyı uzaklaştırmaktadırlar.⁴⁹ Bu özellikler, iklimsel değişiklikler karşısında kentin uyum yeteneğini arttırmaktadır. Gölgeleme ve bitkilerin terleme-buharlaşma işlemi, kentsel alanlarda doğal soğutma mekanizması işlevi görmektedir. Yani orman alanları, en serin bölgelerdir ve gün içerisindeki ısınmaya bağlı olarak örtü tabakasında (urban canopy layer- UCL) oluşan negatif etkileri zayıflatabilmektedir.

Ağaçların üst kısımlarına gelen güneş ışınlarının emiliminde; radyasyonun çoğu buharlaşmaya bağlı soğumayla birlikte gizil ısı akısına dönüşmektedir, böylece toprak yüzeyini ısıtacak güneş radyasyonunun geçişi engellenmekte ve bu şekilde yüzeye yakın bölgelerde hissedilir ısı düşmektedir. Ancak, çayır alanlarının aynı koruyuculuğu yaptığı söylenememektedir. Bu alanlarda gündüz belirgin ısınmanın yanı sıra gece gündüz arasındaki sıcaklık farklarını arttıran gece soğumaları da meydana gelmektedir.⁵⁰ Murphy vd. 2011 yılında yayınlamış oldukları çalışmaya göre; kentsel bölge ve orman alanları arasında yapılan ölçümlerde ölçülen en yüksek sıcaklık 4.7 °C olarak bulunmuştur. Kentsel alan ve biçilmiş otlak (açık ve kırsal alanlar) arasında yapılan ölçümlerde en yüksek sıcaklık değeri 3.9°C olarak bulunmuştur. Yine aynı çalışmaya göre 'otsu alanlar' gün içi ısınması ile mücadele etmede etkisiz olurken, ağaç örtüsü ve sağladıkları gölgeler gün içi ısınmasını azaltmada başarılı olmaktadır.⁵¹ Yapılmış olan başka bir çalışmayla, yaz aylarında ağaçların sağladığı soğutma etkisinin %80'inin gölgelemeden kaynaklandığı tespit edilmiştir.⁵² Bu noktada şu temel farklılık çok iyi ayırt edilmelidir, çim veya otsu bitkilerin etkisi hiçbir zaman odunsu bitkiler kadar etkin olamamaktadır. Dolayısıyla, gelişmiş ağaçlar kesilerek yerine oluşturulan çim alanlar iklimsel açıdan negatif yönde etki yaratırken, beton yüzeyler yerine yapılacak olan (çatı ve cephe kaplamaları) gibi daha çok otsu bitkiler ile oluşturulan alanlar iklimsel açıdan pozitif yönde etki yaratmaktadır.

Yapılmış olan tüm bu çalışmaların da göstermiş olduğu gibi, özellikle odunsu bitkiler kent iklimleri üzerinde göz ardı edilemeyecek etkilere sahiptir ve konu üzerine çalışmalar günden güne derinleşmektedir. Yukarıda verilmiş olan örnekte ve başka çalışmalarda da olduğu gibi, artık ağaçlar su tutma kapasitelerine göre incelenmekte, yeni ağaçlandırma çalışmaları bu bilgiler göz önünde tutularak yapılmaktadır.

Kentleşmenin ve nüfusun hızla arttığı günümüz dün-

⁴⁹ Sabnis, 2011, s. 175-226

⁵⁰ Murphy, 2011, s. 1232

⁵² Shashua-Bar, 2000, s. 230

⁵¹ Murphy, 2011, s. 1233

yasında, kentin insanla ilişkisinde çevre açısından çok daha duyarlı ve dikkatli tavır alınması artık zorunluluk halini almıştır. Alınan kentsel kararlar, insanın biyolojik ihtiyaçlarına duyarlı olmak zorundadır. Kentleşmenin önlenemeyen artış hızı karşısında geleceğe dönük olası değişiklikler göz önüne alınmalı, olumsuz etkilerin geri dönülmez noktalara getirilmesi stratejik planlama kararlarıyla engellenmelidir.

