

ANKARA'DA ŞEHİR ISI ADASININ İNCELENMESİ¹

Detection of Urban Heat Island in Ankara, Turkey.

İhsan Çiçek

Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü 6100, Sıhhiye/Ankara
cicek@humanity.ankara.edu.tr

Uğur Doğan

Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü 6100, Sıhhiye/Ankara
ugdogan@yahoo.com

Özet: Türkiye'de hızlı nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan şehirleşme sıcaklıklarda değişimler meydana getirmektedir. Bunda özellikle plansız ve kaçak yapılaşmanın önemli bir payı vardır. Gecekondulaşma sonucunda yeşil alanların hızla yok olması ve hızlı betonlaşma şehir ısı adasını (ŞIA) kuvvetlenmiştir. Başkent olduğundan beri hızlı bir şehirleşmeye sahne olan Ankara'da da ŞIA gelişimini, bunun alansal dağılışını ve büyüklüğünü saptamak için farklı şehir dokusunu yansıtan bölgelere 7 adet istasyon kurulmuş ve sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Veriler değerlendirildiğinde en büyük ŞIA soğuk dönemde görüldüğü için bu çalışmada şubat ayı incelenmiştir. Oke (1979) eşitliğine göre Ankara'da maksimum ısı adası 9.0 °C'dir. 2 Şubat 2002 saat 15:00'te bu değer 9.4 °C olmuştur. İncelenen dönemde gündüz zayıf olan ŞIA akşam saatlerinde kuvvetlenerek şehir ve kırsal alanlar arasında sıcaklık farklılığı ($\Delta T_{(s-k)}$) 7.7 °C'ye ulaşmıştır. Şubat ayı süresince 24 akşamda ŞIA ($\Delta T_{(s-k)} \geq 1.0$ °C) görülmüştür. Şubat ayında saat 21:00'da yaşanan ŞIA'nın % 61'i 4.0 °C'nin üzerindedir. ŞIA görüldüğü dönemlerde rüzgar hızı genellikle 0.5 m sn^{-1} 'ten daha azdır.

Anahtar Kelimeler: Ankara, şehir iklimi, şehir ısı adası, soğuma körfezi, soğuma oranı

Abstract: The rapid increase in population and corresponding rise in urbanization cause the change in temperature in Turkey. The unplanned and rapid construction has also a very big role in this process. The increase in the number of slums and rapid destruction of green areas and concretion has also strengthened urban heat island (UHI). There were seven station established in Ankara, representing the texture of the city in order to measure the temperature variation and define the development of UHI and its spatial variation. Since the biggest UHI is observed in cold period at investigation period, we investigated the month of February in this study. According to Oke (1979) equation the maximum heat island in Ankara is 9.0 °C. UHI observed 9.4°C at 15:00 on 2 February 2002. During the period of interest, UHI, which was weak during day time, strengthened in evening hours and $\Delta T_{(u-r)}$ increased up to 7.7 °C. There were UHI ($\Delta T_{(u-r)} \geq 1.0$ °C) in 24 evenings in February. 61% of UHIs observed at 21:00 in February was above 4.0 °C. The wind speed was less than 0.5 m s^{-1} during the periods of UHI.

Key words: Ankara, urban climate, urban heat island, cooling bay, cooling rate

¹ Bu çalışma Ankara Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Müdürlüğü tarafından desteklenen 2000-09-01-006 kod nolu "Ankara Şehri Batı Kesiminin Kent İklimi" adlı projenin kapsamında yapılmıştır.

1. Giriş

Uygulamalı klimatoloji çalışmalarının önemli konularından biri şehir klimatolojisidir. Şehirleşmenin artışına bağlı olarak, sıcaklık yapısında değişiklik, rüzgar hızlarında azalma, gelişen sıcaklık gradyanına bağlı olarak şehir içi parklar ile çevresinde meltem rüzgarları gelişimi, görel ve mutlak nemde değişiklikler görülmektedir. İklim elemanlarındaki değişiklikler, şehir kanyonlarının neden olduğu uzun dalga radyasyon kayıplarında azalma, kanyon geometrisinin neden olduğu albedo miktarlarında azalma, şehirlerin termik özellikleri, antropojenik ısı, şehir sera etkisi, azalan evapotranspirasyona bağlı olarak artan hissedilebilir ısı, azalan gizli ısı gibi kompleks yapıların sonucudur (Landsberg 1981, Oke vd 1991). Yüksek binalarla kuşatılan cadde ve sokaklarda gün içinde beliren ısınma farklılıkları, kirliliğin belirgin bölgelerde yoğunlaşması gibi konular şehir klimatolojisi çalışmalarını önemli kılmaktadır. Şehirlerin planlanması, cadde ve sokak genişliklerinin saptanması, bina iklimlendirmesinin daha efektif yapılması için şehir klimatolojisi çalışmalarına gereksinim vardır. Ayrıca dünyamız gündemini küresel ısınma gibi önemli bir sorun meşgul etmektedir. Küresel ısınma içerisinde şehirlerin ısınma üzerindeki pozitif etkisinin saptanarak küresel değerlendirmelerin buna göre yapılması gerekmektedir. Çünkü gelecek yüzyılın teknoloji ve enerji gereksinimleri küresel ısınma senaryolarına göre yeniden yapılandırılmaktadır.

Şehir klimatolojisi (urban climate), ülkemiz için yeni bir kavram olmasına rağmen başka ülkelerde uzun bir süredir coğrafyacılar ve meteorologlar tarafından üzerinde çalışılan bir konudur. 1818 yılında Luke Howard tarafından yazılan “Urban Climate of London” isimli kitap şehir klimatolojisi konusundaki ilk kitaptır (Landberg 1981). Şehir klimatolojisi konusundaki çalışmalar yirminci yüzyılın ikinci yarısından sonra hızla artmıştır. Bu konuda yapılan çalışmaları iki döneme ayırmak mümkündür. 1970’li yıllara kadar genellikle şehir klimatolojisi konusunda betimsel çalışmalar yapılmıştır. Bu dönemde şehir ile kırsal alanlar arasında iklim elemanlarının farklılaşması ve bunların tanımlanması ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. 1970’li yıllardan sonra ise şehir klimatolojisinin dinamik yapısı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalarda özellikle enerji konusu üzerinde durularak şehir ısı adası – urban heat island (ŞIA - UHI) oluşumunda enerjinin rolü ortaya konulmaya çalışılmıştır. ŞIA oluşumunda teorik, deneysel ve modellemeler yapılmıştır. Şehir klimatolojisi üzerine 1970’li yıllarda yapılan çalışmalar ve bu konulardaki gelişmeler Oke (1974, 1979) tarafından sistematik olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında Arnfield (2003) son yirmi yılda şehir klimatoloji konusundaki gelişmeler hakkında önemli bilgiler vermektedir. Ülkemizde ise şehir klimatolojisi ile ilgili çalışma çok azdır (Karaca vd 1995a, Karaca vd 1995b, Tayanç vd.1997, Tayanç ve Toros 1997, Karaca ve Tayanç 1998). Bu çalışmaların tümünde iklim elemanlarındaki zamansal değişim incelenmiştir. Şehirlerimizin pek çoğunda tek istasyon bulunması nedeniyle iklim elemanlarının alansal dağılışı incelenememiştir.

ŞIA oluşumunda yere gelen radyasyon önemli rol oynamaktadır. Kır ve şehir alanların zemin özelliklerindeki farklılık önemli ısı farklılıklarına neden olmaktadır. Gelen enerjinin yerden yansımaları da kır ve şehir alanlarında aynı değildir. Çünkü kırsal alanlarda geri yansıyan enerji hiçbir fiziksel engelle maruz kalmadan yansırken şehir alanlarında yüksek binalar arasında önemli oranda tutulmakta ve geri yayılımında önemli zamansal gecikmeler olmaktadır. Şehir alanlarında binaların oluşturduğu engelleri tanımlamak ve bunların enerji bilançosu üzerindeki etkilerini hesaplayabilmek için şehir kanyonu (urban canyon), gök görüş oranı (sky view factor) ve yükseklik – genişlik (Y - G) oranı (height – weight (H-W) ratio) gibi kavramlar geliştirilmiştir. Bu kavramlarla ilgili açıklamalar ilgili yerlerde yapılacaktır.

