

ANKARA KENTİNDE KENTSEL ISI ADASI ETKİSİNİN YAZ AYLARINDA UZAKTAN ALGILAMA VE METEOROLOJİK GÖZLEMLERE DAYALI OLARAK SAPTANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ¹

Ülkü DUMAN YÜKSEL ve Oğuz YILMAZ*

Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe, Ankara
uduman@gazi.edu.tr,

*Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ziraat Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Dışkapı, Ankara

(Geliş/Received: 03.04.2008 ; Kabul/Accepted: 10.03.2008)

ÖZET

Kentlerde yeşil alanların ve buharlaşma yüzeylerinin azalması; beton ve asfaltla kaplanmış yüzeylerin, yapısal alanların artması gibi nedenlerle meteorolojik parametreler değişerek yerel ve bölgesel ölçekte iklim değişimine neden olmakta; büyük kentler kendilerine özgü iklimleri olan mekanlar haline gelmektedirler. Kentsel alanlardaki bu iklimsel farklılaşma “kentsel ısı adası” olarak tanımlanmaktadır. Ankara kentinde hızlı ve yoğun yapılaşma sonucunda iklim parametrelerinde değişimler olduğu bilinmektedir. Bu çalışma ile Ankara Metropolü için öncelikle bölge ölçeğinde 1985 yılından 2002 yılına kadar yapılaşmış alanların artması sonucu oluşan alan kullanımlarındaki ve arazi örtüsündeki değişimlere bağlı olarak ortaya çıkan yüzey sıcaklığı açısından farklılıklar ve kentteki ısı adalarının bu yıllar arasındaki değişimi tespit edilmiş; ayrıca bu tespitlere bağlı olarak seçilen farklı arazi örtüsüne ve farklı yüzey sıcaklığına sahip 3 alanda sıcaklık ve nem parametreleri açısından sabit meteorolojik ölçüm aletleri ile ölçümler yapılarak yapı yoğunluğu, yeşil alanlar ve meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Sonuçta Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisi oluşumunun engellenmesi ve etkinin azaltılabilmesi için alınabilecek önlemler ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler : kentsel ısı adası, yeşil alanlar, arazi kullanımı, arazi örtüsü, uzaktan algılama, landsat.

A STUDY ON DETERMINING AND EVALUATING SUMMERTIME URBAN HEAT ISLANDS IN ANKARA AT REGIONAL AND LOCAL SCALE UTILIZING REMOTE SENSING AND METEOROLOGICAL DATA

ABSTRACT

In contemporary metropolitan cities, as a result of lessening green areas and evaporation surfaces, increasing asphalted surfaces and built areas meteorological parameters change and cause local and regional climate changes which makes the cities unhealthy places that have their own climatic properties. This differentiation between urban areas and surrounding semi-rural and rural areas is as ‘urban heat island’ determined. Although it is known that in Ankara, the climate parameters are changing as a result of rapid and dense urbanization, but there is not a study concerning this issue. Thus, together with this study, first the meteorological differentiations and urban heat islands at regional scale in Ankara metropolitan area caused by the changes in land use and land coverage since 1985 up to 2002 has determined. Besides in the case areas having different densities of built up areas and various sizes of green areas determined in the light of the former study; the relations between density of built up areas, green areas and meteorological parameters had put forward through meteorological measurements.

Keywords: Urban heat island, green areas, land-use, land cover, remote sensing, landsat.

¹ Bu makale Ülkü DUMAN YÜKSEL’in doktora tezinden hazırlanmıştır.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kentlerde yaşayan nüfusun hızla artması sonucunda bu alanlardaki arazi örtüsünde belirgin değişiklikler olmaktadır. Kent içindeki ve çevresindeki doğal peyzajlar taş ve beton yüzeylerle yer değiştirmekte, kırsal saçak olarak tanımlanabilecek doğal peyzaj elemanları kent merkezinden gittikçe daha uzağa itilmekte, daha fazla endüstriyel, ticari ve ulaşım servisi büyüyen kente hizmet vermek üzere geliştirilmektedir. Kentleşme ve sanayileşme, atmosferin sınır tabakasındaki ısı ve su döngüsünü etkilemekte ve kent iklimini kırsal alandan farklılaştırmaktadır [1].

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) kent iklimini, ısı kirliliği ve hava kirletici emisyonları içeren, yapılaşmış alanlar ve bölge iklimi arasındaki etkileşimler tarafından değiştirilen yerel iklim olarak tanımlamaktadır. Bir kentin iklimi mekansal büyüklüğü-uzantısı yaklaşık 250 km olan bir yerel mezoklimadır [2].

Kentsel ısı adası kavramı ise yerel antropojenik iklim değişikliğinin en iyi bilinen formlarından biridir ve kısaca kent içindeki sıcaklığın eşzamanda, çevresindeki kırsal alandan daha yüksek olması olarak tanımlanabilir. Bu sıcaklık farkının nedeni ise genelde kentsel alandaki arazi örtüsündeki değişikliklerdir [3].

Kentsel ve kırsal alan arasındaki iklimsel açıdan bu farklılık “ kentsel ısı adası “ olarak ilk kez 1820’de Londra kenti için Luke Howard tarafından tanımlanarak literatüre girmiş ve günümüze kadar dünyanın büyük kentlerinde araştırılmıştır [3,4]. Kentsel ısı adası kentleşmenin en belirgin iklimsel göstergesidir.

Kentsel ısı adaları konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde; bu çalışmaları yöntemine ve ölçeğine göre üç ana başlıkta toplamak mümkündür. Birinci gruptaki çalışmalar üst ölçekli ve uydu görüntüleri ile yapılan çalışmalardır. Bu kapsamdaki çalışmalar tüm kent ya da yakın çevresini kapsayabilmektedir. İkinci gruptaki çalışmalar ise gözlem çalışmaları olarak tanımlanabilecek, kentlerdeki ve kırsal alandaki meteoroloji istasyonlarının verilerinin kıyaslanması; kurulan istasyonların ya da kent içinde gezinen ölçüm aletlerinin verilerinin değerlendirilmesine dayalı çalışmalardır. Bu çalışmalar, istasyon sayısı ya da ölçüm yapılan sensörlerin sayısına bağlı olarak kentin bir bölümü, tamamı ya da belli bir aksı kapsayacak şekilde olabilmektedir. Üçüncü grupta ise sayısal modellerle yapılan araştırmalar yer almaktadır. Bu gruptaki çalışmalar daha çok alt ölçekte, konut ya da yapı adası ölçeğinde kalmaktadır. Yöntemi ve kapsamı açısından incelendiğinde bu çalışma birinci ve ikinci gruba girmektedir. Araştırmada öncelikle üst ölçekte uydu görüntüleri kullanılarak Ankara kent

merkezinin yüzey sıcaklıkları tespit edilmiş, ardından uydu görüntüsünden elde edilen bilgiler ışığında üç ölçüm istasyonu kurulmuştur.

Çalışma alanı olarak Ankara’nın seçilmesinin nedeni Ankara kenti nüfusu, Cumhuriyetin ilanından sonra ve Başkent seçilmesiyle çok hızlı bir şekilde artmıştır. 1920’lerden 2000’e kadar geçen süreçte, ülkesel ölçekte merkezi karar ve kontrol işlevlerini yüklenmesiyle kamu ve hizmet sektöründeki hızlı gelişmelerle kentin nüfusu 100 kattan fazla artmış, toplumsal ve mekansal yapı da, bu işlevler ve nüfus artısına koşut hızla değişmiştir. 1923 yılında Ankara yaklaşık 30.000 kişinin yasadığı küçük bir Orta Anadolu kentiyken 1927’de nüfusu 74.553’e, 1990’da 2.584.594’e, 2000 TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) nüfus sayımı sonuçlarına göre 3.356.877’ye yükselmiştir [5]. Bu açıdan bakıldığında Ankara’nın kentleşmesinin kent iklimine olan etkilerini incelemek ve sonuçlarını irdelemek çok önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

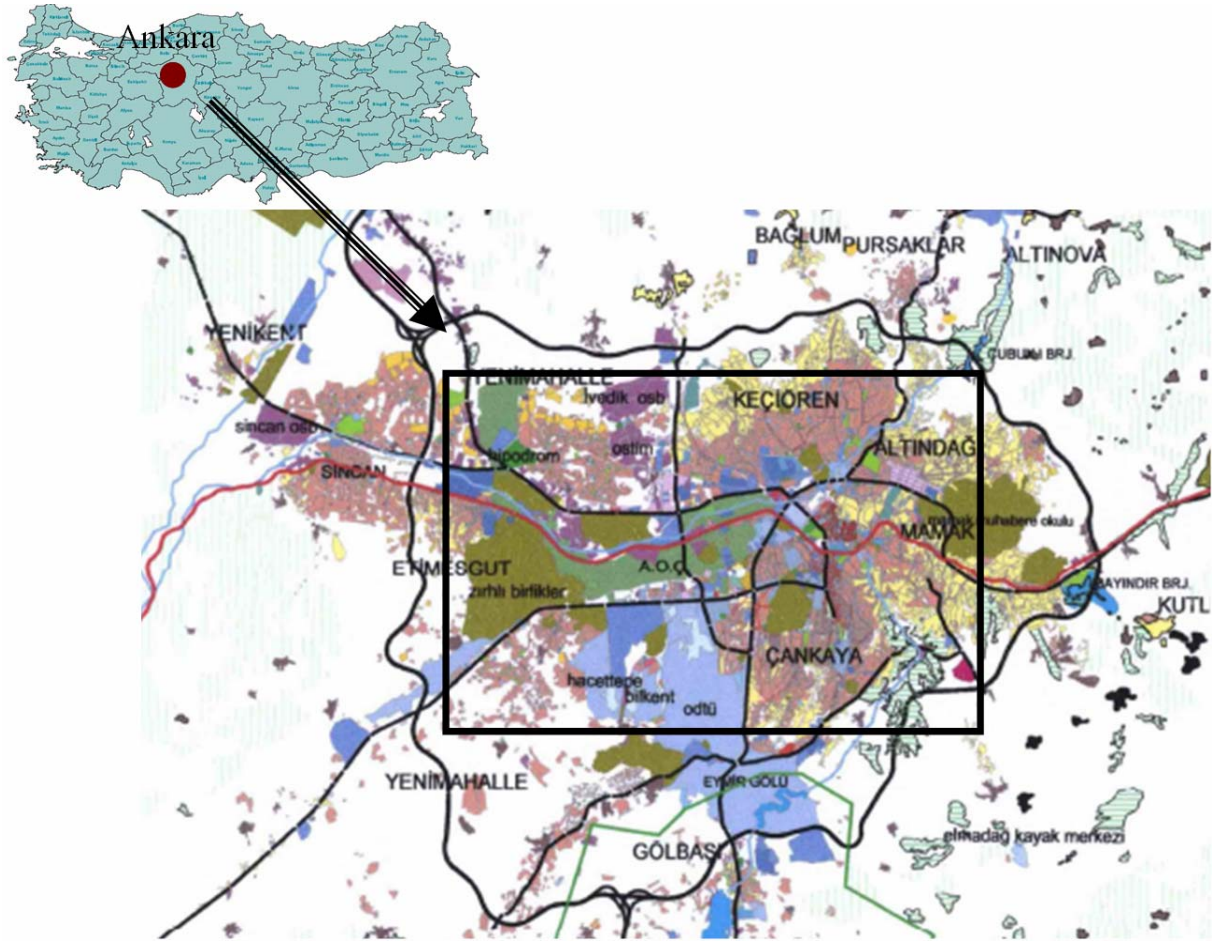
Kısaca özetlenecek olursa bu çalışmada; Ankara kentinde yaşanan hızlı kentleşmenin ve açık yeşil alanların azalarak yapılaşmış alanların artmasının yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı ve nem parametrelerini nasıl etkilediği ortaya konmuş; kentsel gelişim, arazi kullanımı-arazi örtüsünün değişimi ve kentsel ısı adasının oluşumu arasındaki ilişki bölgesel ölçekten yerel ölçeğe kadar belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılaşmış alanlar, yeşil alanlar ve meteorolojik parametreler (sıcaklık ve nem) arasındaki farklılıkların niceliksel olarak saptanması daha sağlıklı-yaşanabilir ve sürdürülebilir kentlerin oluşumu için yeşil alanların öneminin ortaya konması açısından önem taşımaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Çalışmanın ana materyalini Ankara kenti oluşturmaktadır. Araştırma, İç Anadolu Bölgesi’nde, Ankara ili sınırlarında 1/100.000 ölçekli Ankara İ29 paftası içerisinde UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sistemine göre 470000-4428000, 498000-4428000, 498000-4411000, 470000-4411000 koordinatları arasında kalan alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı sınırı, kentsel ısı adaları özellikle kent merkezleri ve yapılaşmış alanlarda belirgin olarak ortaya çıktığı için Ankara kent merkezi ve çevresini kapsayacak şekilde belirlenmiştir ve toplam olarak 46.000 km²’lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanının konumu ve sınırları Şekil 1’de yer almaktadır.