Geçmişten gelen sağlıklı gelişim birikimi üzerine küresel dinamiklerin dikte ettiği büyüme modeli ile İstanbul yukarıda belirtilen iklimsel tehditlere açık bir gelişim göstermektedir. Plan kararlarının bilimsel araştırmalarla ortaya konan zayıf durumlara çözüm üretmesi ve tedbirlerin alınması yerine, politik ve rantsal çıkarlar doğrultusunda şekillendirilmesi, telafisi kolay olmayan elverişsiz ortamlar yaratabilmektedir.

İstanbul coğrafi yapısının getirdiği doğal havalandırma koridorlarına sahiptir ve bu iklimsel açıdan önemli bir avantajdır. Ancak, kentin doğal yapısının sunduğu olanaklara karşı, süregelen yoğun, yüksek, toprağın kayb olduğu yapılaşmalar doğal olanakların olumlu etkilerini de gündün güne azaltmaktadır. Kentin özellikle kuzey bölgesinde yer alan orman alanları, İstanbul'un akciğerleri görevini görmektedir ve hem hava kirliliğini hem de kent iklimini düzenlemektedir. Boğazlar, halicler, lagünler ve vadiler deniz ve ormanları bağlayan kanallar olup, kenti serinleten ve havasının temizlenmesinde etken doğal kaynaklarıdır. Son dönemde gündeme oturan üçüncü köprü, üçüncü havaalanı ve kuzeye yönelen yüksek katlı prestij projelerinin, orman alanlarının ve su havzalarının tahribine neden olmasının yanısıra; meropolün bir dünya kenti olmasında, yaşam konforu açısından en önemli özelliklerinden biri olan iklim avantajı için de tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca kent içinde yeşil alanların giderek azalması, yeterli ağaçlandırma çalışmalarının yapılmaması, iklimsel olarak kentte zayıflık yaratmaktadır; yeşil alan tanımının çimlendirme ve çiçeklendirmeye dönüşmesi iklimsel açıdan yeterli sonuç üretilememesine neden olmaktadır. Bunlarla birlikte son dönemlerde park içi yürüyüş yollarının geniş beton yüzeyler şeklinde tasarlanması, yeşil alanın yaratacağı soğutma etkisini azaltmakta, beton yüzeyin fiziksel özelliklerine bağlı olarak ısınmayı arttırmaktadır.

Oldukça kompleks bir yapı içeren kentsel iklim, bir çok faktörün etkisinde gösterdiği değişikliğe de bağlı olarak analizi ve değerlendirmesi zor bir konudur. Avrupa Çevre Ajansı 2012 yılında, kentlerin iklim değişimine nasıl hazırlanması gerektiğine dair stratejik rapor hazırlamıştır. Isı adalarının etkilerinin azaltılması ve olası sıcak hava dalgalarına karşı önlemlerin ele alındığı bu

raporda, planlama ve tasarımda iklimsel uyum ilkeleri ve yönetsel ilişkileri tanımlanmıştır.⁵³ Ancak özellikle yapılaşması tamamlanmış alanlarda, sorunun çözüm yöntemleri sınırlanmaktadır. Birçok kentte yoğun yapılaşmalar sonucu gelinen noktada en etkin, ucuz ve uygulanabilir yöntem kent içi ağaçlandırma, çatı ve yüzey yeşil alanlarının oluşturulması olarak ortaya çıkmaktadır. Yeşil çatı uygulamaları, artık gelişmiş bir çok ülkede, çeşitli yasalarla zorunluluk haline getirilmiştir. Örneğin; İsviçre'de yasalar, yeni binaların kapladığı alan genişliğinde çatı bahçesi yapılmasını, eski binalarda da çatının %20'si kadarını yeşillendirilmesini gerektirmektedir.⁵⁴ Tokyo'da 2001 yılında belediye, 1000m²'den büyük çatı alanına sahip yapıların alanlarının %20'sinin yeşillendirilmesini zorunlu tutmuştur. Bunlara benzer örnekler başka ülkelerde de görülmektedir.