Şehir klimatolojisi kapsamında en çok çalışılan konulardan biri ŞIA’ dır. Bunda özellikle ŞIA’nın diğer iklim elemanlarına göre daha kolay tespit edilmesi önemli rol oynamıştır. ŞIA çalışmalarında daha çok sıcaklık özelliği işlenmesine rağmen kavramın adı şehir ısı adası (urban heat island) olarak literatüre yerleşmiştir

Şehirleşmeden en çok etkilenen iklim elemanı sıcaklıktır. Şehirleşme sonucunda sıcaklıklarda belirgin bir artış görülmektedir. Şehir ve çevresindeki kırsal alanlar arasındaki yüzey ve hava sıcaklık farklılığı ŞIA olarak tanımlanmaktadır (Landsberg 1981). ŞIA, şehirlerin doğal yüzey yapısının değiştirilip asfalt ve çimento ile kaplanması, yeşil alanların ve yüzey neminin azalması, binalardan kaynaklanan kanyon etkisinin bir sonucudur (Chandler 1965, Landsberg 1981). Bu etki genellikle pozitifdir. ŞIA gündüz ve gece görülmekle birlikte genellikle geceleri daha yoğun olarak oluşur. Şehir ve kırsal alanlar arasında sıcaklık farklılığı sinoptik koşullara bağlı olarak gelişir. Sıcaklık farklılığı açık ve sakın hava koşullarında büyürken, bulutlu ve rüzgarlı havalarda kaybolmaktadır. Sıcaklık farklılığının gelişiminde farklı topografik özellikler, radyasyonla geçen ısı ve türbülans kaynaklanan değişim gibi farklılıklar önem kazanmaktadır.

Ülkemizde 1950'li yıllarda başlayan köyden şehre göç ve hızlı şehirleşme Ankara'nın başkent ilan edilmesi ile başlamıştır. Cumhuriyet kurulduğunda ve başşehir ilan edildiğinde nüfusu 74.553 (1927 sayımı) olan Ankara'nın hızlı bir şehirleşme sonucunda nüfusu artmış ve nüfus 2000 yılında 3.203.362 kişiye ulaşmıştır. 1950 yılına kadar yavaş bir artış gösteren Ankara nüfusu bu tarihten sonra hızla artmıştır. Ankara'da yıllık nüfus artış hızı 1927 - 2000 döneminde % 5'in üzerinde gerçekleşmiştir. Bu oran aynı dönemdeki Türkiye ortalamasından yaklaşık 2 kat fazladır. 1990 ile 2000 yılları arasında ise Türkiye'de nüfus artış hızı % 2 iken Ankara şehrinde nüfus artış oranı % 8.8 olmuştur. Bu İstanbul'dan sonra ülkenin en yüksek nüfus artış oranıdır.

Ankara şehri, Ankara Çayı ve kollarının oluşturduğu Ankara ovası üzerinde kurulmuştur. 850-900 metre ortalama yükseltiyeye sahip Ankara Ovası doğu, kuzey ve güney yönlerinden kapalı, batıya açıktır. Çevresindeki dağların ortalama yükseltisi ise 1250-1500 metre arasında değişmektedir. İlk kurulduğu yıllarda ovanın doğu kenarında kaleyi çevreleyen şehir daha sonra ova tabanına ve taraçalara doğru yayılmıştır. 1950'li yıllarda yaşanan hızlı nüfus artışı sonucunda ova tabanından yamaçlara doğru yayılmış ve şehirleşme açısından uygun olmayan yamaçlar gecekondular ile dolmuştur.

Ankara'nın en sık dokulu ve ticaret alanını oluşturan merkezi kısmında yerleşme tarihi çok eski dönemlere kadar inmektedir. İlk bilinen yerleşme Hitit dönemine aittir. Bu merkez Firig, Roma, Bizans ve Osmanlı döneminde de kullanılmıştır. Birinci Dünya Savaşı'ndan önce Ankara'nın nüfusu yaklaşık 25.000 kadardır. Cumhuriyet ilanı ile bu merkezi kısım genişlemeye başlamış ve eski yerleşim alanlarının etrafını kuşatan yeni yerleşim alanları inşa edilmiştir. Bu merkezi kısım çok sık dokulu ve çok katlı betonarme binalardan oluşmaktadır. Merkezi kısmı çevreleyen yoğun yerleşme alanları genellikle şehirlere göçün hızlandığı 1950'li yıllarda planlanarak yapılmıştır (Erol 1976). O dönemde bu kesimler yerleşim alanı olarak kullanılan sık dokulu 2-3 katlı betonarme binalardan oluşmaktaydı. Ancak hızlı şehirleşme sonucunda artan konut gereksinimi nedeniyle bu binalar yıkılarak yerine çok katlı betonarme binalar yapılmıştır.

Banliyö karakterli yerleşme sahalarını ikiye ayırarak değerlendirmek gerekir. Şehrin doğu, kuzey ve güney kesimindeki banliyö karakterli yerleşme sahaları hızlı şehirleşme sonucunda plansız olarak yapılan, sık dokulu konutlar ve gecekondulardan oluşmuştur. Batı kesimi ise 1970'li yıllardan sonra konut sorununu gidermek için planlanan genellikle konut kooperatiflerinin yaptığı binalardan oluşmaktadır. Bunlar genellikle bahçeli dubleks veya çok katlı düzenli site alanları şeklindedir. Ankara daha çok idari ve hizmet fonksiyonları ağır basan bir kenttir. Sanayi fonksiyonu çok gelişmemiş olup daha çok küçük ve orta ölçekli atölyelerden oluşmaktadır. Bu nedenle, sanayinin ŞIA üzerindeki etkisi, ısıtma gibi diğer antropojenik ısı kaynaklarına göre daha azdır.

Hem Türkiye'de hem de Ankara'da yaşanan hızlı şehirleşme sonucunda şehirler, iklim elemanları üzerinde etkili olmaya başlamış ve ŞIA gelişimine sebep olmuştur. Türkiye'de bu konuda yapılan çalışmalarda (Karaca vd 1995a, Karaca vd 1995b, Tayanç ve Toros 1997, Karaca ve Tayanç 1998) şehirleşme sonucunda ŞIA gelişimine ait ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Karaca ve Tayanç (1998), 54

istasyon üzerinde yaptıkları çalışmada şehir sıcaklık artışının % 99 anlamlılık düzeyinde ortalama sıcaklıklarda $0.24 \text{ }^\circ\text{C}$ 40 yıl^{-1} ve minimum sıcaklıklarda $0.48 \text{ }^\circ\text{C}$ 40 yıl^{-1} artış saptamışlardır.

Karaca vd (1995a), İstanbul ve Ankara'da şehirleşmenin sıcaklık üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında Ankara'da şehir, banliyö ve kırsal özellikler taşıyan 5 istasyonu ele alarak bu istasyonlardaki uzun yıllık sıcaklık eğilimlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada hem kırsal hem de şehir istasyonlarının sıcaklıklarında bir azalma eğilimi gözlemlenmiştir. Araştırmacılar İstanbul'daki pek çok istasyonda da saptanan bu özelliği, Ortadoğu ve Doğu Akdeniz'de görülen anlamlı sıcaklık azalması ve Ankara'nın nispeten planlı şehirleşmesi ile ilişkilendirmişlerdir. Ancak bunda seçilen istasyonlar arasındaki mesafenin çok fazla olması ve farklı topografik özellikler taşımaları da rol almış olmalıdır. Çiçek (2002), şehirleşmenin özelliklerini yansıtan Ankara Meteoroloji İstasyonu'nun 1926-2000 yılları arasındaki yağış özellikleri incelendiği çalışmada mart, eylül, aralık ayları dışındaki bütün aylarda ve yıllık yağışlarda artış eğilimi olduğunu ortaya koymuştur (Çiçek 2002).

2. Genel İklim Özellikleri

Ankara ve çevresinde, Köppen (1968) iklim sınıflamasına göre BSk iklim tipi görülmektedir. Buna göre Ankara'da yıllık ortalama sıcaklığı $18.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den düşük, yaz kuraklığının bulunduğu yarı-kurak bir iklim hüküm sürmektedir (Akman 1990). Thornthwaite tarafından yapılan iklim sınıflamasına göre Ankara yazları şiddetli, su açığı bulunan, birinci dereceden mezotermal, deniz etkisine yakın, yarı kurak ($D B_1 s_2 b'_3$) bir iklim tipine sahiptir (Çiçek 1996). Yine Ankara ve çevresinde yıllık ortalama sıcaklıklar yılın 3 ayında $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ üzerinde, 4 ayında $10.0\text{-}20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında, 5 ayında ise $10.0 \text{ }^\circ\text{C}$ altındadır (Çiçek 2000).

