



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KENTSEL İSİ ADALARININ (KİA) UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE KONUMSAL OLARAK
MODELLENMESİ**

Harita Yük. Müh. Mustafa DİHKAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"DOKTOR (HARİTA MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 / 05 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 01 / 06 / 2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Fevzi KARSLI

Trabzon 2015

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında
Mustafa DİHKAN Tarafından Hazırlanan**

**KENTSEL ISI ADALARININ (KIA) UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE KONUMSAL
OLARAK MODELLENMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 12 /05/2015 gün ve 1602 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
DOKTORA TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Bülent BAYRAM

Üye : Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU

Üye : Doç. Dr. Fevzi KARSLI

Üye : Doç. Dr. Abdulaziz GÜNEROĞLU

Üye : Doç. Dr. Oğuz GÜNGÖR

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Kentsel ısı adalarının uydu görüntüleri ile konumsal olarak modellenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma TÜBİTAK 112Y038'nolu bilimsel araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Ayrıca, çalışmanın gerçekleştirilmesinde veri temini sürecinde katkılarını esirgemeyen; İstanbul Büyükşehir Belediyesi BİMTAŞ'a, Ankara, İzmir, Bursa, Trabzon, Gaziantep ve Erzurum Büyükşehir Belediye'lerine, Meteoroloji Genel Müdürlüğüne, Türkiye İstatistik Kurumu'na teşekkür ederim. Araştırmalarım süresince her türlü desteğini esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Fevzi KARSLI'ya ve özellikle çalışmalarımın ekolojik açıdan değerlendirilmesinde tez danışmanım gibi değerli emeklerini esirgemeyen Doç. Dr. Abdulaziz GÜNEROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Aynı şekilde değerli katkılarını aldığım diğer tez izleme jüri üyem, Doç. Dr. Oğuz GÜNGÖR'e de teşekkürü borç bilirim.

Öğrencilik ve akademik hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen, çok şey borçlu olduğum annem, babam ve kardeşim olmak üzere tüm aile fertlerime, özellikle bana sabır gösteren, güven ve desteğini esirgemeyen eşim Ayşe Betül DİHKAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa DİHKAN
Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kentsel Isı Adalarının (KIA) Uydu Görüntüleri İle Konumsal Olarak Modellenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Fevzi KARSLI’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

04/05/2015

Mustafa DİHKAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. Kentsel Isı Adası (KIA) Kavramı	3
1.4. Yüzey Enerji Dengesi.....	5
1.5. Kentsel Isı Adası Oluşumunu Etkileyen Faktörler	7
1.5.1. Arazi Örtüsü/Kullanımında Meydana Gelen Değişimler.....	7
1.5.1.1. Geçirimsiz Yüzeyler.....	8
1.5.1.2. Bitki Örtüsü.....	8
1.5.1.3. Su.....	9
1.5.1.4. Çıplak Toprak & Tarım Alanları	10
1.5.2. Nüfus.....	10
1.5.3. Kentsel Kanyon Etkisi.....	11
1.5.4. Rüzgâr Hızı.....	12
1.5.5. Topografya.....	13
1.5.6. Kirlilik.....	14
1.5.7. İnsan Kaynaklı Isı ve Enerji Kullanımı.....	15
1.6. Kentsel Isı Adası Türleri ve Tespit Yöntemleri	16
1.6.1. Atmosferik Kentsel Isı Adası	16
1.6.1.1. Sabit İstasyonlar.....	17

1.6.1.2.	Mobil Transekt Geçişler.....	18
1.6.1.3.	Dikey Algılama.....	19
1.6.2.	Yüzey Kentsel Isı Adası.....	21
1.7.	Uzaktan Algılama.....	23
1.7.1.	Atmosferik Etkileşimler.....	24
1.7.2.	Optik Uzaktan Algılama Sensörleri Tarafından Kaydedilen Radyasyon.....	25
1.7.2.1.	Görünür, Yakın ve Orta Kızılötesi Bölgede Kaydedilen Radyasyon ve Atmosferik Etkileşimler.....	29
1.7.2.2.	Termal Kızılötesi Bölgede Kaydedilen Radyasyon ve Atmosferik Etkileşimler.....	29
1.8.	Kentsel Isı Adası Etkisinin Modellenmesi.....	35
1.8.1.	Nümerik Modeller.....	35
1.8.2.	Deneyisel Modeller.....	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	40
2.1.	Çalışma Alanı.....	40
2.2.	Veri.....	44
2.2.1.	Uydu Verileri.....	44
2.2.2.	Yersel Meteorolojik Veriler.....	47
2.2.3.	Sosyo-Ekonomik Veriler.....	48
2.2.4.	Coğrafi Veriler.....	49
2.3.	Uydu Verilerinin Ön-İşlenmesi.....	49
2.3.1.	Geometrik Düzeltme.....	50
2.3.2.	Radyometrik Kalibrasyon.....	50
2.3.3.	Atmosferik Düzeltme.....	51
2.3.3.1.	Görünür, Yakın ve Orta Kızılötesi Bölge İçin Atmosferik Düzeltme.....	52
2.3.3.2.	Termal Atmosferik Düzeltme.....	53
2.4.	Arazi Örtüsü/Kullanım Verilerinin Üretilmesi.....	66
2.4.1.	Eğitim ve Test Veri Setlerinin Oluşturulması.....	67
2.4.2.	Görüntülerin DVM Algoritması Yardımıyla Sınıflandırılması.....	67
2.4.3.	Doğruluk Analizi.....	71
2.5.	Yüzey KIA Tespiti ve Karakterizasyonu.....	72
2.5.1.	Girdi Verilerinin ve Maskelerin Hazırlanması.....	73
2.5.2.	Kırsal Referans Sıcaklık Yüzeyinin Hesaplanması.....	76
2.5.3.	KIA Sıcaklık Yüzeyinin Hesaplanması.....	76