Literatürdeki çalışmalarda da net bir şekilde gösterilmiş olan çarpık ve hatalı kentleşme modellerinin sıcaklık üzerindeki olumsuz etkileri, henüz bu yola girmemiş gelişmekte olan kentler için de önemli ipuçları vermektedir. Mevcut yoğun yapılaşmış dokulardaki oluşan sıcaklıkların azaltılmasının edilmesinin yolu, binaların ve yakın çevresinin bitkilendirilmesi gibi sınırlı ve etkinliği daha az olan bir çözüme bağımlı kalmaktadır. Bu hatalardan ders alabilen gelişmekte olan birçok kent, kenti çevreleyen doğal bitki örtüsünün korunmasından başlayarak, kentte hava akımlarına olanak sağlayan kentsel yeşil sisteminin kurulması, uygun iklimlendirme koşullarını sağlayan binaların form ve yükseklik kompozisyonlarının oluşturulması ve uygun bitkilendirme çalışmalarının yapılması ile geleceğin sağlıklı ve yaşanılabilir kentleri olabilme avantajını yakalayabileceklerdir.

Bu avantajları yakalayabilme olanağına sahip olan İstanbul'da, orman alanlarının tahrip edilmesiyle yeşil alanlar gündün güne azalmakta, doğal hava koridorları yüksek ve yoğun yapılaşmalar ile tıkanmakta, kent içi yeşil alanlar yapılaşmaya açılarak yok edilmektedir. Deniz kıyılarına yakın bölgelerde yapılan yüksek katlı binalar, kirleticileri dağıtabilecek deniz meltemlerini engellemektedir.

Deneyimlerden elde edilen bilimsel bulgular ışığında, İstanbul'un bugün bulunduğu noktada iklim değişikliği ve ısı adaları/sıcaklık artışları konusu öncelikli gündeme alınmalı, ayrıntılı iklimsel modellemeler ile kentin bu gelişim eğilimi ile karşı karşıya kalacağı tehditler öngörülmesi ve önlemler çok geç kalınmadan gerçekleştirilmelidir.