Ankara ve meteoroloji istasyonuna ait ortalama meteorolojik parametreler şöyledir:

Yıllık ortalama sıcaklık: $11.7 \text{ }^\circ\text{C}$

Yıllık sıcaklık farkı: $23.2 \text{ }^\circ\text{C}$

Ocak ayı ortalama sıcaklığı: $-0.1 \text{ }^\circ\text{C}$

Temmuz ayı ortalama sıcaklığı: $23.1 \text{ }^\circ\text{C}$

Yıllık yağış tutarı: 377.6 mm

Yıllık ortalama nispi nem: % 60

Yıllık ortalama su buharı basıncı: 8.2 mb

Yıllık ortalama rüzgar hızı: 2.1 m sn^{-1}

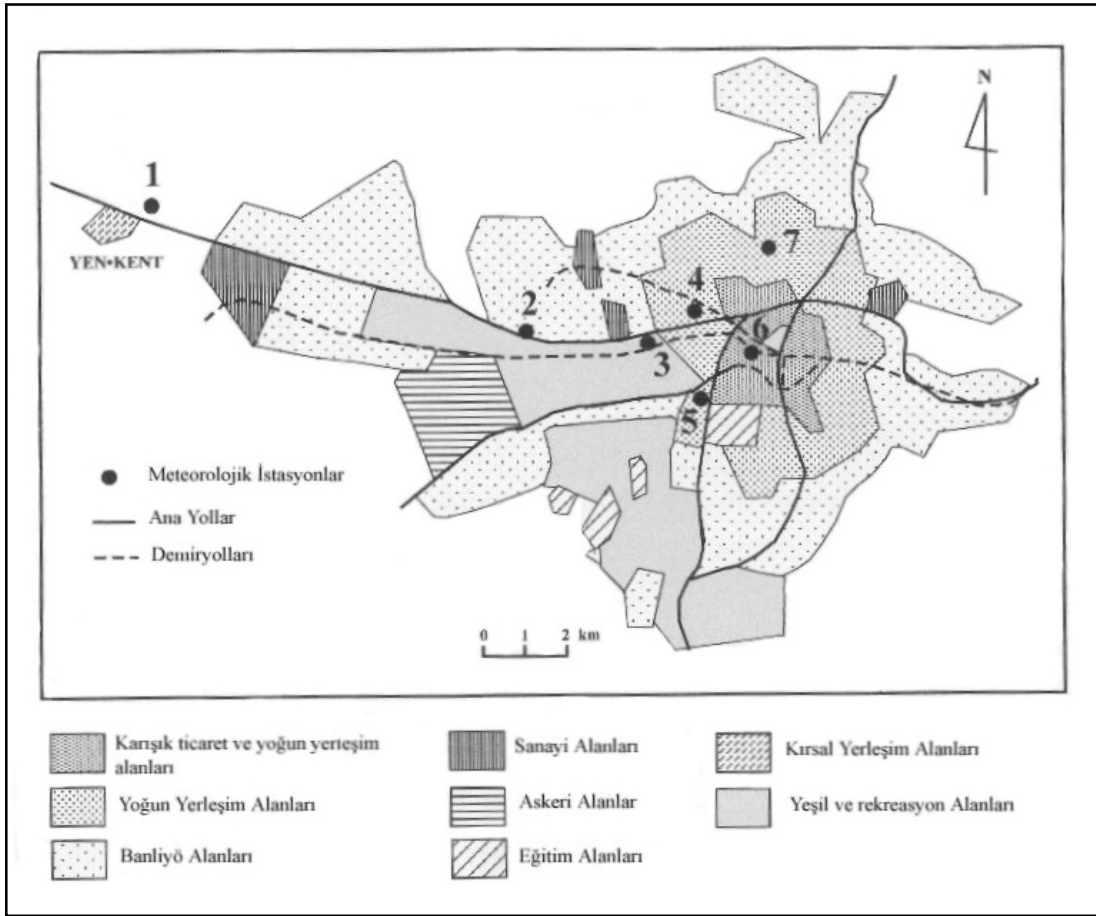
Yıllık ortalama güneşlenme süresi: 4066.6 sa .

Ankara ve yakın çevresini kış mevsiminde cephesel faaliyetlerle aralanan antisiklonik koşullar etkilemektedir. Antisiklonik koşulların hakim olduğu dönemlerde açık gökyüzü, sakin koşullar ve yağışsız bir hava durumu yaşanır. Bu koşullar sıklıkla termik sıcaklık terselmesine sebep olur. Antisiklonik koşullar ŞIA gelişimine uygun koşullar yaratmaktadır. Cephesel faaliyetler ise yağışlı, rüzgarlı hava durumlarına neden olur. Bu durum ŞIA büyüklüğünü azaltıcı bir etki yapmaktadır.

3. Çalışmada Kullanılan İstasyonlar

Ankara'da şehirleşmenin iklim üzerine etkisini saptamak için 7 adet istasyon kullanılmıştır (Şekil 1). Bu istasyonlar, yükseltinin iklim üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için ova tabanında birbirine yakın yükseltilere yerleştirilmiştir. Şehri kuşatan gecekondu alanları genellikle tepelik ve yamaç arazilere yapıldığından buralarda belirgin bir yükselti farkı vardır. Bu nedenle bu alanlarda istasyon kurulmamıştır. İstasyon özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Şehirleşmenin etkilerini yansıtan istasyonlardan Gar istasyonu, Ankara'nın en yoğun yerleşim ve ticaret alanındaki Açık Hava Tren Müzesi'nde, Emek istasyonu yoğun yerleşme ve yüksek - orta dereceli okulların toplandığı alanda bir okul bahçesinde, Çubuk Çayı kenarındaki Keçiören istasyonu daha çok 3-4 katlı evlerin bulunduğu bir yerleşim alanında,

Yenimahalle istasyonu genellikle 2-3 katlı binaların bulunduğu bir alanda İl Tarım Müdürlüğü bahçesinde kurulmuştur. Atatürk Orman Çiftliği (AOÇ) istasyonu Ankara Çayı'nın oluşturduğu geniş vadi tabanında, şehir içi büyük bir yeşil alanın içinde bulunmaktadır. Şeker istasyonu, Ankara'nın batısında geniş bir vadi tabanı üzerinde inşa edilen Ankara Şeker Fabrikası'nın bahçesinde, (İstasyon doğu batı yönlü bir yeşil alan ve onu çevreleyen banliyö karakterli yerleşim alanlarının özelliğini yansıtmaktadır) Yenikent istasyonu ise kırsal karakterli küçük bir yerleşim alanının yaklaşık 1 km uzağında bulunmaktadır. İstasyonlar arasında 83 m yükselti farkı vardır. İstasyonlar 2 m² beton bir zemin üzerinde kurulmuş olup, yerden 1.5 m yükseklikte sıcaklık, 3 m yükseklikte rüzgar hızı ve yönünü ölçmektedirler. Ölçümler her ½ saatte otomatik olarak yapılmaktadır.

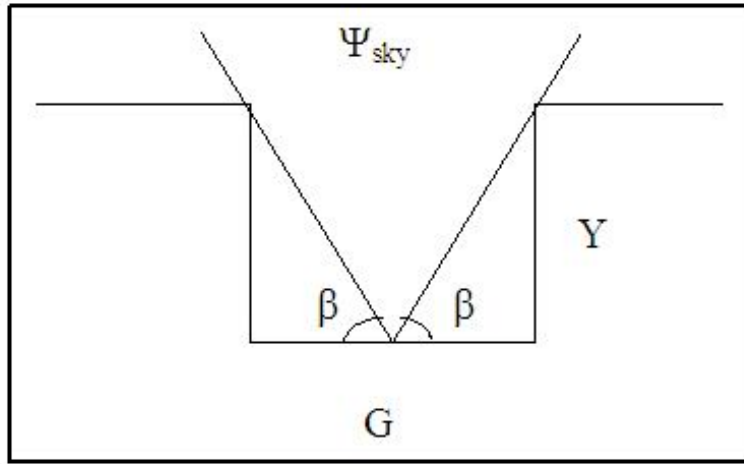


Şekil 2. Ankara'nın geliştirilmiş fonksiyon alanları ve kullanılan istasyonların konumları (Numaralar Çizelge 1'deki istasyonları göstermektedir).