Bu çalışma sırasında yardımcı materyal olarak; araştırma alanına ait fiziksel verilerin analizi için temel pafta olarak Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Komutanlığı’nın 1/25.000, 1/100.000 ölçekli



Şekil 1. Çalışma alanının ülke ve kent içindeki konumu (Location of the study area)

basılı topografik haritaları; kentsel ısı adası etkisinin ve arazi örtüsünün belirlenmesi için 1985, 1995 yıllarına ait Landsat-5 TM (termal bantlı) ve 2002 yılına ait Landsat-7 ETM uydu görüntüleri; altlık pafta olarak ve analizlerin doğruluğunun sınanması için Ankara kentine ait hava fotoğraflarından yararlanılmıştır.

Kent içerisinde uydu görüntülerinin analizi sonucunda belirlenen üç farklı alanda meteorolojik ölçüm yapmak üzere üç adet sıcaklık ve nem kaydedici temin edilmiştir. Ayrıca kentsel ısı adası konusunda daha önce yapılmış olan akademik çalışmalardan, konuyla ilgili yerli ve yabancı kitaplardan, dergilerden, makalelerden ve internet ortamından elde edilecek verilerden yardımcı materyal olarak faydalanılmıştır.

2.2. Yöntem (Method)

Araştırma, Ankara kentinin yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi ve belirlenen yüzey sıcaklıklarına bağlı olarak seçilen örneklem alanlarda hava sıcaklığının ölçülmesi olmak üzere iki temel aşamadan oluşmaktadır. Her iki aşamada da farklı yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler yapılan literatür araştırması, ilgili kişilerle sözlü görüşmeler sonucunda belirlenmiştir.

I. Aşama :Yüzey sıcaklığının belirlenmesi

Araştırmanın bu aşamasında Erdas Imagine 8.5 ve Arc GIS 9.0 yazılımları kullanılmıştır. Çalışmanın ana aşamaları:

-Uydu seçimi ve uydu görüntüsünün temini: Çalışmada 12.07.1985 tarihli Landsat 5- TM, 22.06.1995 tarihli Landsat 5- TM ve 17.06.2002 tarihli Landsat 7 - ETM uydu görüntüleri kullanılmıştır.

-Geometrik dönüşüm: Görüntüler ham olarak temin edildiği için yeryüzü koordinatlarına yani harita bazına oturtulması gerekmektedir. Çalışma alanına ilişkin görüntüler Erdas Imagine 8.5 programında GCP (Yer kontrol noktaları)ler yardımıyla UTM koordinatlarına dönüştürülmüşlerdir. Geometrik dönüşüm işlemi sırasında önemli bir parametre olan hatanın 1 pikselin altında olması ilkesi göz önünde bulundurulmuştur.

-Analiz:1985, 1995, 2002 yıllarına ait Landsat görüntülerden arazi örtüsü analizi, bitki örtüsü (NDVI) analizi, termal analiz (yüzey sıcaklık dağılımı analizi) yapılmıştır.

Arazi örtüsü analizinde, sınıflarının belirlenirken

toplam 6 sınıf kullanılmıştır. Bu sınıflar; kentsel yerleşim, yeşil alan, boş alan, açık alan, inşaat alanı ve tahrip edilmiş alan (terk edilmiş kum-maden ocağı vb.)'dir. Sınıflandırmada "denetimsiz sınıflandırma" metodu seçilmiştir.

Araştırma alanındaki yeşil alanları saptamak ve arazi örtüsü analizinde elde edilen bulguları doğrulamak amacıyla **bitki örtüsü/NDVI analizi** yapılmıştır. Erdas Imagine yazılımı, daha önce tanımlanmış ve "Normalized Difference Vegetative Index (NDVI)" olarak adlandırılan band aritmetiğini veya indislerini kullanarak; bitki, bulut / su / kar, kaya / çıplak arazi, kesilmiş ormanlık saha vb. özellikleri geliştirerek belirleme olanağını sağlamaktadır. Bu band aritmetiği, elektromanyetik tayfın yakın infrared (near Infrared) ve görünen kırmızı (visible red) bandlarına dayalıdır [6].

NDVI değerinin hesaplanmasında, farklı bandların sayısal numara (DN) değerleri kullanılır. Landsat TM görüntülerinin NDVI değeri, aşağıda belirtilen formüle göre hesaplanmaktadır:

$$NDVI = \frac{\text{Band 4} - \text{Band 3}}{\text{Band 4} + \text{Band 3}}$$

"NDVI" hesaplama yöntemi kullanıldığında, bitki örtüsünün bulunduğu sahaları göze batacak şekilde gösteren, tek bantlı siyah-beyaz bir görüntü meydana gelir. Hesaplamalar sonucunda; bitkiler için 0.1 - 0.6 pixel değerleri elde edilmektedir [6].

Termal analizde ise Landsat uydu görüntülerinin termal bantları kullanılarak yüzey sıcaklık dağılımı ortaya konulmuştur. Yüzey sıcaklıklarının dağılımını göstermek için çalışmada Erdas Imagine 8.5 programı tarafından Landsat uydu görüntüleri için geliştirilmiş olan modül kullanılmıştır. 1985 ve 1995 yılı görüntüleri için Landsat-5 TM görüntüsü için geliştirilmiş olan modül, Landsat 7- ETM görüntüsü içinde bu görüntü için geliştirilmiş modül kullanılmıştır. Bugüne kadar ülkemizde yüzey sıcaklığı analizlerinde "parlaklık değeri" ne bağlı olarak yüzey sıcaklıkları ortaya konulmuştur. İlk kez bu çalışma ile Esri tarafından bu tip analizler için

geliştirilmiş olan modüller kullanılmıştır. Bu da çalışmaya özgün bir değer katmaktadır.

II.Aşama: Hava sıcaklığının belirlenmesi

Çalışmanın ana aşamaları:

-Ölçüm İstasyonlarının Yerlerinin Belirlenmesi:

Termal analiz sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda farklı yüzey sıcaklığına ve farklı arazi örtüsüne sahip 3 alan belirlenmiştir. İstasyonların yer seçiminde günümüze en yakın tarihli ve bugünkü değerleri en iyi temsil ettiği düşünülen 2002 yılına ait uydu görüntüsünün termal analizinin sonuçları baz alınmıştır. Ölçüm istasyonlarının kurulacağı yerler belirlenirken göz önünde bulundurulmuş diğer kriterler; istasyonlar arasındaki rakım farkının 100m'den fazla olmaması, istasyonların aynı bakarlı olması, istasyonların, ölçüm sonuçlarının birbiriyle daha sağlıklı kıyaslanabilmesi için 5kmx5km'lik bir alanda kurulmasıdır.

Birinci istasyon 2002 yılı termal analizine göre Ankara kent merkezinde en yüksek yüzey sıcaklığına sahip alanlardan biri olan 860 rakımlı Migros, ikinci istasyon Ankara kent merkezi genelinde görülen ve ortalama yüzey sıcaklık değerine sahip 900 rakımlı Bahçelievler, üçüncü istasyon ise Ankara kent merkezinde en düşük yüzey sıcaklığına sahip alanlardan biri olan 880 rakımlı Anıtkabir olarak belirlenmiştir (Şekil 2).

Alanlar kısaca tanımlanacak olursa; **Migros istasyonu** Migros Alışveriş Merkezi binasının güneybatısındadır ve bulunduğu alan tamamen geçirimsiz döşeme malzemesi ile kaplıdır. Bu istasyonun kurulduğu alanı % 100 yapısal alan olarak tanımlamak mümkündür. **Bahçelievler istasyonu**, bir konuta ait bahçe içerisinde yer almaktadır. İstasyon konutun güneybatı cephesine kurulmuştur ve bu alanda yaya yolu (geçirimsiz döşeme malzemesi ile kaplı) çim alan, çalı ve ağaçlar yer almaktadır. Bahçelievler istasyonunun bulunduğu alan kısmen yapısal ve kısmen bitki örtüsüne sahip alan olarak tanımlanabilir. **Anıtkabir istasyonu** ise; Anıtkabir'in



Şekil 2. Migros Alışveriş Merkezi, Bahçelievler, Anıttepe'de ölçüm yapılan noktalar (Locations of meteorological measurements)

bahçesinin güneybatısındaki seraların bulunduğu alanın yakınına kurulmuştur. İstasyon; sık yapraklı ve ibrelili ağaç dokusunun bulunduğu yani arazi örtüsü olarak sadece bitki örtüsünden oluşan bir alanda yer almaktadır.