⁵³ EEA, 2012

⁵⁴ Kuhn, 1995

Kaynaklar

- Akbari, H., Rosenfeld, A.H. ve Taha, H. (1990). "Summer Heat Island, Urban Trees and White Surfaces". Energy Analysis Program, Center of Building Science Division Lawrence Berkeley Lab.
- Akbari, H. (2002). "Shade Trees Reduce Building Energy Use and CO2 Emissions from Power Plants", Environmental Pollution, Sayı 116,s. 119–126.
- Akbari, H. ve Rose, L.S. (2008). "Urban Surfaces and Heat Island Mitigation Potentials", Journal of the Human-Environmental System, Sayı 11/2, s. 85–101, 2008.
- Alexandri, E. (2002). "The Effect of Green Roofs on the Urban Climate - A Quantitative Approach" PLEA, 23-25 July, Toulouse, s. 311-316.
- Balázs, B., Geiger, J. ve Sümeghy Z. (2007). "Annual Mean Urban Heat Island Versus 2D Surface Parameters: Modelling, Validation and Extension", Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis, Tomus 40-41, s. 5-15.
- Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümeghy, Z., Geiger, J. ve Szegedi S. (2009). "Simulation of the Mean Urban Heat Island Using 2d Surface Parameters: Empirical Modelling, Verification and Extension", RMets Meteorological Applications Meteorol. Appl. Sayı 16, s. 275-87.
- Chander, G. ve Markham, B.L. (2007). "Revised Landsat-5 Thematic Mapper Calibration", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters., Sayı 4/3.
- Dhaka, S. (2004). "Urban Energy Use and Greenhouse Gas Emissions in Asian Mega-Cities" - Urban Environmental Management Project – Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan.
- Du, M., Wang, Q. ve Cai, G. (2009). "Temporal and Spatial Variations of Urban Heat Island Effect in Beijing Using ASTER and TM Data", Remote Sensing Joint Event, s. 1-5
- ECOSOC. (2011). "The Impact of Global Challenges and Trends on Humanitarian Response: A Look at Migration Urbanization and Population Growth", Humanitarian Affairs Segment, 19 July Geneva.
- EEA. (2012). "Urban Adaptation to Climate Change in Europe", European Environment Agency, EEA Copenhagen, ISBN: 978-92-9213-308-5.
- Emmanuel, M.R. (2005). "An Urban Approach to Climate Sensitive Design: Strategies for the Tropics", Spon Press Taylor&Francis Group, ISBN 0-415-33409-8
- EPA. (2012). "Measuring Heat Islands", State and Local Climate and Energy Program, Heat Island Notes.
- Gartland, L. (2008)., "Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas", Published by Earthscan, ISBN-13:978-1-84407-250-7, London.
- Gill, S.E., Handley, J.F., Ennos, A.R. ve Pauleit S. (2007). "Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure", Built Environment, Sayı 33,s. 1.
- Golden, J.S. (2004). "The Built Environment Induced Urban Heat Island Effect in Rapidly Urbanizing Arid Regions – A Sustainable Urban Engineering Complexity", Environmental Sciences 2003/2004, Sayı1/4, s. 321-49.
- Gong, A., Yunhao, C., Jing, L. ve Zhijun C. (2005). "Study on Urban Land Surface Temperature Retrieval Based on Landsat TM Remote Sensing Images in Beijing", Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '05. Proceedings. IEEE International.
- Grimmond, C.S.B. (2006). "Progress in Measuring and Observing the Urban Atmosphere", Theor. Appl. Climatol. Sayı 84, s. 3-22.
- Hirano, Y., Yasuoka, Y. ve Ichinose, T. (2004). "Urban Climate Simulation by Incorporating Satellite-Derived Vegetation Cover Distribution into a Mesoscale Meteorological Model", Theoretical and Applied. Climatology, Sayı 79, s.175–184.
- Jackson, T.L., Feddema, J.J., Oleson, K.W., Bonan, G.B. ve Bauer, J.T. (2010). "Parameterization of Urban Characteristics for Global Climate Modeling", Annals of the Association of American Geographers, Sayı 100/ 4, s. 848-865
- Kalaycı, Ş. (2008). "SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri", Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., ISBN:975-9091-14-3.
- Kuşçu, Ç. (2010). "Landsat TM Verileri Üzerinden Yüzeysel Sıcaklığı Haritasının Oluşturulması ve Yersel Ölçümler ile İlişkisinin İncelenmesi", I. Ulusal Planlamada Sayısal Modeller Sempozyumu 24-26 Kasım 2010, İstanbul.
- Kuşçu, Ç. ve Şengezer, B. (2011). "Determination of Heat Islands from Landsat Tm Data: Relationship between Surface Temperature and Urbanization Factors in İstanbul", 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 10-15 April, Sydney, Australia.
- Lillesand, TM. ve Kiefer, RW. (1987). "Remote Sensing and Image Interpretation". John Wiley and Sons: New York; 705.
- Madra, Ö. (2007). "Niçin Daha Fazla Bekleyemeyiz: Küresel Isınma ve İklim Krizi", Agora Kitaplığı, ISBN:978-9944-916-93-6, İstanbul.
- Manning, M.J. (2008). "Plants in Urban Ecosystems: Essential Role of Urban Forests in Urban Metabolism and Succession Toward Sustainability", International Journal of Sustainable Development and World Ecology, Sayı 15, s. 362-70.
- Mayer, M. ve Matzarakis A. (2006). "Impact of Street Trees on the Thermal Comfort of People in Summer". Merchavim, Sayı 6, s. 285-300.
- Murphy, D.J., Hall, M.H., Hall, C.A.S., Heisler, G.M., Stehman, S.V. and Molina C.A. (2011). "The Relationship between Land Cover and the Urban Heat Island in Northeastern Puerto Rico", International Journal of Climatology, Sayı 31, s. 1222-39.
- NYSERDA. (2006). "Mitigating New York City's Heat Island with Urban Forestry, Living Roofs and Light Surfaces", New York City Regional Heat Island Initiative Final Report, The New York State Energy Research and Development Authority Albany, NY.
- Öktem, B. (2005). "Küresel Kent Söyleminin Kentsel Mekânı Dönüştürmedeki Rolü – Büyükdere Maslak Aksı", İstanbul'da Kentsel Ayrışma Kitabı, s. 25-75, Bağlam Yayınları, ISBN: 975-8803-39-5.
- Sabnis, G.M. (2011). "Green Building with Concrete Sustainable Design and Construction", CRC Press, s. 175–226, eBook ISBN: 978-1-4398-1297-6.
- Santamouris, M. (2001). "Energy and Climate in the Urban