Çizelge 1. Kullanılan istasyonların özellikleri

İstasyon no	İstasyon adı	İstasyon tipi	Yükselti (m)	Gök görüş faktörü (Ψ_s)	Y/G oranı
1	Yenikent	Kırsal	820	0.92	0.15
2	Şeker	Banliyö	838	0.86	0.22
3	AOÇ	Şehir Park	862	0.81	0.15
4	Yenimahalle	Şehir	870	0.46	0.67
5	Emek	Şehir	903	0.35	1.15
6	Gar	Şehir	884	0.29	2.35
7	Keçiören	Şehir	885	0.39	1.84

Uzun yıllardır şehir geometrisi ŞIA oluşumu ve genişliğini açıklamak için kullanılan kavramlardan biridir. Şehir klimatolojisi üzerine yapılan pek çok çalışmada şehir ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farklılığı ($\Delta T_{(s-k)}$) şehir kanyon geometrisi ile karşılaştırılmıştır. Simetrik şehir caddelerinde bu caddelerin genişliklerinin ve caddeler üzerindeki binaların yüksekliklerinin yarattığı üç boyutlu geometrik şekil “kanyon” terimi ile karşılanmıştır. Oke (1981) bazı Kuzey Amerika, Avrupa ve Avustralya şehirlerindeki maksimum ŞIA genişliği ile gök görüş faktörü (sky view factor) arasındaki ilgiyi göstermiştir. Şehir kanyonunun geometrisi ve boyutlarının yarattığı radyasyon değişiklikleri ŞIA genişliğini doğrudan etkilemektedir. Kanyon geometrisini ifade etmenin yollarından biride gök görüş faktörüdür. Gök görüş faktörü şehir kanyonlarından görülen gökyüzü miktarı ile tüm gökyüzünün oranıdır (Şekil 2). Bunu saptamanın yollarından bir 180° görüş alanına sahip balıkgözü objektif ile yerden 1.20 m yüksekten şehir kanyonunun fotoğrafını çekmektir. Bu fotoğrafta görülen gökyüzünün tüm fotoğraf alanına oranı gök görüş faktörünü vermektedir. Gök görüş faktörü kırsal alanlarda 1 olup şehir merkezlerine doğru 0’a yaklaşmaktadır (Oke 1987, Grimmond vd 2001). Şekil 2’ den de anlaşılacağı gibi gök görüş faktörü esasında yükseklik - genişlik oranının (Y/G, height – weight H/W ratio) bir fonksiyonudur. Şehir kanyonunun yüksekliğinin artması gök görüş faktörünü azaltmakta, kanyon genişliğinin artması ise gök görüş faktörünü arttırmaktadır.



Şekil 2. Şematik bir şehir kanyonunu üzerinde gök görüş oranı ($\Psi_{sky} = \cos \beta$) ve yükseklik (Y) ve genişlik (G) oranlarının tanımlanması.

3.Bulgular

3.1 Ankara 'da Maksimum Şehir Isı Adası

ŞIA'nın büyüklüğü ile nüfus sayısı arasında belirgin bir ilişki bulunmaktadır. Nüfus sayısı arttıkça ŞIA'nın genliği de büyümektedir. Oke (1973) nüfus ve ŞIA arasındaki ilişkiyi saptamak üzere Montreal'de nüfusu 1.000 ile 2.000.000 arasında 10 yerleşmede araştırmalar yapmıştır. Bu araştırmalar sonucunda ilk ampirik formülü geliştirmiştir. Ancak rüzgarın esmediği durumlar da (0) formül tanımsız hale gelmektedir. Bu araştırma Kuzey Amerika'da yeni yerleşmeler eklenerek sürdürülmüş ve nüfus ile maksimum ŞIA arasındaki logaritmik ilişkiye dayanan formüller geliştirilmiştir. Kuzey Amerika'daki şehirler için geliştirilen formül

$$(\Delta T_{s-k(max)}) = 3.06 \log \Phi - 6.79 \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ şeklindedir.}$$

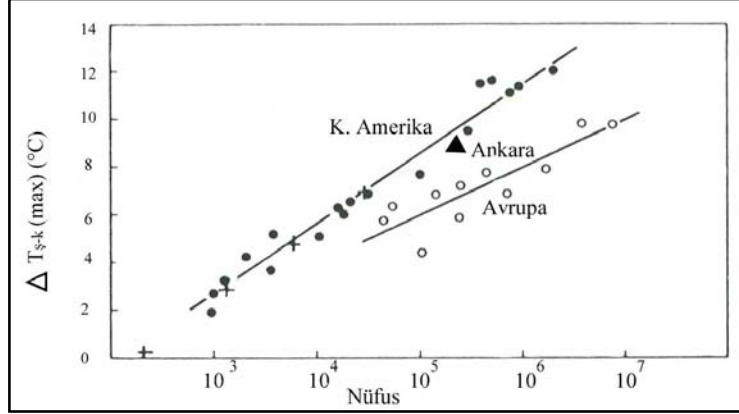
11 Avrupa şehrinde yapılan çalışma sonucunda nüfus artışı ile ŞIA büyüklüğü arasında korelasyon ise .

$((\Delta T_{s-k(max)}) = 2.01 \log \Phi - 4.06 \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ olarak hesaplanmıştır (Oke (1979). Formüllerde } \Phi \text{ nüfus miktarını göstermektedir.}$

Kuzey Amerika şehirleri için geliştirilen formül Ankara'ya uygulandığında, maksimum ŞIA 13.1 °C, Avrupa şehirleri için geliştirilen formül uygulandığında ise maksimum ŞIA 9.0 °C olarak hesaplanmaktadır. İncelenen 2002 Şubat ayında maksimum ŞIA değeri 02.02.2002 saat 15:00'de 9.4 °C'ye ulaşmıştır. Ankara'da bu aydaki maksimum ŞIA değeri Oke (1979)'nin Avrupa şehirleri için geliştirdiği formülüne çok yakın bir değerdir (Şekil 3). Gündüz saatlerinde bu kadar büyük ŞIA görülmesinde antropojenik ısı yayılımı yanında coğrafi faktörler de etkili olmuştur. Gündüz saatlerindeki pozitif termik anomalinin kökeni, şehir yüzeylerinin, kurak kırsal alanlara göre, azalan albedo nedeniyle artan kısa dalga boyu radyasyon absorpsiyonudur (Jauregui 1997). Ayrıca kırsal alanda rüzgar 4.0 m sn⁻¹ hızla eserken şehirde 0.9 m sn⁻¹ hızla esmesi kırsal alanların daha hızla soğumasına neden olmuştur. Maksimum ŞIA görüldüğünde sıcaklığın 0.0 °C altında olduğu tek yer Yenikent istasyonudur.

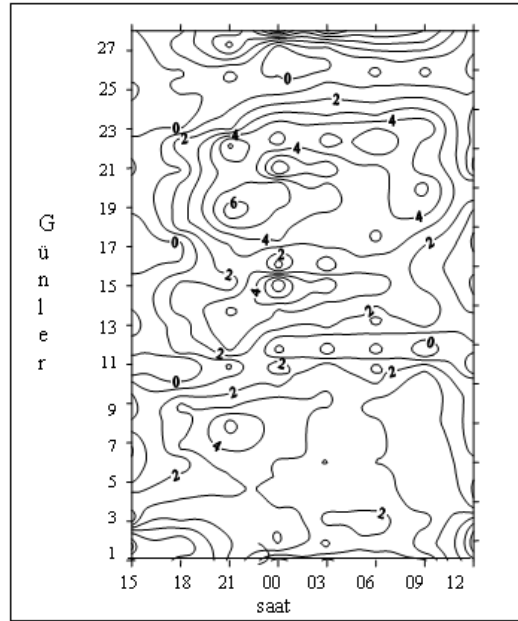
3.2 ŞIA'nın 2002 Şubat Ayında Değişimi

2002 Şubat ayında ŞIA büyüklüğünü ve değişimini saptamak için şehir karakterli istasyon olarak Gar, kırsal istasyon olarak Yenikent istasyonu incelenmiştir. İlk olarak bu aydaki $\Delta T_{(s-k)}$ dağılışı ele alınmıştır. ŞIA'nın günlük değişimi incelendiğinde 10-11 Şubat ile 24-27 Şubat tarihleri arasında şehir ve kırsal alanlar arasında sıcaklık farkının hemen hemen kaybolduğu görülmektedir. Bu günlerde siklonik koşullar hakim olup yağış olayı görülmüş ve rüzgar hızı şehir istasyonlarında 8.0 m sn⁻¹, kırsal istasyonlarda 10.0 m sn⁻¹ üzerine çıkmıştır. ŞIA daha çok güneşin battığı saatlerden sonra gelişmeye başlamakta ve 21:00 ile 03:00 arasında kuvvetlenmektedir. Bu durum şehir ile kırsal alanlar arasındaki soğuma oranı farklılığı ile ilgilidir. Oke vd (1972) şehir/kırsal soğuma oranı ve radyasyonla ısı yayılım katsayısını ŞIA'nın dinamik doğasının nedeni olarak belirtmektedir. Farklı yüzeylerin farklı soğuma oranları farklı genlikte ŞIA'ya sebep olur. ŞIA, kırsal alanlarda, soğumanın açık ve az kirletilmiş atmosferin radyasyon yolu ile enerji kaybına engel olmaması nedeniyle, sabahın erken saatlerine kadar gelişmeye devam eder. Gündüz saatlerinde ısınma şehir üzerinde türbülanslı karışım tabakası gelişimine neden olur. Böylece sıcaklık farklılığı öğle saatlerinde azalır (Şekil 4).