-İstasyonların Kurulması: İlgili kişilerden, kurumlardan izinler alınarak ölçüm cihazları kurulmuştur. Kurulan istasyonlarda sıcaklık ve nem ölçümü gölgede yapılmıştır. İstasyonlar yerden 2 m. yükseklikte kurulmuştur. Tek bir noktada yapılan ölçümlerde, yerden 2 m yükseklikte yapılan ölçümler ile yüzeye daha yakın noktalarda yapılan sıcaklık ölçümleri karşılaştırıldığında, yere yakın yapılan ölçümler albedo, toprak nemi yada toprağın termal özellikleri gibi yer yüzeyindeki malzemelerin termal özelliklerinden çok daha fazla etkilendiğinden elde edilen değerlerde sapmalar olabilmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında yapılan ölçümler yerden 2 m yükseklikte yapılmıştır

-Verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ve düzenlenmesi: Ölçümlere 11 Temmuz 2005 tarihinde başlanmış, 11 Eylül 2005 tarihine kadar kesintisiz olarak devam edilmiş, her bir istasyonda tek bir parametreye ilişkin 3024 ölçüm yapılmıştır. Verilerin değerlendirilmesi aşamasında, 11-17 Temmuz 2005 tarihleri arasında elde edilen ölçümlerde teknik nedenlerden ötürü hatalar olduğu ve ölçümler sağlıklı oldukları için değerlendirmeye alınmamıştır. Sonuçta 18 Temmuz-11 Eylül 2005 tarihleri arasında her bir istasyondan elde edilen tek bir parametreye ait 2688 veri değerlendirmeye alınmıştır.

Ölçüm istasyonlarından elde edilen hava sıcaklığı ve neme ilişkin veriler bilgisayar ortamına aktarılarak Microsoft Excel programında düzenlemeleri yapılmıştır.

-Analiz ve Değerlendirme: Düzenleme yapılmasının ardından farklı istasyon verilerinin karşılaştırmaları yapılmıştır. Sıcaklık ve nem özelliğine ilişkin veriler karşılaştırılırken genel değerlendirmelerin yanı sıra sabah, öğle ve akşam olmak üzere 3 grup

oluşturularak karşılaştırma yapılmış; bu karşılaştırma ile 3 istasyon arasındaki sıcaklık ve nem değerlerindeki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı ortaya konulmuştur. Gruplar oluşturulurken sabah için saat 5.00-9.00 arasına ait veriler, öğle için saat 11.00-15.00 arasına ait veriler, akşam için saat 20.00-24.00 arasına ait veriler değerlendirmeye alınmıştır. İstasyonlar karşılaştırılırken varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir (one-way anova). İstasyon ortalamalarının karşılaştırılmasında ise Tukey testi kullanılmıştır.

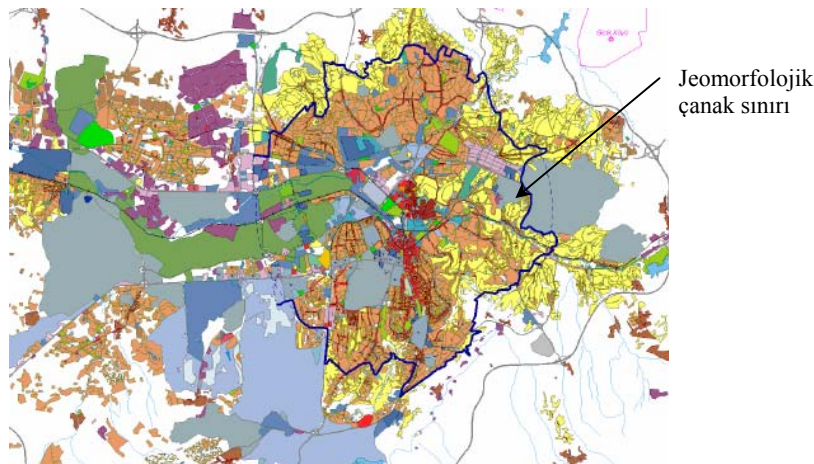
3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Oluşumunu Etkileyen Doğal Etmenler (Natural Factors of Urban Heat Island Formation in Ankara)

Bu bölümde doğal etmenlerden topografik ve morfolojik yapı, iklim, bitki örtüsü incelenmiştir.

Araştırma alanı olan Ankara'da kentsel ısı adası etkisinin oluşmasında kentin topografik ve morfolojik yapısının önemli bir payı olduğu bilinmektedir. Ankara, İç Anadolu Bölgesinde kuzeyde Çubuk, güneyde Mogan, batıda Mürted ve Engürü ovalarının kesiştiği, engebeli fakat yerleşmeye uygun özellikler taşıyan bir konumdadır. Ankara kent lekesi 850-1200m yükseltiler arasında yerleşmektedir. Kent ve çevresinin topografik ve morfolojik yapısına baktığımızda, kentin yakın ve uzak tepe ve dağ dizileriyle çevrelediği görülür Kent yerleşim alanı, kuzey, doğu ve güney yönlerinden adeta bir uzun çanak biçiminde yükseltilerle çevrelenmiştir [7].

Özellikle kent merkezinin en çukur yerde kurulması ve çevresinin tamamen yerleşim alanlarına dönüşmesiyle, vadi tepelerinde soğuyan hava kente doğru yamaçları izleyerek akmakta, yer inversiyonuna neden olarak kirleticileri kentin üzerinde hapsedmektedir [8]. Ayrıca yoğun yapılaşmanın olduğu kent merkezini çevreleyen dağlar bir çanak oluşturmakta bu da hava durgunluğuna neden olarak kentte ısı adası etkisini artırmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Ankara kentindeki jeomorfolojik çanak sınırı [5] (The geomorphological border of Ankara urban settlement)

Kentin çanak biçimindeki yapısının etkilediği bir başka olay da ısıdaki terselmedir. Doğal olarak yükseldikçe soğuyan hava bazen yükseldikçe ısınma durumunda kalmaktadır. Sıcak bir hava tabakasının daha soğuk olanın üstüne çökmesi ile gerçekleşen bu olay ısıdan dolayı düşey yükselmeyi sınırlar, hatta engeller. Çanak biçimindeki yerleşmelerde daha da elverişli koşulları bulan ısıdaki terselme, Ankara'da oldukça yüksek kalınlıklara erişebilmektedir [9].

Ankara'nın iklimi incelendiğinde ise; ele alınan parametreler sıcaklık, nem, yağış ve rüzgardır. Bu parametreler Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) Genel Müdürlüğü Ankara Merkez istasyonundan alınan veriler kullanılarak ortaya konulmuştur.

Ankara genelde ılıman iklim kuşağı içinde yer almasına karşın bulunduğu bölgenin taşıdığı doğal özellikler nedeniyle bir bozkır karakteri taşır. Günlük, aylık ve mevsimlik büyük sıcaklık değişimleri iklimi sertleştirmektedir [10].

Tablo 1'de yer alan Ankara Merkez istasyonunu kentsel, Etimesgut istasyonunu yarı kentsel ve Esenboğa istasyonunu yarı kırsal istasyonlar olarak tanımlamak mümkündür. Bu istasyonlara ait yıllık ortalama sıcaklık verileri incelendiğinde Ankara Merkez istasyonu ile yani kentsel istasyon ile aralarında 0.5 ve 1.8°C'lık farklılıklar olduğu görülmektedir. En sıcak ay olan Temmuz ayındaki değerler karşılaştırıldığında Ankara Merkez istasyonu ile aralarındaki aylık ortalama sıcaklık farkı 0.4 ve 1.7°C olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değerlerden Ankara kentinde etrafındaki yarı kentsel-yarı kırsal alana oranla bir sıcaklık artışının yani ısı adası etkisinin oluştuğunu söylemek mümkündür.

Kent planlamada rüzgar önem verilmesi gereken bir konudur. Özellikle kentsel ortamların ihtiyacı olan temiz ve taze havanın kazanımında, soğuk hava akımlarının konutlar ve tarımsal faaliyetler üzerindeki etkisinin azaltılmasında, rüzgara ilişkin iklim modelleri üretmek kaçınılmaz çalışmalar içerisinde yer almaktadır.

Kentsel ortamlar, kırsal alanlara oranla yıllık ortalama sıcaklık açısından 1-2°C daha sıcaktır. Hatta bazı alanlarda bu sıcaklık farkı 6-12°C'ye kadar çıkmaktadır. Kentlerde aşırı ısınmaya bağlı termik hava sirkülasyonu gün içerisinde havanın kirlenmesiyle birlikte kent üzerinde bir sis örtüsünün

oluşumuna neden olmaktadır. Bu örtü gece boyunca hava terselmesi (inversiyon) yaratarak kentin üzerine çökmektedir. Böylece kentler doğrudan güneş ışığı alamadıkları gibi, gece ısıması ve yakın çevreyle hava sirkülasyonu da engellenmiş olmaktadır. Havanın yatay yönde hareket edememesi, yüksek oranda toz ve nem içermesi kentsel havanın dayanılmaz ölçüde bunaltıcı olmasına neden olmaktadır.

Ankara Merkez Devlet Meteoroloji İstasyonunda rüzgar hızı m/sn olarak ölçülmekte ve 16 yön üzerinden değerlendirilmektedir. Rüzgar hızının kuzeyden güneye doğru gidildikçe artmakta olduğu görülmektedir. En düşük rüzgar hızı 0.3 m/sn, en yüksek rüzgar hızı ise 3 m/sn'dir. Yıllık ortalama rüzgar hızı 1.9 m/sn'dir ve buna göre Ankara'nın rüzgarsız bir kent olduğu söylenebilir. Bölgede hakim rüzgar yönü genellikle kuzeyli yönlerdir. Bölgede en hızlı esen rüzgar 39.4 m/sn ile kasım ayında, güney yönünden Ankara merkez istasyonunda görülmüştür. Bölgede en fazla fırtınalı günlerin yani rüzgar hızının 17.1 m/sn'nin üzerinde olduğu günlerin sayısı 17.3 ile Esenboğa istasyonudur. Bölgede yıllık ortalama fırtınalı gün sayısı 6.4'tür. Bölgede yıllık ortalama kuvvetli rüzgarlı gün sayısı yani rüzgar şiddetinin 10.8-17.1 m/sn arasında olduğu gün sayısı 39.4 gündür [11].

Rüzgar kentsel ısı adasını etkileyen önemli bir faktördür. Gomez *et al.* (1998) pek çok kentte en büyük sıcaklık farkının antisiklonik hava koşullarında rüzgarın olmadığı veya hızının çok düşük olduğu açık havalarda oluştuğunu söylemektedir. Kentsel ısı adasına rüzgarın etkisi, ısı adasının etkisini hafifletmek ve ısıyı rüzgarın yönü doğrultusunda dağıtmak şeklinde olmaktadır [12].