- Built Environment”, James&James (Science Publishers), ISBN 1-873936-90-7.
- Sertel, E. ve Örmeci, C. (2009). “Uzaktan Algılama Verilerinin İklim Biliminde Kullanım Olanakları”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 11-15 Mayıs, Ankara.
- Shashua-Bar, L. ve Hoffman M.E. (2000). “Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street - An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees”, Energy and Buildings, Sayı 31, s. 221-35.
- Streutker, D.R. (2003). “Satellite-Measured Growth of the Urban Heat Island of Houston, Texas”, Remote Sensing of Environment, Sayı 85, s. 282-9.
- Tunay, M. ve Ateşoğlu, A. (2008). “Çok Zamanlı Uydu Görüntüleri ile Amasra ve Yakın Çevresine Ait Bitki Örtüsü Değişim Analizi”, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt.10 Sayı.13, s. 71-80.
- Van De Griend, A. A. ve Owe M. (1993). “On the Relationship between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Surfaces”, Int. Journal of Remote Sensing, Sayı 14/6, s. 1119-31.
- Voogt, J.A. ve Oke, T. (1997). “Complete Urban Surface Temperatures”, Journal of Applied Meteorology Sayı 36, s. 1117-32.
- Voogt, J.A. ve Oke, T. (2003). “Thermal Remote Sensing of Urban Climates”, Remote Sensing of Environment, Sayı 86, s. 370-84.
- Watanabe, H., Yoda, H. ve Ojima, T. (1990/91). “Urban Environmental Design of Land Use in Tokyo Metropolitan Area”, Energy and Buildings, Sayı 15, s. 133-7.
- Weng, Q. ve Quattrochi, D.A. (2007). “Urban Remote Sensing”, CRC Press Taylor & Francis Group ISBN: 0-8493-9199-7.
- World Health Organization (WHO). (2004). “Urban Bioclimatology”, Heat-Waves: Risks and Responses, Health and Global Environmental Change Series, No. 2, WHO Regional Office for Europe, Denmark.

İnternet Kaynakları

- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, “Arazi Örtüsü Kullanım Verileri”<http://aris.cob.gov.tr/csa/>, (Erişim Tarihi 14 Aralık 2011)
- Robine, J.M., Cheung, S.L., Roy, S.L., Oyen, H.V., Herrmann, F.R., (2007). “Report on Excess Mortality in Europe During Summer 2003, EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114, http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf, (Erişim Tarihi 26 Ekim 2011)
- Voogt, J.A., <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html?newwindow=true> (Erişim Tarihi 11 Nisan 2012)
- Koçak, K. “İklim değişikliğinde İnsan Faktörü”, <http://web.itu.edu.tr/~kkocak/iklimpdf.pdf>, (Erişim Tarihi 1 Kasım 2012)
- Kuhn M., (1995). “Rooftop Resource”, Urban Agriculture Notes, Published by City Farmer, Canada’s Office of Urban Agriculture, <http://www.cityfarmer.org/roofmonica61.html>, (Erişim Tarihi 10 Temmuz 2012)