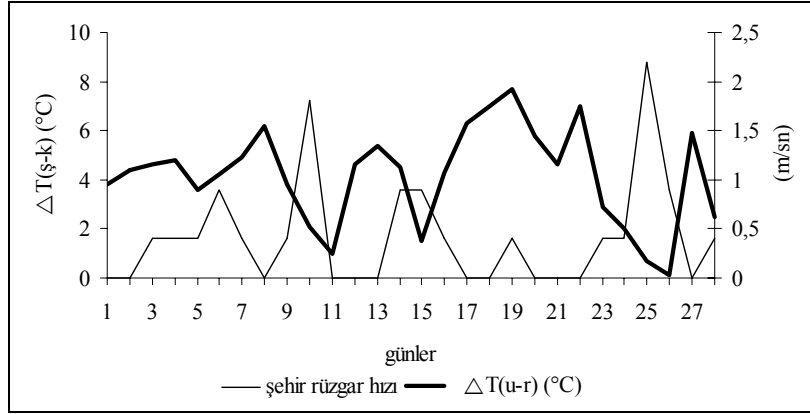
Şekil 3. Ankara'da Şubat 2002 maksimum ŞIA'nın Kuzey Amerika ve Avrupa şehirlerinin maksimum ŞIA'ları ile karşılaştırılması (Oke 1979'dan uyarlanmıştır).

2002 Şubat ayında saat 21:00 de bütün akşamlarda pozitif $\Delta T_{(\text{Ş-k})}$ yaşanmıştır. Bu çalışmada iyi gelişmiş ŞIA olarak $\Delta T_{(\text{Ş-k})} \geq 1.0$ °C alınmıştır. Bu koşula göre 24 akşamda iyi gelişmiş ŞIA görülmüştür. Özellikle şubat başı ile 10'u arasında ve 15 ile 23'ü arasında süreklilik gösteren ŞIA yaşanmıştır (Şekil 4-5). Özellikle Şubat ayının 19'unda $\Delta T_{(\text{Ş-k})}$ değeri 7.7 °C'ye kadar ulaşmıştır. Bu aydaki $\Delta T_{(\text{Ş-k})}$ değerlerinin % 32.1'i 4.1-5.0 °C, % 10.7'si 5.1-6.0 °C, % 14.3'ü 6.1-7.0 °C ve % 3.6'sı 7.1 °C üzerinde gelişmiştir. Yani $\Delta T_{(\text{Ş-k})}$ değerlerinin yarıdan fazlası 4.0 °C üzerinde gelişmiştir. ŞIA gelişimi ile rüzgar hızı arasında ilişki kurulduğunda, şehirdeki rüzgar hızının 1 m sn^{-1} üzerinde olduğunda ŞIA zayıflamaya başlamakta ve $\Delta T_{(\text{Ş-k})}$ 2.0 °C altına inmektedir (Şekil 5). Rüzgar hızının 0.5 m sn^{-1} altında olduğu dönemlerde ise ŞIA genliğinin büyüklüğü artmaktadır.

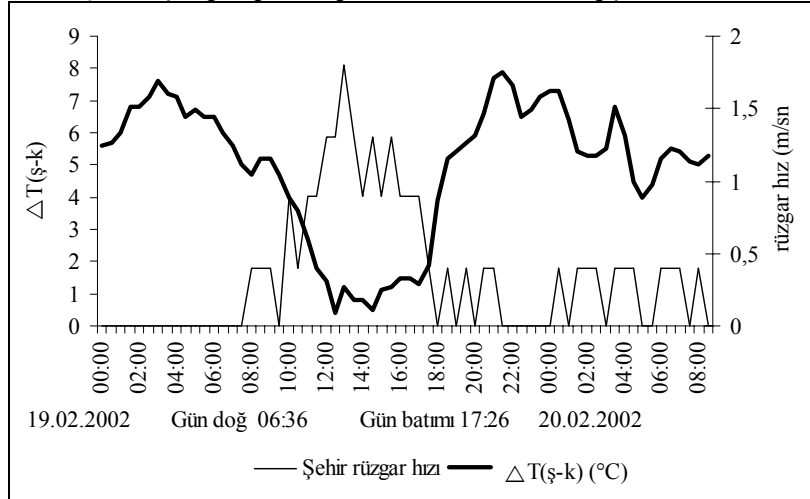


Şekil 4. 2002 Şubat ayında ŞIA'nın değişimi (°C).

Örnek olarak ele alınan 19-20 Şubat'taki ŞIA gelişimi incelendiğinde, güneşin battığı saatlerden itibaren $\Delta T_{(ş-k)}$ değeri artmaktadır. Güneşin batışından yaklaşık 4 saat sonra saat 21:00'de $\Delta T_{(ş-k)}$ maksimum değere ulaşarak 7.7 °C'ye kadar çıkmaktadır. 5.0 °C üzerindeki pozitif ŞIA sabah 9:00'a kadar sürmektedir (Şekil 6). Gece ŞIA gelişiminde geçirgen olmayan yüzey kaplamalarının gündüz saatlerinde büyük miktarda enerjiyi depolaması ve bunu gece atmosfere yayması etkili olmaktadır (Asaeda ve Vu 2000). Ayrıca ısınma amaçlı enerji kullanımının akşam saatlerinde artması ŞIA'nın belirginleşmesinde önemli bir paya sahiptir. Saat 09:00'dan sonra $\Delta T_{(ş-k)}$ hızla azalarak saat 12:30 ile 14:30 arasında 1.0 °C'ye kadar düşmüştür. Şehir ve kırsal alanlar arasında gündüz saatlerinde benzeşik sıcaklıkların görülmesi iki alanın benzer ısınma özellikleri göstermesinden kaynaklanmaktadır. 2002 Şubat ayında hemen hemen hiç yağış görülmemesi gündüz saatlerinde topraktan olan evapotranspirasyonun çok azalmasına neden olmuştur. Kırsal sahalar uzun süre yağışsız kaldığında zeminden evapotranspirasyon çok azalmakta ve güneş enerjisini absorbe etme bakımından şehir alanları gibi davranmaktadır. Yani azalan/yok olan evapotranspirasyon, radyasyonun gizli ısıya dönüştürülmesini engellemektedir. ŞIA gelişimi ile rüzgar hızı arasındaki ilişki Şekil 5'te bariz olarak görülmektedir. Rüzgar hızın 0.9 m sn^{-1} den fazla olduğunda ŞIA zayıflamaktadır. ŞIA'nın en zayıf olduğu öğle saatlerinde ise rüzgar hızı 1.8 m sn^{-1} 'e kadar çıkmaktadır.



Şekil 5. ŞIA genişliği ve rüzgar hızının saat 21:00'de değişimi.

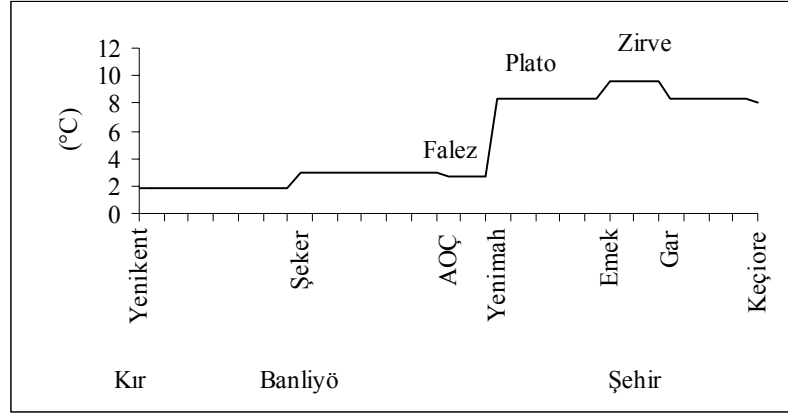


Şekil 6. 19-20 Şubatta ŞIA genişliği ve rüzgar hızının değişimi

3.3. ŞIA'nın Günlük Değişimi

19.02.2002 saat 21:00'de istasyonların sıcaklık grafiği incelendiğinde şehir ve kırsal sahalar arasındaki fark belirgin olarak karşımıza çıkar. Kır ve banliyö alanlarında sıcaklık 2-3 °C civarındayken şehre yaklaştıkça artmakta ve AOÇ-Yenimahalle (banliyö-şehir) geçişinde yaklaşık 7 °C'lik bir artış yaşanmaktadır (Şekil 7). Bu iki istasyon arasında yaklaşık 2 km.lik bir mesafe bulunmaktadır. Kır-banliyö/şehir sınırında yaşanan bu hızlı sıçrama Oke (1976) ve Oke (1987) tarafından "falez" olarak adlandırılmıştır. Şehir alanlarında sıcaklık 8-10 °C arasında değişmekte ve büyük bir değişim göstermemektedir. Şehirde sıcaklığın fazla değişmeden zayıf yatay gradyan gösterdiği yerler "plato" olarak nitelendirilirken, en büyük sıcaklığın olduğu yerler "zirve" olarak nitelendirilmiştir (Oke 1987).