Oke ve Hanel bir formül geliştirerek kent nüfusuna bağlı olarak, kentsel ısı adası etkisinin oluşmaması için gerekli olan rüzgarın hız limitini hesaplamışlardır. Bu formül aşağıda yer almaktadır:

$$U = 3.4 \log P - 11.6 \text{ (m/sn)}$$

$$U = \text{Hız}$$

$$P = \text{Nüfus}$$

Ankara kenti için bu kritik hız, formül uygulandığında;

$$U = 3.4 \log 3.500.000 - 11.6 = 10.6 \text{ m/sn çıkmaktadır.}$$

Tablo 1. Ankara, Etimesgut ve Esenboğa istasyonlarının aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri (°C) [11] (Mean air temperature rates)

İst. Adı	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık
Ankara Rak. 891	65	-0.1	1.3	5.4	11.2	15.9	19.8	23.1	23.0	18.4	12.8	7.3	2.3	11.7
Etimesgut Rak. 806	41	-1.1	1.2	5.4	10.5	15.2	19.2	22.7	22.2	17.5	14.5	5.6	1.4	11.2
Esenboğa Rak. 949	35	-1.7	-0.3	4.0	9.6	14.0	17.8	21.4	21.1	16.3	10.6	4.9	0.9	9.9

P: Periyot

Yani Ankara kentinde kentsel ısı adasının oluşmaması için kritik rüzgar hızı 10.6 m/sn'dir. Ancak Ankara kentinin yıllık ortalama rüzgar hızına bakıldığında 1.9 m/sn olduğu görülmekte, kuvvetli rüzgarlı gün olarak tanımlanan rüzgar hızının 10.8 m/sn'nin üzerinde olduğu gün sayısı ise 39.4 günde kalmaktadır. Ayrıca Ankara kenti içinde özellikle kentin hava koridorlarındaki yoğun ve bilinçsiz yapılaşmadan, açık-yeşil alanların yok edilmesinden ötürü rüzgar hızının ne kadar azaldığı ve hangi bölgelerde etkin olabildiği de bu konuda bir araştırma-gözlem yapılmadığı için bilinmemektedir.

Kuzey ve kuzeydoğudan gelen rüzgarlar Ankara için önem taşımakta, bu rüzgarların çıkış koridoru olan Ankara'nın batısı (Etimesgut, Çayyolu, Eryaman) yoğun yapılaşma baskısından ötürü bu işlevini giderek yerine getiremez hale gelmekte ve hava akımları Ankara kenti içinde hapsolmektedir.

Ankara'daki hava nemi miktarı oldukça azdır. Kentin doğal konumu bunun başlıca nedenidir. Hava nemi günlük fazla bir değişim göstermemekte, mevsimlik olarak bu fark büyümektedir. Nisbi nemin Ankara'da ölçülen yıllık ortalaması %60'dır. Bu değer yaz aylarına doğru azalmakta, kış aylarına doğru artmaktadır. Günlük ortalama nisbi nem değeri Aralık ayında maksimum %77, Ağustos ayında minimum %40 değerlerine ulaşmaktadır.[10] Nem değerlerinin yaz aylarında %50'lerin altına düşmesi hava sıcaklığının bunaltıcı olmasını engellemekte, insan sağlığı açısından yaz aylarında görülen ekstrem sıcaklıkların daha az tehlikeli olmaması açısından avantaj sağlamaktadır.

3.2. Arazi Örtüsü Analizi (Land cover analysis)

Denetimsiz sınıflandırmayla Ankara kentine ilişkin arazi örtüsü analizi yapılarak kentsel yerleşim, açık yeşil alan, boş-açık alan, tahrip edilmiş alan-inşaat alanı- geniş geçirimsiz (beton) zemin olmak üzere dört sınıf oluşturulmuştur. (Şekil 4)

1985, 1995 ve 2002 yılı arazi örtüsü analizi sonuçlarına bakıldığında bütün sınıflarda belirgin değişiklikler olduğu görülmektedir. (Tablo 2). 1985

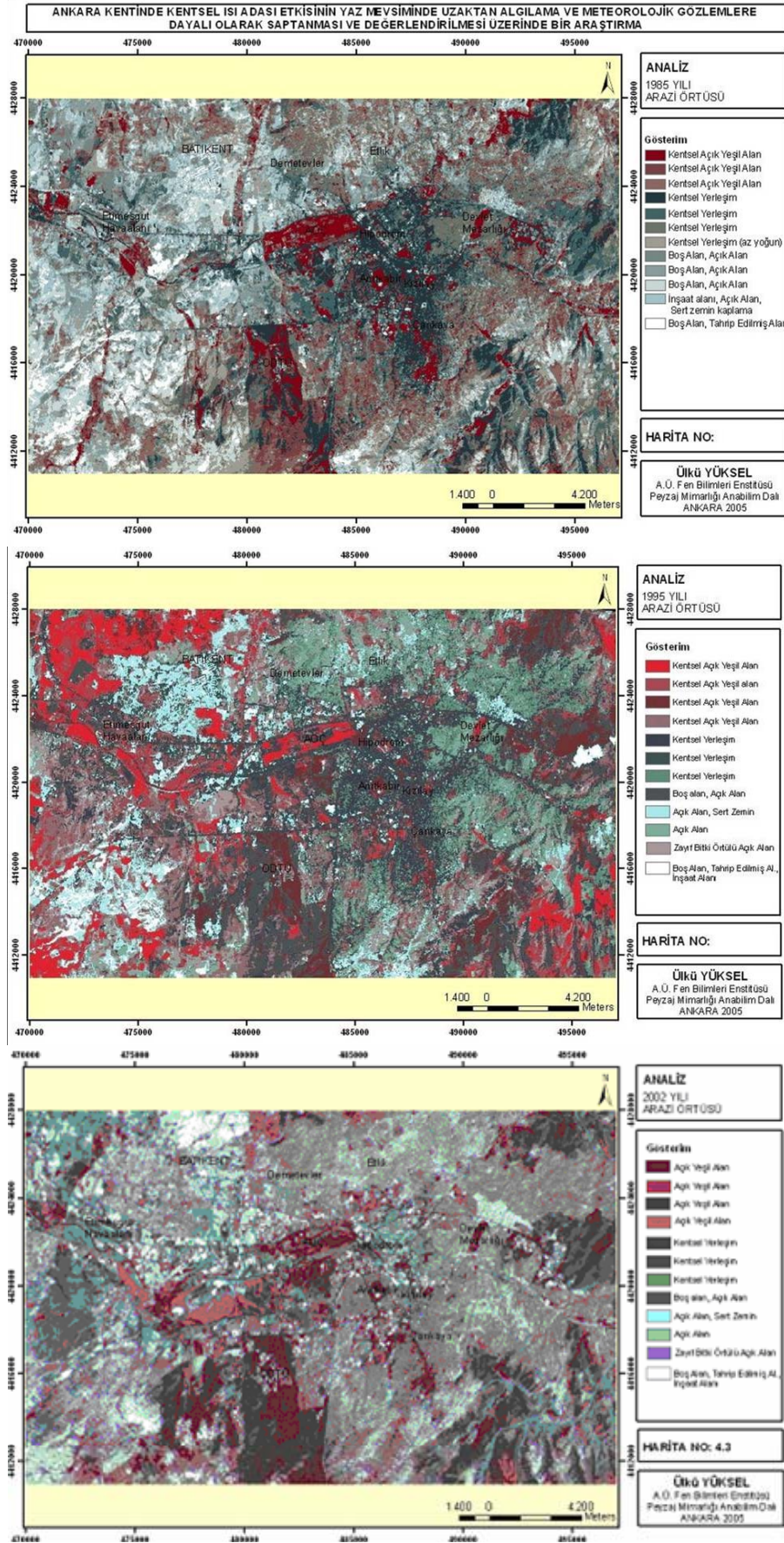
yılından 2002 yılına kadar kentsel yerleşim %8,9 oranında artarak 2002 yılında 22.124 km²'ye çıkmıştır. Yerleşim alanındaki bu artışa karşın açık-yeşil alanlar %3,1 oranında artış gösterebilmiştir. (Böylelikle 2002 yılında araştırma alanının %48,1'ini kentsel yerleşim alanı kaplarken açık yeşil alanlar ise %26,3'dür)

3.3. Bitki Örtüsü Analizi (NDVI analysis)

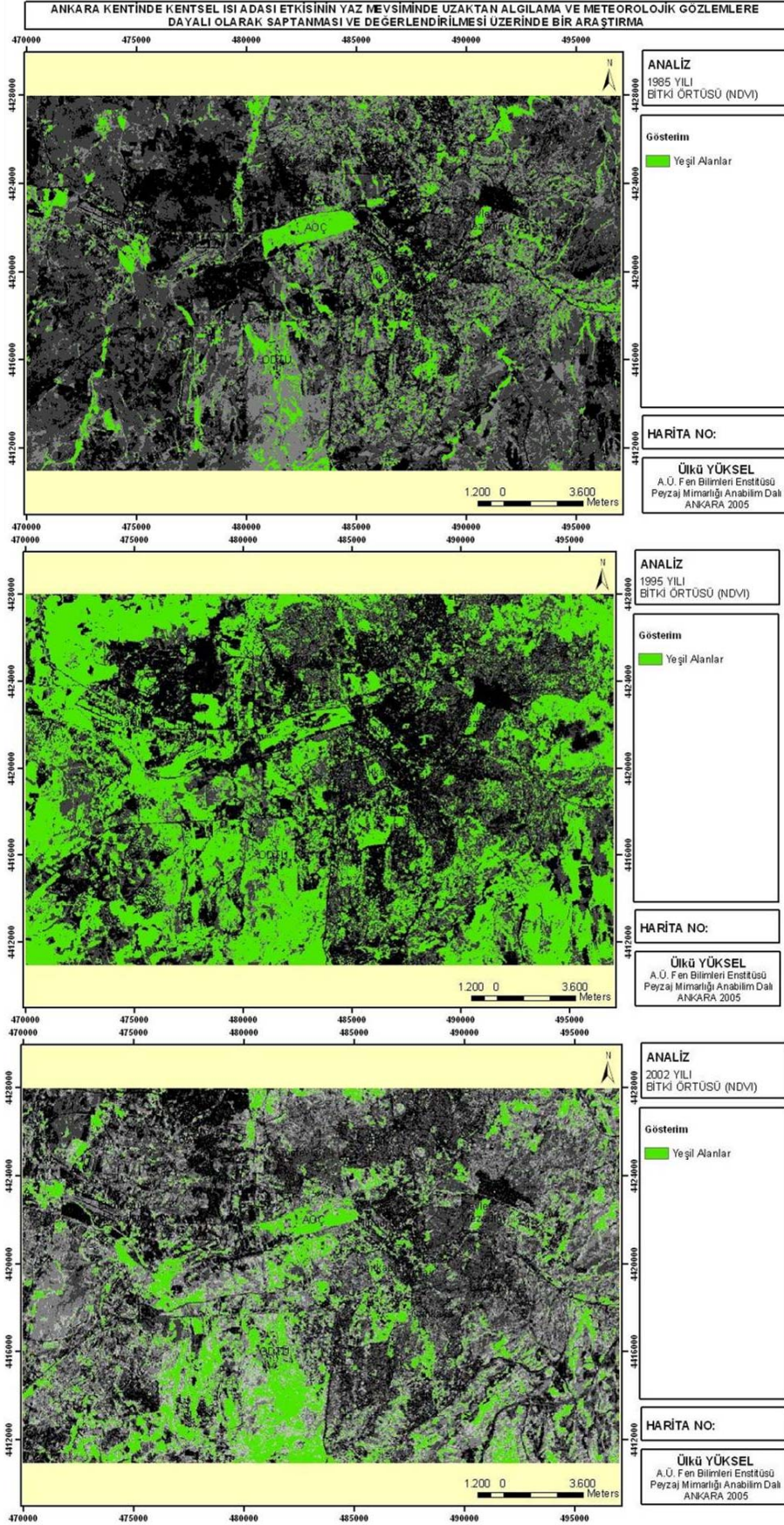
Araştırmada, arazi örtüsü analizinde ortaya konulan bulguları doğrulamak ve bitki örtüsüne sahip alanları daha net biçimde göstermek amacıyla bitki örtüsü analizi (NDVI) yapılmıştır. Bitki örtüsü analizi sonuçları incelendiğinde (Şekil 5) 1985 yılında kent merkezinde AOÇ, Anıtkabir, Gençlik Parkı, doğuda Cebeci Devlet Mezarlığı, batıda Macun deresi boyunca, güneyde ODTÜ kampusu, kuzeydoğuda ise Çubuk Barajı ve Çubuk Deresi boyunca büyük yeşil alanlar olduğu görülmektedir. 1995 yılında da yine kent merkezinde AOÇ, Anıtkabir, Gençlik Parkı, doğuda Cebeci Devlet Mezarlığı, batıda Macun deresi boyunca, güneyde ODTÜ kampusu, kuzeydoğuda ise Çubuk Barajı ve Çubuk Deresi boyunca büyük yeşil alanlar göze çarpmakta; bunların dışında özellikle kentin kuzeyi, güneyi ve doğusunda yeşil alanların arttığı görülmektedir. 2002 yılında da 1985 ve 1995 yıllarına benzer şekilde kent merkezinde AOÇ, Anıtkabir, Gençlik Parkı, doğuda Cebeci Devlet Mezarlığı, batıda Macun deresi boyunca, güneyde ODTÜ kampusu, kuzeydoğuda ise Çubuk Barajı ve Çubuk Deresi boyunca büyük yeşil alanlar görülmektedir. 2002 yılında yeşil alan miktarında en belirgin artışın olduğu bölge kentin güneybatısında kalan kesim iken; kentin doğusundaki küçük, parçalı yeşil alanlarda azalma dikkati çekmektedir. Analizden görüldüğü üzere Ankara kentinde yeşil alanlardaki artış daha çok kentin yakın çevresindeki alanlarda gözlenmektedir. Ancak unutulmaması gereken konu; kentli yaşam kalitesi ve kentlilerin sağlığı açısından önemli olanın kent merkezindeki ve konutların yakın çevresindeki yeşil alanların artırılması gerektiğidir.

Tablo 2. 1985, 1995, 2002 yılları arasında arazi örtüsü sınıflarının değişimi (Land cover changes between 1985, 1995 and 2002)

Arazi Örtüsü	Birim	Yıllar			Değişim Oranı		
		1985	1995	2002	1985-1995	1995-2002	1985-2002
Kentsel Yerleşim	km ²	18.023	19.804	22.124	+1781	+2320	+4101
	%	39,2	43,1	48,1	3,9	5	8,9
Açık Yeşil Alan	km ²	10.690	15.201	12.095	+4511	-3106	+1405
	%	23,2	33	26,3	9,8	-6,7	3,1
Boş Alan, Açık Alan	km ²	13.964	10.107	11.032	-3857	+925	-2932
	%	30,4	22	24	-8,4	2	-6,4
İnşaat alanı, Açık Alan, Sert zemin, Tahrip Edilmiş Alan	km ²	3323	888	749	-2435	-139	+2574
	%	7	1,9	1,6	-5,3	-0,3	-5,6



Şekil 4. 1985, 1995, 2002 yılı arazi örtüsü analizleri (Land cover analysis from 1985, 1995 and 2002)



Şekil 5. 1985, 1995, 2002 yılı bitki örtüsü analizleri (NDVI analysis from 1985, 1995 and 2002)

1985, 1995 ve 2002 yıllarındaki bitki örtüsü miktarlarında oldukça belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Ancak analiz sonuçlarının en dikkat çekici yönü 1995 yılındaki bitki örtüsü miktarının çok fazla olmasıdır. Analiz sonuçlarına göre 1985 yılından 1995 yılına bitki örtüsü ile kaplı alanlar oldukça büyük oranda artmış, 2002 yılında ise azalmıştır. Beklenmedik bu sonucun nedenleri irdelendiğinde; ilk sebep uydu görüntülerinin alındığı tarihlerin farklı olmasıdır. 1985 yılı uydu görüntüsü otsu bitkilerin büyük oranda kuruduğu temmuz ayında çekilmiştir. 1995 yılındaki bu büyük farklılığın temelinde ise hem görüntünün daha erken bir tarih olan haziran ayında çekilmiş olması; hem de görüntü çekilmeden önceki gün ve haftalarda yağış görülmüş olmasıdır. Bu yağıştan ötürü toprak nemli, bitkiler daha canlı ve özellikle otsu bitkiler kurumamış olduğundan 1995 yılındaki bitki örtüsü miktarı daha fazla çıkmıştır.

3.4. Ankara Kenti Yüzey Sıcaklıkları (Surface Temperatures of Ankara)

Landsat TM ve ETM uydu görüntülerinin 6. bandı kullanılarak 1985, 1995 ve 2002 yıllarına ait yüzey sıcaklıkları incelendiğinde (Şekil 6):

1985 yılında Ankara kentinde en düşük yüzey sıcaklığı 14.7°C, en yüksek yüzey sıcaklığı 53.3°C'dir. Harita incelendiğinde; Atatürk Orman Çiftliği (AOÇ), Cebeci Mezarlığı, Çankaya'nın güney kesimlerinin yani bitki ile kaplı yüzeylerin en soğuk bölgeler olduğu ortaya çıkmaktadır. 1985 yılında Ankara'nın batısını yani henüz yerleşime çok fazla açılmamış ve çıplak zemin olan alanların, Etimesgut Havaalanı, Batıkent ve Çankaya'nın doğu ve güneydoğusunun yüksek yüzey sıcaklığına sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. 1985 yılında yüzey sıcaklığı 40.3 ve 49.8°C arasında yoğunlaşmaktadır.

1995 yılına ait termal analiz incelendiğinde yüzey sıcaklığının -69.8 ve 47.1°C arasında değiştiği görülmektedir. Yüzey sıcaklığındaki negatif değerler uydu görüntüsündeki bulutlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüzey sıcaklıklarının genel dağılımına bakıldığında değerlerin 30.7 ve 33.8°C arasında yoğunlaştığı görülmektedir. AOÇ ve Cebeci Mezarlığı 1995 yılı görüntüsünde de daha düşük yüzey sıcaklığına sahiptir. Yüksek yüzey sıcaklığına sahip alanlar Ankara'nın batısında yoğunlaşmaktadır.

2002 yılı termal analizi incelendiğinde yüzey sıcaklıklarının en düşük değerinin 3.29°C, en yüksek değerinin ise 47.6°C olduğu görülmektedir. 2002 yılında kentsel yerleşimin sıcaklığının 30.7 ile 33.8°C arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Analiz sonucuna göre Akköprü-MİGROS ile Bilkent-REAL Alışveriş Merkezlerinin olduğu bölgeler en yüksek yüzey sıcaklığına sahip alanlardır. Bu yüksek değerlerin nedeni ise bu alanlardaki büyük otoparklardır. 2002 yılında da AOÇ, Cebeci Devlet Mezarlığı, ODTÜ, Çankaya'nın güneyi, Batıkent'in kuzeyi düşük yüzey

sıcaklığına sahip alanlardır. Bu alanlarda görülen düşük yüzey sıcaklıklarının temelinde ağaç dokusu yatmaktadır.

Yüzey sıcaklık değerleri genel olarak incelendiğinde; sıcaklıklar farklı olsa da genel bilgiler vermektedir. Analizde, yoğun kentsel alanlar, çıplak toprak zeminler, büyük geçirimsiz ve de özellikle beton-asfalt yüzeylerin daha sıcak; AOÇ, Cebeci Devlet Mezarlığı, ODTÜ yerleşkesi gibi büyük yeşil alanların ise daha soğuk olduğu görülmektedir.

3.5. Ölçüm İstasyonlarına Ait Hava Sıcaklığı ve Nem Değerleri (Air Temperature and Humidity Rates of Stations)

Bu bölümde Migros, Bahçelievler ve Anıtkabir'de kurulan sabit meteorolojik ölçüm istasyonlarından elde edilen hava sıcaklığı ve nem verileri değerlendirilmiştir.