19-20 Şubat 2002 tarihlerinde Türkiye üzerinde antisiklonik koşullar hakim olup basınç genellikle 1020 mb üzerinde gerçekleşmiştir. Antisiklonik koşullar nedeniyle Türkiye'nin batı, orta ve kuzeyinde cephesel sistemler etkili olamamıştır. Bu koşullar bulutsuz ve sakin hava durumlarının yaşanmasına neden olmuştur. Ankara'da bu günlerde görüş mesafesi 1600 m üzerinde, rüzgar hızı ise 0.4 m sn⁻¹'den daha azdır. Sabaha karşı yaşanan termik terselme nedeniyle çığ oluşmuş ve sis görülmüştür. Bu meteorolojik koşullar ŞIA görülmesi için uygun ortam yaratmıştır.



Şekil 7. Ankara'da sıcaklık profili (19.02.2002 saat 21:00) (istasyonlar arasındaki her aralık arasında yaklaşık 1 km'lik mesafe bulunmaktadır).

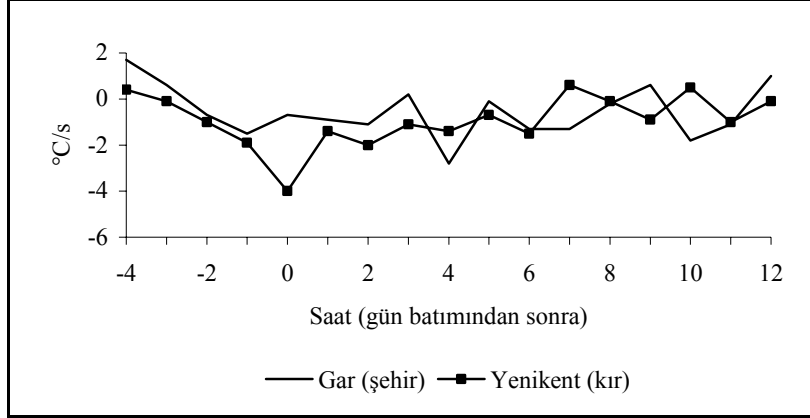
19-20 Şubat 2002 tarihlerinde ŞIA değişimini incelemek için 19 Şubat'a ait 12:00, 15:00, 18:00 ve 21:00 ile 20 Şubat'a ait 00:00, 03:00, 06:00 ve 09:00 saatlerine ait 8 adet sıcaklık dağılışı haritası çizilmiştir. 19 Şubat 2002 saat 12:00'deki sıcaklık haritası incelendiğinde zayıf bir pozitif ŞIA görülmektedir. Şehir içinde sıcaklık 10.0 °C civarında iken kırsal alanda 9.0 °C civarındadır. ŞIA genliği 1.4 °C'dir. Bu dönemde batı sektörlü rüzgarlar hakim olup rüzgar hızı 1.0 m sn⁻¹'ten azdır. Benzer zayıf ŞIA saat 15:00 te de devam etmektedir (Şekil 8 a-b). Bu durum daha önce de açıklandığı gibi kuru toprağın gündüz saatlerinde daha çok radyasyon emmesi ve kırsal alanların termal iletkenliklerinin düşük olması ile ilgilidir. Saat 18:00'den itibaren ŞIA belirginleşmeye başlamış ve ŞIA 3.9 °C'ye kadar ulaşmıştır (Şekil 8 c). Güneşin battığı 17:26'da $\Delta T_{(s-k)}$ değeri 1.2°C iken, saat 18:00'de bu farkın 3.4 °C'ye kadar çıkması kırsal alanların hızla soğuduğunu göstermektedir. Çünkü kırsal alanların ısı kapasitesi şehir alanlarına göre daha düşüktür. Yenikent istasyonunda, güneşin battığı ilk 1 saat içinde çok hızlı soğuma görülmektedir. Şehir alanlarında ise şehir kanyon geometrisi nedeniyle soğuma oranındaki büyük düşüş saat güneş battıktan 4 saat sonra yaşanmıştır (Şekil 9-10). Benzer durum şehir içi parklarında da görülmektedir. Yarım saat içinde şehir içi park karakterinde olan AOÇ'ta sıcaklığın 2.9 °C düşerken,

şehrin en yoğun kesimini oluşturan Gar istasyonunda 0.1 °C düşmesi şehir ve yeşil alanlar arasında soğuma farklılığının ne kadar büyük olduğunu göstermektedir. Soğumanın yavaş olduğu yerlerde gök görüş faktörü 0.4 ten düşüktür. Bu durum, şehir kanyonlarının soğuma oranları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Bu saatte Yenikent istasyonunda rüzgar hızı 0.9, Şeker istasyonunda 1.3 m sn⁻¹'dir. Diğer istasyonlarda rüzgar hızı 0.0 m sn⁻¹'dir. Rüzgar koşullarının şehir ve banliyö alanlarında sakin olması pozitif ŞIA gelişiminde önemli olmuştur.

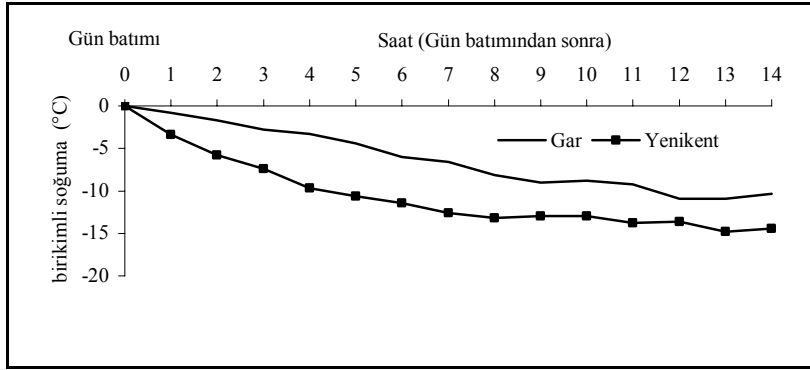
Saat 21'de ŞIA en yüksek değere ulaşmış ve 7.7 °C'lik bir sıcaklık farkı oluşmuştur. Şehir istasyonlarında sıcaklığın 8.0 °C üzerinde, kır ve banliyö alanlarında ise 3.0 °C'nin altında olması belirgin bir falez meydana getirmektedir (Şekil 8 d). Bu falezin meydana gelmesi şehir kanyon geometrisi ile yakından ilgilidir. Şehir kanyon geometrisinin etkisini gösteren en belirgin parametreler gök görüş faktörü ve Y/G oranıdır. Gök görüş faktörü ŞIA'nın büyük olduğu yoğun yerleşim ve ticaret alanlarında 0.4'ten düşük, Y/G oranı ise büyüktür. Dar ve derin şehir kanyonları yer radyasyonunun alıkonulmasına ve atmosfere geçişinin yavaşlatılmasına neden olmaktadır. Yine Şeker ve AOC istasyonlarının oluşturduğu yeşil alan, ŞIA'nda soğuk körfez oluşumuna neden olmaktadır (Klysik ve Fortuniak 1999). Yapılan çeşitli modellemelerde şehir parkları ile çevrelerindeki alanlar arasında yüzey sıcaklıklarında 19.0 °C'ye kadar sıcaklık farkı olabileceği saptanmıştır (Spronken-Smith ve Oke 1999). Yine Saito vd (1989) yaptıkları çalışmada bu farklılığı 15-20 °C arasında belirlemiştir.