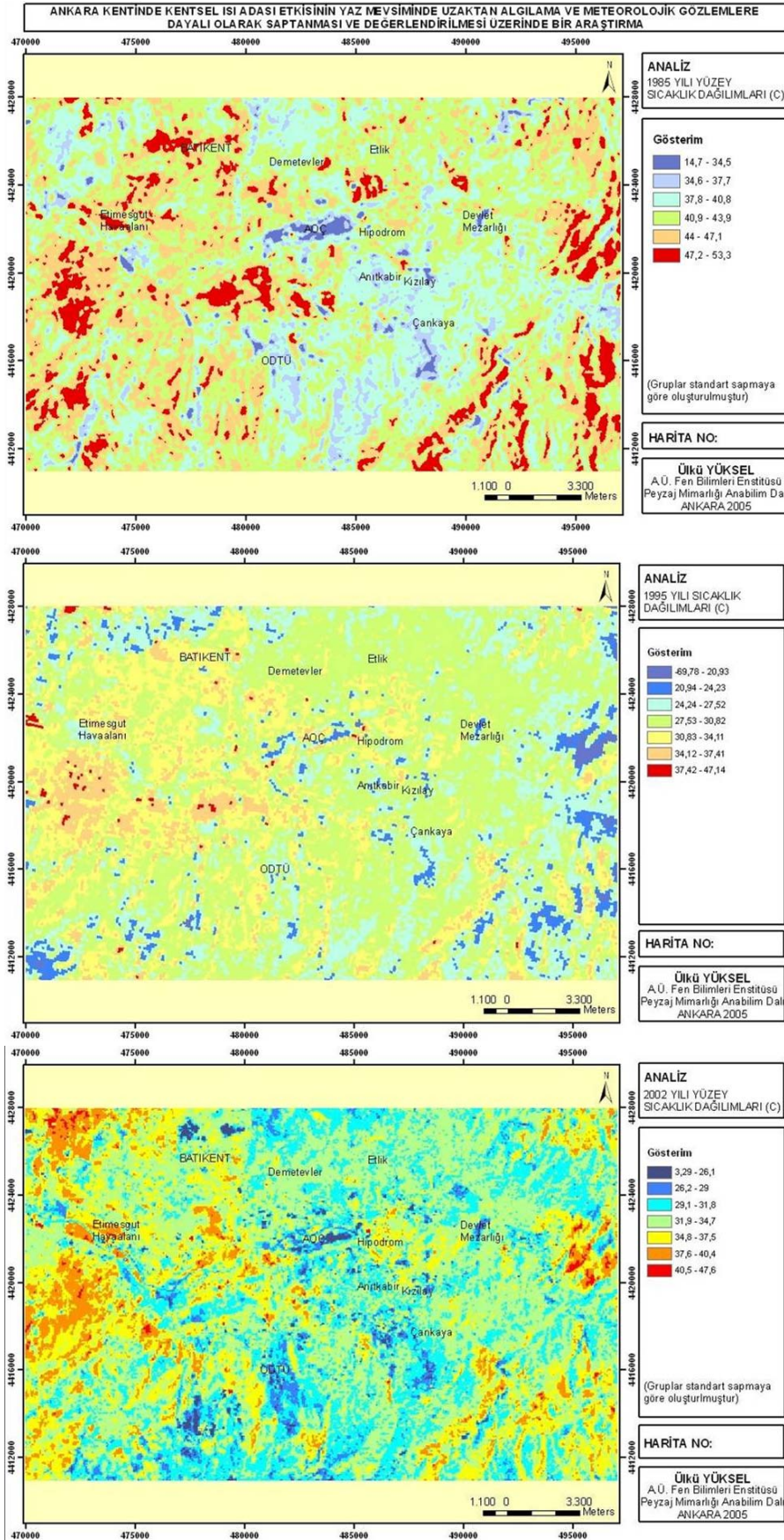
Sıcaklık Verilerinin Değerlendirilmesi:

Ölçüm yapılan tarihler arasındaki günlük ortalama sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında; Migros istasyonu en yüksek ortalama sıcaklığa sahipken bunu Bahçelievler ve Anıtkabir istasyonu izlemektedir. Ölçüm istasyonlarından elde edilen veriler Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) Ankara Merkez istasyonu verileri ile karşılaştırıldığında 3 istasyonun değerlerinin Merkez istasyonu verilerinden farklı olduğu görülmektedir. Ankara Merkez istasyonuna ait veriler daha çok Bahçelievler istasyonu verilerinin değerlerine yakındır.

Ölçüm yapılan tarihler arasında istasyonlardan elde edilen veriler incelendiğinde; günlük en yüksek ortalama sıcaklık Migros istasyonunda, günlük en düşük ortalama sıcaklık Anıtkabir istasyonunda gözlenmiştir (Tablo 3). En düşük sıcaklıklar incelendiğinde üç istasyonda da sabahın erken saatlerinde görüldüğü ve en düşük değerin Migros istasyonunda gözlemlendiği tespit edilmiştir. En yüksek sıcaklık ise beklenildiği gibi yine Migros istasyonunda gözlenmiştir.

Tablo 3. Ölçüm istasyonlarında gözlenen en düşük ve en yüksek sıcaklıklar (Max. and min air temperatures of the stations)

İstasyon		M ist	B ist	A ist
Günlük en yüksek ort. sıcak.	Değeri	30.04 °C	28.60 °C	27.69 °C
Günlük en düşük ort. sıcaklık	Değeri	15.94 °C	16.03 °C	15.04 °C
En düşük sıcaklık	Değeri	6.22 °C	11.77 °C	9.82 °C
	Tarih	5 Eyl.05	4-5 Eyl. 05	5 Eyl.05
	Saat	6.00	5.30-7.00	5.30-7.30
En yüksek sıcaklık	Değeri	47.96 °C	41.05 °C	36.13 °C
	Tarih	17 Ağ. 05	17 Ağ. 05	17 Ağ. 05
	Saat	12.30	12.30	13.00



Şekil 6. 1985, 1995, 2002 yıllarına ait yüzey sıcaklıkları [1] (Surface temperatures in 1985, 1995, 2002)

Ölçüm istasyonları arasında anlık sıcaklık farklılıkları incelendiğinde oldukça dikkate değer farkların olduğu görülmektedir. (Tablo 4)

Tablo 4. İstasyonlar arasında gözlenen anlık sıcaklık farklılıkları (Air temperature differences between stations)

İstasyon çifti	M ist-B ist	M ist-A ist	B ist-A ist
Gözlenen farklılık	15.09°C	15.5°C	8.03°C
Gözlendiği tarih	17 Ağu. 05	17 Ağu. 05	30 Ağu. 05
Gözlendiği saat	12.30	12.30	13.00

Ölçüm yapılan süre içerisinde Migros ve Anıtkabir istasyonları arasında gözlenen sıcaklıklar karşılaştırıldığında anlık en büyük sıcaklık farkının 15,5°C olarak 17 Ağustos 2005 tarihinde saat 12.30'da tespit edilmiştir. Bu tarih ve saatte Migros istasyonunda sıcaklık 47,43°C iken Anıtkabir istasyonundaki sıcaklık 31,93°C'dir. Migros-Anıtkabir istasyonları arasında gözlenen 15,5°C'lik bu sıcaklık farkı oldukça önemlidir.

İstasyonlar arasındaki sıcaklık farkının en düşük olduğu saatler incelendiğinde; genellikle sabah saat 6.00-7.00 ve öğleden sonra saat 18.00-19.00 arasında 3 istasyon arasında sıcaklık farkının olmadığı; akşam saat 21.00-24.00 arasında ise sıcaklık farkının çok düşük olduğu görülmektedir.

Migros, Bahçelievler ve Anıtkabir istasyonlarından elde edilen veriler genel değerlendirmenin yanı sıra sabah, öğle ve akşam olmak üzere 3 grup oluşturularak farklılıkları açısından incelenmiş ve istasyonlardan elde edilen verilerin arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi tekniği ve Tukey testi kullanılarak haftalar bazında değerlendirilmiştir (Tablo 5). Yapılan değerlendirme sonucunda özellikle öğle saatlerinde, istasyonlar arasında istatistiksel farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılık özellikle Migros istasyonu ile Bahçelievler istasyonu ve Migros istasyonu ile Anıtkabir istasyonu arasında her hafta görülürken, Bahçelievler-Anıtkabir istasyonları arasında daha az sıklıkta görülmüştür. Bu farklılığın temelinde yapısal alan-yeşil alan miktarının değişiklik göstermesi, ölçüm istasyonu ve yakın çevresindeki etkinlikler/kullanımlar yatmaktadır.

Nem Verilerinin Değerlendirilmesi:

Ölçüm yapılan tarihler arasındaki günlük ortalama nem değerleri karşılaştırıldığında; Anıtkabir istasyonu

en yüksek ortalama sahipken bunu Bahçelievler ve Migros istasyonu izlemektedir. Migros istasyonuna ait günlük en düşük ortalama nem % 28,02, günlük en yüksek ortalama nem % 60,47, Bahçelievler istasyonuna ait günlük en düşük ortalama nem % 23,33, günlük en yüksek ortalama nem % 60,14, Anıtkabir istasyonuna ait günlük en düşük ortalama nem % 27,57, günlük en yüksek ortalama nem %62,54 olarak tespit edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. Ölçüm istasyonlarında gözlenen en düşük ve en yüksek değerleri (Max. and min humidity rates of the stations)

İstasyon		M ist-	B ist	A ist
Günlük en yüksek ort. nem	Değeri	60.47	60.14	62.54
Günlük en düşük ort. nem	Değeri	28.02	23.33	27.57
En düşük nem	Değeri	5.6	7.5	12
	Tarih	17 Ağu. 05	16-17 Ağu. 05	16 Ağu. 05
	Saat	16.00	17.30	17.00
En yüksek nem	Değeri	100	96.30	82.90
	Tarih	2,4 Ağu., 3 Eyl. 05	1 Ağu. 05	1 Ağu. 05
	Saat	1.30-6.00, 8.00-9.30, 21.00-21.30	14.30	15.00

Ölçüm yapılan tarihler arasında istasyonlardan elde edilen veriler incelendiğinde; günlük en yüksek ortalama nem yoğun ibreli ağaç dokusunun bulunduğu Anıtkabir istasyonunda, günlük en düşük ortalama nem Bahçelievler istasyonunda gözlenmiştir (Tablo 7). En düşük nem incelendiğinde üç istasyonda da akşamüstü saatlerde görüldüğü ve en düşük değer Migros istasyonunda gözlemlendiği tespit edilmiştir. En yüksek nem de Migros istasyonunda gözlenmiştir.

Tablo 7. İstasyonlar arasında gözlenen anlık nem farklılıkları (Humidity differences between stations)

İstasyon çifti	M ist-B ist	M ist-A ist	B ist-A ist
Gözlenen farklılık	%47.7	%-4.6	%27
Gözlendiği tarih	4 Ağu. 05	4 Ağu. 05	1 Ağu. 05
Gözlendiği saat	9..30	9..30	14.30

İstasyonlar arasındaki nem değerlerinin birbirine en yakın olduğu saatler incelendiğinde; genellikle akşam saat 19.00-20.00 arasında ve gece 23.00'de 3 istasyon arasında nem farkının çok düşük olduğu görülmektedir.