Saat 00:00'da $\Delta T_{(s-k)}$ değeri 7.3 °C'dir. 21:00 ve 00:00 saatleri ŞIA'nın en kuvvetli olduğu saatlerdir (Şekil 8 d-e). Saat 00:00'dan sonra ŞIA zayıflamaya başlamaktadır. Ancak burada dikkati çeken gece yarısından sonra şehir karakterli istasyonlarda soğuma oranı daha hızlı yaşanırken, kır ve banliyö alanlarda soğuma oranının yavaş olmasıdır. Şehir sahalarında 3 saat içinde yaklaşık 1.5 °C soğurken kır ve banliyö sahalarında ya hiç değişiklik olmamış (örnek Yenikent) ya da çok az olmuştur (örnek Şeker 0.4 °C). Gece yarısından sonra (güneş batısından 6-7 saat sonra) kırsal alanlarda doyma noktasına erişilmesi gizli ısı salınmasına neden olur. Bu da sıcaklık artışına neden olmaktadır (Şekil 8). Böylece kırsal alanlarda soğuma yavaşlamaktadır. Saat 03:00'te şehir merkezindeki yoğun yerleşim alanları 3.0 °C izotermi tarafından sınırlanırken, kırsal sahalara doğru giderek azalmakta ve 0.0 °C izotermi yaklaşık olarak banliyö ve kırsal alanları sınırlamaktadır. Kırsal istasyon olan Yenikent ve banliyö karakterli Şeker istasyonunda sıcaklık sıfırın altındadır (Şekil 8 f).

06:00 da yani güneşin doğumundan yaklaşık yarım saat önce şehir ile kırsal alanlar arasındaki fark azalmaya devam ederek 4.3 °C'ye kadar düşmüştür (Şekil 8 g). Sıcaklık düşme hızı, şehir alanlarında sıcaklığın düşmeye başladığı saatlerde hızlı, kırsal alanlarda ise kazanılan enerjinin büyük kısmı kaybedildiği için yavaştır. Bu durum ŞIA genliğinin azalmasına neden olmaktadır. Saat 09:00'da pozitif ŞIA devam etmektedir (Şekil 8 g).



Şekil 9. Yenikent ve Gar istasyonlarında saatlik soğuma oranları (19-20 Şubat 2002)



Şekil 10. Ankara'da şehir/kırsal yerleşmelerde birikimli akşam soğuma grafiği (19-20 Şubat 2002)

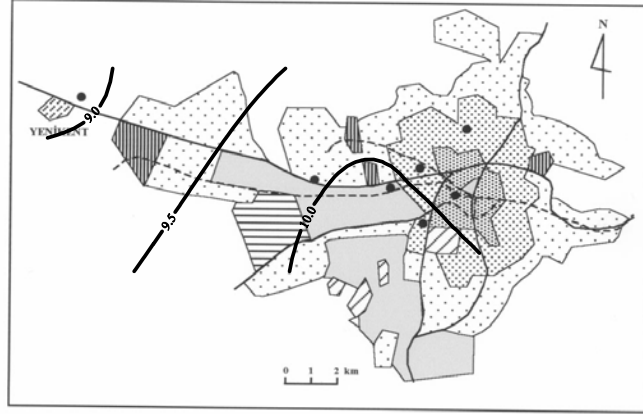
4. Sonuç ve Öneriler

Türkiye'nin ikinci kalabalık şehri olan Ankara'da 2002 yılının Şubat ayına ait ŞIA ve 19- 20 Şubat 2002 tarihlerindeki ŞIA gelişimi incelenmiştir. Bunun sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

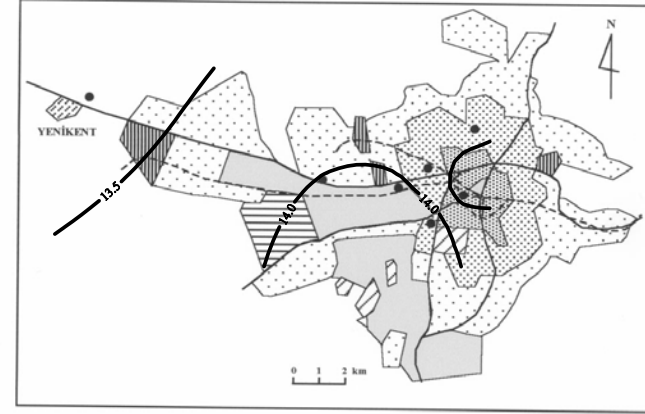
- Ankara'da maksimum ŞIA Oke, (1979) tarafından 11 Avrupa şehrinde yapılan çalışma sonuçları ile uyumludur.
- 2002 Şubat ayında saat 21:00 de her akşam ŞIA görülmüştür. Bunun 24 tanesinde $\Delta T_{(ş-k)} \geq 1.0$ °C'den fazladır. Gece ŞIA genliği 7.7 °C'dir . Rüzgar hızı ŞIA büyüklüğü üzerinde önemli rol oynamaktadır. Saat 21:00'de meydana gelen ŞIA'ların çoğu 4.0 °C'den büyüktür.
- Şehir içi park alanı olan AOÇ ile 2 km kuzeyindeki Yenimahalle arasında 5.7 °C'lik bir falez meydana gelmiştir. Bu durum karasal bir iklime sahip Ankara'da parkların mikroiklim alanları oluşturmada önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir.
- Güneş batmasından sonra ŞIA gittikçe büyümekte ve saat 21:00 ile 00:00 arasında maksimuma ulaşmaktadır. Buna kırsal sahaların düşük ısı kapasitesine sahip olması neden olmaktadır.
- Gece yarısından sonra şehir alanları kırsal alanlara göre daha hızlı soğumaktadır. Buna kırsal alanların doyma sıcaklığına ulaşması neden olmaktadır.
- ŞIA iki farklı açıdan şehirleri etkilemektedir. Bunlardan ilki makalede de konu edildiği gibi şehirlerin çevrelerine göre daha sıcak olmasıdır. Bu etkinin özellikle yaz aylarında yok edilmesi için soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Diğerisi ise hava kirliliğinin artması sonucunda şehir sisinin

gelişmesidir. Şehir sisi hem doğal çevreyi tehdit etmektedir hem de insan sağlığının tehlikeye atmaktadır. Bu iki etkiyi de azaltmak için şehirlerde gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

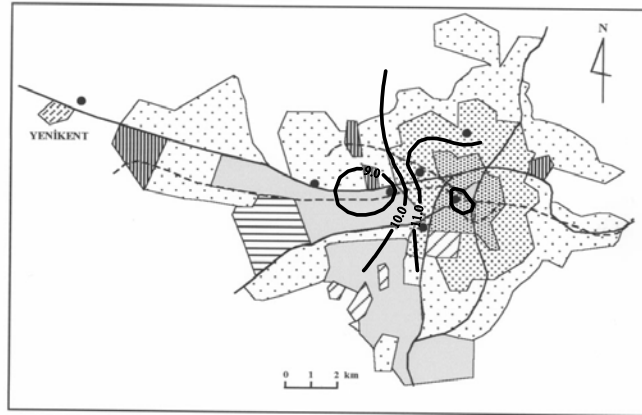
- ŞIA etkisini azaltmak için yapılacak çalışmalardan bazıları şunlardır. Şehir içlerinde büyük yeşil alanlar yaparak küçük ölçekli şehir meltemleri yaratılabilir. Böylece hem sıcaklığın düşmesi sağlanabilir hem de kirliliğin etkisi azaltılabilir. Yeni planlanan yerleşim alanlarında cadde genişlikleri ve çevresindeki kat sayıları gök görüş oranı dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Çünkü küçük değerli gök görüş oranına sahip şehir kanyonları rüzgar hızını düşürerek sıcaklık ve kirlilik dağılımını etkilemektedir. Bunun yanında bina çatılarının uygun olanlarına çatı bahçelerinin yapılması, uygun olmayanlarının ise açık renkli veya refleksiyon özelliğine sahip malzemelerle kaplanması ŞIA genliğini düşürmektedir. Böylece gün boyu binaların radyasyon emmesi ve bunu güneş battıktan sonra atmosfere vermeleri engellenmiş olur. Bu da ŞIA genliğinin düşmesine neden olur. Örneğin Tokyo'da bina çatılarında bahçe yapılmasının sıcaklığın 0.8 °C azalmasını sağlayacağı, bunun da her gün 1.6 milyon dolarlık elektrik enerjisi tasarrufuna eşit olduğu hesaplanmıştır (Hien 2002).



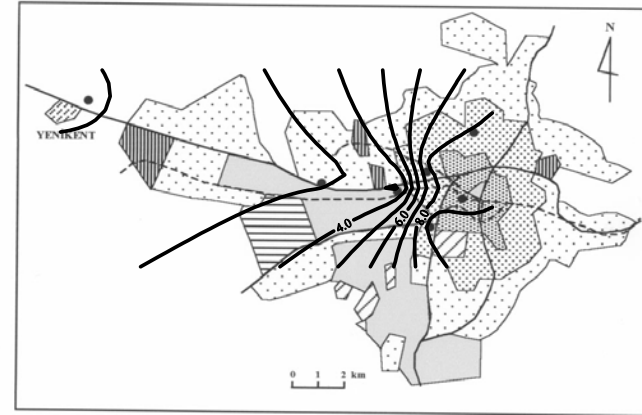
a) 19.02.2002 12:00



b) 19.02.2002 15:00

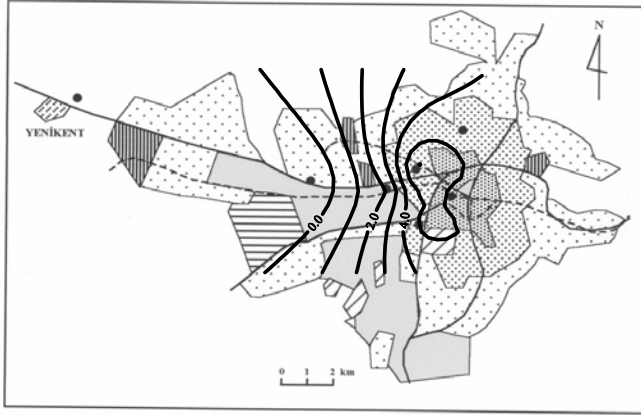


c) 19.02.2002 18:00

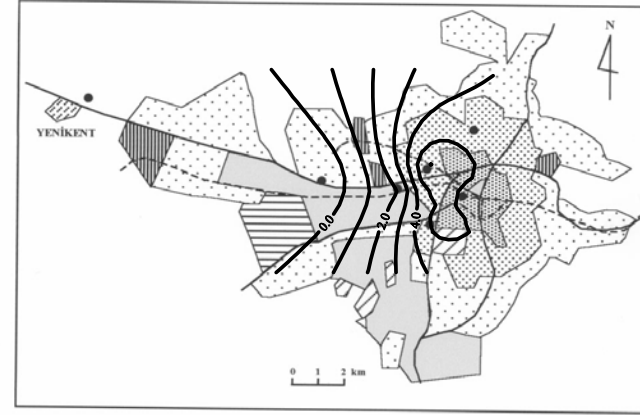


d) 19.02.2003 21:00

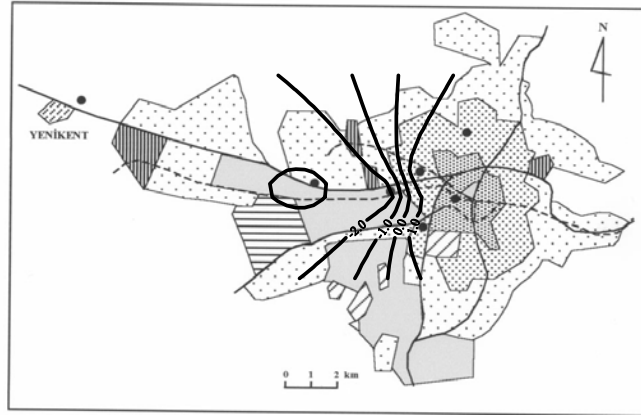
Şekil 8a. Ankara'da ŞIA'nın günlük değişimi (19-20 Şubat 2002). (İstasyonların isimleri ve özellikleri için Şekil 2 ve Çizelge 1'e bakınız).



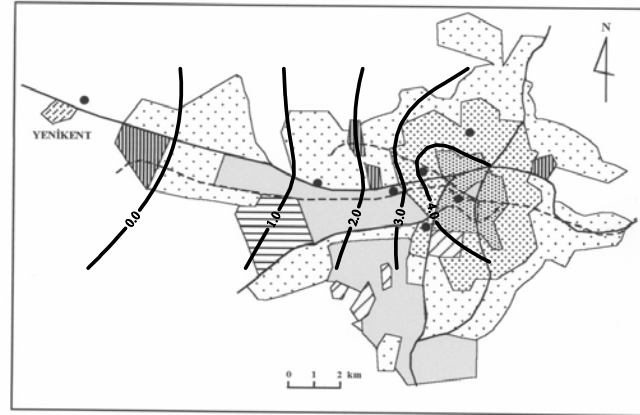
e) 20.02.2003 00:00



f) 20.02.2003 03:00



g) 20.02.2002 06:00



h) 20.02.2002 09:00

Şekil 8b. Ankara'da ŞİA'nın günlük değişimi (19-20 Şubat 2002). (İstasyonların isimleri ve özellikleri için Şekil 2 ve Çizelge 1'e bakınız).

Referanslar

- Akman, Y. (1990) *İklim ve Biyoiklim (Biyoiklim Metodları ve Türkiye İklimleri)*, Palme Yayınevi, 320 s.,Ankara.
- Arnfield, A.J. (2003) Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island, *International Journal of Climatology* 23. 1-26
- Asaeda T, Vu, T.C. (2000) Characteristics of Permeable Pavement During Hot Summer Weather and Impact on The Thermal Environment, *Building and Environment* 35, 363-375.
- Chandler, T.J. (1965) *The Climate of London*, Hutchinson, 292 s. Londra.
- Çiçek, İ. (1996) Thornthwaite metoduna göre Türkiye’de iklim tipleri, *Ank. Üniv., DTC. Fak., Coğ. Araş. Der.* 12:33-71.
- Çiçek İ., (2000) Türkiye’de termik dönemlerin yayılışı ve süreleri, *Ank. Üniv. DTC Fak., Fakülte Der. C:* 40:1-2:189-212.
- Çiçek, İ. 2003 The Statistical analysis of precipitation in Ankara, Turkey. *Fırat Üniv. Sos. Bil. Enst Derg.* 13:1, 1-20.
- Erol, O. 1976 Ankara şehrinin gelişiminde doğal koşulların etkisi, *Ankara Üniv. Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Yay.No:257*, 45-55.
- Grimmond, C.S.B., Potter, S.K., Zuttera, H.N., Souch, C. (2001) Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas, *Int. J. Climatol.* 21, 903-913.
- Jauregui, E (1997) Heat island development in Mexico City, *Atmospheric Environment* 31, 22, 3821-3831.
- Hien, W. N. (2002) Urban heat island effect: Sinking the heat, *Innovation* 3:2 16-18.
- Karaca, M., Tayanç, M., Toros, M. (1995a) Effects of urbanization on climate of Istanbul and Ankara, *Atmospheric Environment* 29, 23, 3411-3421.
- Karaca, M., Antepioğlu, Ü., Karsan, H. (1995b) Detection of urban heat island in Istanbul, Turkey, *Il Nuovo Cimento* 18, 1, 49-55.
- Karaca, M., Tayanç, M. (1998) Urbanization effects on the regional climate in Turkey, *Proceedings of Second European Climate Conference, 18-23 October 1998* Vienna.
- Klysik, K., Fortuniak, K. (1999) Temporal and spatial characteristics of the urban heat island of Lodz, Poland, *Atmospheric Environment* 33, 3885-3895.
- Landsberg, H.E. (1981) *The Urban Climate*, Academic Press, 275 s, New York.
- Oke, T.R., Yap, D., Maxwell, G.B. (1972) Comparison of urban/rural cooling rates at night, *Proceedings Int. Symp. On Environment and Second Conf. On Biometeor..American Meteor Soc. Boston* 17-21.
- Oke, T.R. (1973) City size and the urban heat island, *Atmospheric Environment* 7, 769-779.
- Oke, T.R. (1974) *Review of Urban Climatology 1968-1973*, WMO Tech Note No: 134, WMO No: 383 Cenova.
- Oke, T.R.(1976) Inadvertent modification of the city atmosphere and the prospects for planned urban climates, *Proceedings Of The WMO Symposium on Meteorology as Related to Urban and Regional Land-use Planning, Asheville, N.C., USA, 3-7 November 1975* WMO No:444 150-1175.
- Oke, T.R. (1979) *Review of Urban Climatology 1973-1976*, WMO Tech Note No: 169, WMO No: 539 Cenova.
- Oke. T.R. (198) Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observation, *J. Climatology* 1, 237-254
- Oke, T. R. (1987) *Boundary Layer Climates*, Routledge 435 s, New York.
- Oke, T.R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., Watson, I. D. (1991) Simulation of surface urban heat islands under “Ideal” conditions at Night Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary-Layer Meteorology* 56. 339-358
- Saito, I., Ishihara, O, Katayama. T. (1989) Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area, *Proceedings of The Fourth International Conference on “Urban Climate, Planning and Building”* Kyoto 493-498.
- Spronken-Smith, R.A, Oke, T.R.1999 Scale modeling of nocturnal cooling in urban parks, *Boundary-Layer* 93, 287-312.
- Tayanç, M., Karaca, M., Yenigün, O. 1997 Annual and seasonal air temperature trend patterns of climate change and urbanization effects in relation with air pollutants in Turkey, *Journal of Geophysical Research* 102 D2, 1909-1919
- Tayanç, M., Toros, H. 1997 Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey, *Climatic Change* 35, 501-524.