Migros, Bahçelievler ve Anıtkabir istasyonlarından

Tablo 5. Sıcaklık değerleri açısından istasyonların grup ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel değerlendirilmesinin sonuçları (The results of the statistical evaluations of the group average differences between the stations considering the temperatures)

		1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta	5.hafta	6.hafta	7.hafta	8.hafta
3 istasyonun grup ortalamaları arasındaki fark	S	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,011	0,000
	Ö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	A	0,558	0,303	0,002	0,000	0,000	0,021	0,300	0,007

S: Sabah Ö: Öğle A: Akşam

elde edilen nem parametresine ilişkin veriler genel değerlendirmenin yanı sıra sabah, öğle ve akşam olmak üzere 3 grup oluşturularak farklılıkları açısından incelenmiş ve istasyonlardan elde edilen verilerin arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı varyans analizi tekniği ve Tukey testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda tıpkı hava sıcaklığında olduğu gibi, sabah ve öğle saatlerinde nem değerlerinde istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Son yıllarda tüm dünyada ve özellikle büyük kentlerde değişen kent ikliminin bir parçası olarak kentsel ısı adalarının oldukça sık karşılaşılan bir problem haline gelmesi ile bu konuda yapılan araştırmalar hızla artmıştır. Kentsel ısı adası küresel iklim değişiminin yerel ölçekte ortaya çıkan hali olup tıpkı küresel iklim değişimi gibi insan ve diğer canlıların sağlığı, insanların yaşam kalitesi, enerji tüketimi vb üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Yerel ölçekten başlayarak küresel boyutlara ulaşan bu sorunun çözümü için alt ölçekten üst ölçeklere kadar stratejiler geliştirilerek eylem planları hazırlanmalıdır. Elbette bu aşamada öncelikle sorunun tespiti ve boyutları büyük önem taşımaktadır.

Kentsel ısı adalarının yapısı, büyüklüğü ve etki alanı her kentin kendine özgü fiziki özellikleri, morfolojisi, kültürel ve sosyo-ekonomik yapısı, arazi kullanış biçimlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle her kentte bu sorunun boyutları ve çözüm önerileri farklılık göstermektedir. Bu araştırma kapsamında da Türkiye'nin hızla kentleşen ve aşırı nüfus artışına sahip kentlerinden biri olan Ankara'daki kentsel ısı adaları farklı tipleri ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

Araştırma sonucunda yaz aylarında Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisinin görüldüğü tespit edilmiştir. Bu sorunun temelinde Cumhuriyet'in ilanından günümüze kadar Ankara kentinde aşırı nüfus artışına bağlı olarak plansız ve düzensiz kentleşme sonucunda yapılaşmış alanların hızla artması; Ankara'nın topografik, morfolojik ve iklimsel yapısı ve sınırları dikkate alınmaksızın gelişen bir kent haline gelmesi yatmaktadır. Araştırma sonuçlarına göre Ankara kentinde 1985 yılında 18.023 km² olan kentsel yerleşim 2002 yılında % 8,9 oranında artarak 22.124 km²'ye ulaşmıştır. Yapılaşmış alanlardaki bu artışa karşın yeşil alanlar 10.690 km² den 12.095 km²'ye çıkarak % 3,1 oranında artış göstermiştir. Ancak bu değer kısmen yanıltıcıdır; çünkü yeşil alan miktarı yoğun yerleşimin olduğu kent merkezinde değil ODTÜ ormanı gibi çeşitli üniversite ve kamu kuruluşlarına ait alanlarda artmıştır. Dolayısı ile kent merkezinde gecekonduların çok katlı apartmanlara dönüşümü, belli bölgelerde kat sayısının artması gibi

nedenlerle yoğunluk artarken yeşil alan miktarı artmamış ve bu gelişimlerin sonucunda Ankara kenti iklimi ve çevre kalitesi açısından sorunlu bir alan haline gelmiştir. Araştırma sonuçlarının da ortaya koyduğu kentsel ısı adası etkisi de bu sorunlardan birisidir.

Ankara'nın topografik ve morfolojik yapısı incelendiğinde Anadolu platosunda jeomorfolojik bir çanak içerisinde kalması kent merkezinde hava durgunluğuna neden olan ve dolayısı ile ısı adası etkisini arttıran önemli bir faktör olduğu görülmüştür. Ayrıca Ankara kenti içinde özellikle kentin hava koridorlarındaki yoğun ve bilinçsiz yapılaşmadan, açık-yeşil alanların yok edilmesinden ötürü rüzgar hızının ne kadar azaldığı ve hangi bölgelerde etkin olabildiği de bu konuda bir araştırma-gözlem yapılmadığı için bilinmemektedir.

Ankara kenti açık-yeşil alan sistemi incelendiğinde Ankara kentinin doğal ve sosyo-ekonomik özelliklerini dikkate alarak yapılan ilk planlama çalışmalarında; Jansen Dönemi'nde ve 1950'li yıllara değin kente özgü ve kentin ihtiyaçlarını karşılayan bir sistemin varlığından söz etmek mümkündür. Ancak geçen yıllar, uyumsuz plan kararları ve artan yapılaşma baskısı sonucunda açık ve yeşil alan sistemi tahrip edilerek büyük bir kısmı yapılaşmış alana dönüşmüştür. Bu durum da kent içinde kentsel ısı adası oluşumunu arttırmaktadır.

Ankara kentinin termal haritaları incelendiğinde en soğuk bölgeleri büyük (özellikle ibrelili) ağaç gruplarının oluşturduğu en sıcak bölgeleri ise yoğun kentsel alanlar, çıplak zeminler ve büyük asfalt kaplı zeminlerin oluşturduğu görülmektedir. Haritalarda AOÇ, Cebeci Devlet Mezarlığı, Anıtkabir'in bahçesi ve ODTÜ yerleşkesinin en soğuk alan olduğu görülmektedir. Bu alanlar Ankara açık yeşil alan sisteminde öneme sahip büyük yeşil alanlardır.

Termal analiz sonuçları karşılaştırıldığında 1995 yılında yüzey sıcaklıklarının 1985 yılına oranla daha düşük olduğu ve çok yüksek sıcaklığa sahip alanların pek bulunmadığı görülmektedir. Bu farklılığın iki nedeni olduğu düşünülmektedir. Birinci neden uydu görüntülerinin alındığı tarihlerdeki meteorolojik koşulların farklı olmasıdır. DMİ Ankara Merkez İstasyonu'na ait uydu görüntülerinin alındığı tarihlerdeki sıcaklık değerleri ve yağış durumu incelenmiştir. 1985 görüntüsünün alındığı 12. Temmuz 1985 tarihinde günlük ortalama hava sıcaklığı 23.5°C iken 1995 görüntüsünün alındığı 22. Haziran 1995 tarihinde günlük ortalama hava sıcaklığı 19.8°C, 2002 görüntüsünün alındığı 17. Haziran 2002 tarihinde ise 21.6°C'dir. Uydu görüntülerinin alındığı tarihlerdeki hava sıcaklıklarındaki farklılıklar yüzey sıcaklık değerlerinin de farklı olmasına yol açmıştır. Bilindiği üzere toprağın nemliliği de yüzey sıcaklığını etkileyen bir etkidir. Bu nedenle uydu görüntülerinin alındığı

gün ve yakın tarihlerdeki yağış durumu incelendiğinde 1985 yılı temmuz ayında hiç yağış görülmediği ve toprağın tamamen kuru olduğu, 1995 yılı haziran ayında ise ayın 22'sine kadar olan günlerin %50'sinin yağışlı, görüntü çekim tarihinden önceki haftanın da 4 gününün yağışlı; 2002 yılında ise ayın 17'sine kadar olan günlerin %50'sinin yağışlı, görüntü çekim tarihinden önceki haftanın da 2 gününün yağışlı olduğu görülmüştür. Yağış durumundaki dolayısı ile toprak ve hava nemliliğindeki bu farklılıklar uydu görüntülerinden elde edilen yüzey sıcaklık değerlerinin de farklı olmasına yol açmıştır. Bu da uzaktan algılamanın dezavantajlarından biridir.

İkinci neden ise 1995 yılında Ankara kentinde daha fazla yeşil alanın olmasıdır. Bitki örtüsü analizleri incelendiğinde 1985 ve 2002 yıllarına oranla 1995 yılında daha fazla yeşil alan bulunmaktadır. Bitki örtüsü analizi bölümünde açıklandığı üzere 1995 ve 2002 uydu görüntülerinin alındığı Haziran ayında otsu bitki örtüsü henüz kurumadığından yeşil alan miktarı daha fazladır ve bu da yüzey sıcaklığını etkilemektedir. Bilindiği üzere bitki örtüsüne sahip alanlar çıplak zeminlere oranla daha düşük yansıtma değerine sahip olduklarından yüzey sıcaklığı da bu alanlarda daha düşük olmaktadır.

Araştırma kapsamında Migros, Bahçelievler ve Anıtkabir istasyonlarında yapılan ölçümlerin sonuçları da kentteki ısı adası etkisine ve arazi örtüsü farklılıklarına bağlı olarak değişen hava sıcaklıklarına ilişkin çok çarpıcı sonuçlar ortaya koymaktadır. % 100 yapısal alan olarak tanımlanan Migros, kısmen yapısal - kısmen bitki örtüsüne sahip alan olarak tanımlanan Bahçelievler ve tamamen bitki örtüsünden oluşan Anıtkabir istasyonlarından elde edilen veriler sıcaklık ve nem değerleri açısından belirgin ve istatistiki olarak da önemli farklılıklar göstermektedir. Ölçüm yapılan süre içerisinde gözlenen en yüksek ve en düşük sıcaklıklar Migros'ta (47,96°C ve 6,22°C) yani tamamen yapısal alanda gözlenmiştir. Bunun nedeni yapısal alanların daha çabuk ve daha fazla soğuması ve ısınmasıdır. Ayrıca Migros Alışveriş Merkezinde klima kullanımı, otoparktaki araçlar ısınma üzerinde etkili olmaktadır. Ölçüm istasyonları arasındaki anlık sıcaklık farklılıkları incelendiğinde Migros ve Bahçelievler istasyonları arasındaki en büyük farkın 15,09°C, Migros -Anıtkabir istasyonları arasındaki farkın 15,5°C, Bahçelievler- Anıtkabir istasyonları arasındaki farkın ise 8,03°C olduğu görülmüştür. Nem açısından gözlenen en düşük ve en yüksek değerler yine Migros istasyonunda gözlenmiştir. Ölçüm istasyonları arasındaki anlık nem farklılıkları incelendiğinde Migros ve Bahçelievler istasyonları arasındaki en büyük farkın % 47,7, Migros -Anıtkabir istasyonları arasındaki farkın % 3,1 Bahçelievler- Anıtkabir istasyonları arasındaki farkın ise % 27 olduğu görülmüştür. İstasyonlar arasında sıcaklık ve nem parametreleri açısından görülen bu değerler yapısal alanlar ile yeşil alanlar arasında ne

kadar büyük farklılıklar olabileceğini ortaya koymakta ve bu durum insanların yaşam konforu ve termal konfor koşulları açısından yeşil alanların ne büyük öneme sahip olduğunu nicel olarak ifade etmektedir.

Streiling ve Matzarakis (2003) Almanya-Freiburg'da ağaçlık bir alanla ağaçsız bir alan arasındaki ortalama hava sıcaklığında yaklaşık 1°C fark olduğunu ve ağaç sayısı arttıkça, bu farkın da arttığını tespit etmiştir. [13] Shashua-Bar ve Hoffman bitki örtüsüyle kaplı yüzeylerin aynı renkteki diğer cansız malzemelere oranla daha düşük radyatif sıcaklıklara sahip olduğunu ve bu nedenle bu alanlarda maksimum sıcaklıklar arasındaki farkın 20°K'i geçebileceğini belirtmiştir [14]. Yeşil alanların asfalt ya da beton kaplı alanlarla karşılaştırılmasına ilişkin çalışmalarında, Luvall ve Quattrochi [15] Huntsville, Alabama'da ormanlık alanın yakınındaki otopark alanına oranla 15,5°C daha serin olduğu tespit etmiştir. Otoparktaki tek bir ağaç, otoparkın ortasındaki alana oranla 17,2°C daha soğuktur [16]. Spronken-Smith ve Oke (1998) Akdeniz ikliminde yer alan Vancouver ve Sacramento kentlerindeki parkların çevresindeki yapısal alanlara oranla genelde 1-2°C daha serin, ideal koşullarda ise 5°C daha serin olduğunu belirtmiştir [17]. Bu fark ağaçların varlığı, sayısı, ağaçların türü, parkın sulaması gibi faktörlere bağlıdır. Bu araştırmanın bulguları da literatürdeki çalışmaların sonuçlarına benzerlik göstermektedir. Hava sıcaklıkları yeşil alanlarda daha düşük yapısal alanlarda daha yüksektir. Yapısal alan oranı arttıkça hava sıcaklığındaki farklılıklar da artış göstermektedir. Ancak Ankara kentinin yüzey sıcaklığı yapısı incelendiğinde bu tip çalışmaların yapıldığı kentlerde gözlenen, özellikle kent merkezinde çok yüksek, çepçevre ve kırsal alanlara doğru gittikçe düşen yüzey sıcaklık profiline uymadığı gözlenmiştir. Ankara kent merkezi olarak tanımlayabildiğimiz Kızılay ve yakın çevresinde yüzey sıcaklığı kentin ortalama sıcaklığına benzer çıkmıştır. Bunun nedeninin kent merkezindeki yapı yoğunluğunun diğer alanlara benzer olmasından ve Ankara kentinin yapısının bu tip çalışmaların yapıldığı Avrupa ve Amerika kentlerinden farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda Ankara kentinde kentsel ısı adası etkisi oluşumunu önlemek ve/veya azaltmak için alınabilecek önlemler aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır. Bu öneriler bölge ölçeğinden alt ölçekleri kapsayacak şekilde geliştirilmiştir.

1. Öncelikle Ankara kentinin iklim haritası oluşturulmalıdır. Kentleşme ve diğer arazi kullanımları sonucunda kentte oluşan iklim ve mikroklima alanları haritalanmalı; iklimsel açıdan stresli olma eğiliminde olan alanlar, acilen müdahale edilmesi gerekli alanlar tespit edilmelidir. Stresli olma eğiliminde olan alanlar

- irdelenerek sorunlar tespit edilmeli ve bu sorunların çözümü için geliştirilecek stratejiler (yeşil çatılar, bitkilendirme, soğuk kaplama malzemeleri, soğuk çatılar vb.) kullanılarak mevcut dokuda iyileştirme yapılmalıdır.
2. Kent iklimine ilişkin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak sürekli güncel gelişmeleri izleyen bir bilgi sistemi kurulmalıdır.
 3. Kentin gelişim planları hazırlanırken farklı meslek disiplinlerinden ve özellikle kent iklimi konusundaki uzmanlardan destek alınmalıdır. Yerleşim insan sağlığı ve yaşam konfor koşulları açısından en uygun şekilde planlanmalıdır. Yoğunluklar ve yerleşim dokusu enerji etkin planlama ilkeleri göz önünde bulundurularak oluşturulmalıdır.
 4. Son yıllarda Ankara'nın gelişimi kentin özellikle batı koridoruna yönelmiştir. Ankara kentinin yerleştiği çanağın tek ve önemli bir açılımı olan bu koridordaki gelişimin Ankara'nın iklimine ve özellikle hava koridorlarına olan etkisi incelenmelidir. İncelemenin sonuçlarına göre gerekli önlemler alınmalı ve bu bölgedeki gelişim gerektiğinde sınırlandırılmalıdır.
 5. Ankara kentinde; kentsel ısı adası etkisinin azaltılmasında önemli bir etmen olan rüzgarın hareketleri incelenmeli, rüzgar haritaları oluşturulmalıdır. Kentsel gelişimin kentteki rüzgar hareketlerini ve etkenliğini ne şekilde etkilediği belirlenmelidir. Bu saptamalar doğrultusunda kentte rüzgar hızını artırıcı ya da azalmasını engelleyici tedbirler alınmalıdır.
 6. Ankara kenti açık yeşil alan sistemi yeniden gözden geçirilmelidir. Kent içindeki açık yeşil alanlar mutlaka korunmalı, yeşil alanların miktarı artırılmalıdır. Kent içindeki parklardaki ağaç dokusu artırılmalı, geçirimsiz yüzey kullanımı azaltılmalıdır.
 7. Ankara kent merkezi ve yakın çevresinde son yıllarda sayısı hızla artmakta olan alışveriş merkezleri, kullandıkları yapı malzemeleri, büyük otoparkları ve yarattıkları geçirimsiz yüzeyler nedeniyle o bölgede ısı adası oluşumunu arttırmaktadır. Bu merkezlerdeki otoparklarda soğuk kaplama malzemeleri kullanılmalı, mutlaka bitkilendirme yapılmalı, büyük taç yapan bitkiler kullanılmalıdır.
 8. Kent içindeki kamu yapılarının bahçeleri asfalt malzeme ile kaplamak yerine (resmi kurum ve kuruluşlara ait bahçeler, okul bahçeleri, askeri alanlar vb.) mutlaka bitkilendirilmelidir.
 9. Konut parseli ölçeğinde; yapının yüksekliğine bağlı olarak yapı yaklaşma mesafeleri yeniden belirlenmelidir. Konut alanlarında artan araba sahipliğine bağlı olarak ada içerisindeki boş alanlar hızla otopark alanına dönüşmektedir. Araştırma bulgularında konut adalarındaki yeşil alanların sıcaklık ve nem parametreleri üzerinde çok etkili olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle konut

parsellerindeki açık alanların yeşil alan olarak düzenlenmesi sağlanmalıdır.

10. Konut parsellerinde ağaçların konumları yaz güneşini azaltacak; kış güneşinden faydalanmayı arttıracak şekilde düzenlenmelidir.
11. Yapı cephelerinde ısıyın depolanmasını azaltan açık renkli boyalar kullanılmalı, cephelerde sarılıcı tırmanıcı bitkiler kullanılarak sıcaklıklar düşürülmelidir. Yapıların cephelerinde ayna, cam gibi çok yansıtıcı özelliğe sahip malzemelerin kullanımından kaçınılmalıdır.
12. Kanyon etkisinin oluşmaması için cadde ve sokaklarda mutlaka yol ağaçlandırması yapılmalı, uygulamalarda Ankara kenti doğal bitki örtüsünde bulunan türler seçilmelidir.

Yukarıda açıklanan stratejiler ve ilkeler doğrultusunda Ankara kentindeki kentsel ısı adası etkisinin azaltılması için gerekli çalışmalar başlatılmalıdır. Bu çalışmalar için bir planlama ekibi oluşturulmalıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yüksel, Ü., **Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi Üzerinde Bir Araştırma**, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005.
2. World Health Organization (WHO), "Urban Bioclimatology", **Heat-Waves: Risks and Responses**, Health and Global Environmental Change Series, No. 2, WHO Regional Office for Europe, Denmark, 2004.
3. Streutker, D.R., **A Study of the Urban Heat Island of Houston-Texas**. PhD Thesis, Rice University Department of Physics and Astronomy, Houston, Texas, 2003.
4. Fan, H., **Urbanization of Mesoscale Models**. Tulane University Department of Mechanical Engineering, 2004.
5. Anonim, **2023 Başkent Ankara Nazım İmar Planı Açıklama Raporu**, Ankara Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığı, Ankara, 2006.
6. İŞLEM GIS., **Erdas Imagine Temel Yazılımı**. Eğitim Dökümanı, İşlem Şirketler Grubu, Ankara, 2002.
7. Demirbüken, H., **Ankara İli Yerleşim Alanı Arazi Örtüsünün ve 1986-1995 Yılları Arasındaki Değişimin Uzaktan Algılama Teknikleri İle Belirlenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996.
8. Barış, E., **Ankara Kentinde Hava Kirliliği Sorununun Çözümünde Peyzaj Mimarlığı Açısından Alınması Gerekli Önlemler**, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1995.

9. Akay, A., **Kentsel Mekanlarda Oluşan Isı Adası Etkisinin Azaltılmasında Sürdürülebilir Peyzajın Öneminin Ankara Kenti Örneğinde Araştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996.
10. Memlük, Y., **Ankara Kenti ve Yakın Çevresi İklimi Oluşturan Etmenlerin Kentsel Yerleşimler Yönünden İncelenmesi ve Değerlendirilmesi Üzerinde Bir Araştırma**, Doçentlik Tezi, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara, 1982.
11. Anonim, **Köppen Yöntemine Göre Ankara İklimi**, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Yayın No:2000/01, Ankara, 2000.
12. Gomez, F., Gaja, E., Reig, A., “Vegetation and Climatic Changes in a City”, **Ecological Engineering**, Sayı:10, 355-360, 1998.
13. Streiling S, Matzarakis A., “Influence of Single and Small Clusters of Trees on the Bioclimate of a City: A Case Study”, **Journal of Arboriculture**, Sayı:29 (6), 309-316, 2003
14. Shashua-Bar L, Hoffman ME., “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**, Cilt 31, Sayı: 3, 221-235, 2000.
15. Quattrochi, D., Luvall, J., **High Spatial Resolution Airborne Multispectral Thermal Infrared Data to Support Analysis and Modelling Tasks in EOS IDS Project ATLANTA**, <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/atlanta>, Erişim tarihi: 20. 02.2004, 1997.
16. Harp, D., **The Dallas/Forth Worth, Texas Winter Heat Island and Variations in Low Temperature Injury to Ornamental Plants**, PhD Thesis, Texas A&M University, Texas, 2000.
17. Spranken-Smith RA, Oke TR., “The Thermal Regime of Urban Parks in Two Cities with Different Summer Climates”, **International Journal of Remote Sensing** Cilt No:18, Sayı: 11, 2085-2104, 1998.