2.6.	CBS Ortamında Veri Setlerinin Düzenlenmesi ve Veritabanlarına Entegre Edilmesi.....	78
2.7.	Yüzey KIA Etkisinin Modellenmesi.....	89
2.8.	Atmosferik KIA Tespiti.....	91
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	93
3.1.	Yüzey KIA Etkisinin Tespiti ve Karakterizasyonu Sürecinde Elde Edilen Bulgular.....	93
3.2.	Yüzey KIA Etkisinin Modellenmesi Sürecinde Elde Edilen Bulgular.....	109
3.3.	Atmosferik KIA Etkisinin Tespiti Sürecinde Elde Edilen Bulgular.....	118
4.	TARTIŞMA.....	147
5.	SONUÇLAR.....	158
6.	ÖNERİLER.....	162
7.	KAYNAKLAR.....	164
ÖZGEÇMİŞ		

Doktora Tezi

ÖZET

KENTSEL ISI ADALARININ (KIA) UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE KONUMSAL OLARAK
MODELLENMESİ

Mustafa DİHKAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Fevzi KARSLI
2015, 178 Sayfa

Günümüzde nüfus yoğunluğuna bağlı olarak artan kentleşme çeşitli çevre sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu sorunların en önemlilerinden birisi de arazi örtüsü tiplerinin değişimidir. Artan geçirimsiz yüzey oranları kentsel alanlar ve yakın komşuluğundaki yerlerin mikroklima özelliklerinin değişimine neden olmaktadır. Bu durumun en önemli göstergelerinden birisi de “Kentsel Isı Adası (KIA)” olgusudur. KIA oluşumu, kentlerde yaşayan insanların sağlığını ve yaşam konforunu olumsuz yönde etkilemesinin yanında enerji tüketimini de arttırmaktadır. Gelişmiş ülkelerde bu yönleri ile ülke ekonomisi ve sürdürülebilir çevre olgusu üzerinde olumsuz etkilere sahip olan KIA varlığının tespiti, konumsal dağılımının belirlenmesi ve oluşumunu etkileyen faktörlerin modellenmesine yönelik çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Ülkemizde ise bu amaçlara yönelik az sayıda araştırma yapılmış ve bu çalışmalarda geleneksel teknikler kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında Türkiye için genel KIA karakteristiğinin ortaya koyulabilmesi amacıyla; kıyı ve iç bölgelerde seçilen İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Trabzon, Gaziantep ve Erzurum kentlerinde KIA etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla çalışmada ilk defa KIA şiddet ve konumsal yayılımı Streuker (2002) modeli modifiye edilerek kullanılmıştır. Bunun için, gündüz/gece dönemlerine ilişkin Uzaktan Algılanmış görüntüler üzerinden yüzey KIA etkisi tespit edilerek karakterize edilmiş ve 1984-2011 yılları arasındaki zamansal değişimi ortaya konmuştur. Ayrıca; her bir kent için çoklu regresyon analizleri kullanılarak yüzey KIA oluşumunda etkili faktörler belirlenmiş ve modellenmiştir. Bununla birlikte, çalışma kapsamında seçilen kentlerde mobil transekt geçişler yöntemiyle atmosferik KIA etkisi araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda; Türkiye’de seçilen kent merkezlerinin tamamında yüzey ve atmosferik KIA etkisinin mevcut olduğu, bu kentlerin önemli bir kısmında yüzey KIA etkisinin 1984-2011 zaman zarfında artış eğilimi gösterdiği anlaşılmıştır. Ayrıca, kentlerde meydana gelen yüzey KIA oluşumunun büyük oranda arazi örtüsündeki değişimler ve kentsel geometri üzerindeki insan kaynaklı etkilerden dolayı meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Isı Adası, Arazi Örtüsü/Kullanımı, Landsat TM, ASTER, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri

PhD. Thesis

SUMMARY

SPATIAL MODELING OF URBAN HEAT ISLANDS (UHI) BY USING SATELLITE IMAGES

Mustafa DİHKAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatics Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Fevzi KARSLI
2015, 178 Pages

Recently, urbanization rate has accelerated due to increasing population density which causes unexpected environmental disturbances and problems. One of the major problems encountered so far is the changing land use/cover (LULC) structure. Increasing impervious surface cover has changed microclimatic properties of the urbanized areas and their close vicinity by altering thermal characteristics of those regions. One of the most important problem that facing the urban planning today is the phenomena, known as Urban Heat Island (UHI) which is largely due to changing LULC character. There are many negative effects of the UHI such as deterioration human health, diminishing life quality and boosting household energy demand. Many developed countries have introduced new policies and efforts to mitigate of UHI effects by applying state of the art techniques for characterization, modeling and prediction of the UHIs. Unfortunately, there are very few studies in Turkey which are based on traditional old techniques related to modeling of the UHIs.

Therefore, in this study in order to depict a national picture of the UHI structure in Turkey, 7 cities which are İstanbul, Bursa, Ankara, İzmir, Gaziantep, Erzurum and Trabzon located in 7 different climatic regions of Turkey were studied for characterization of the UHI effect. For this purpose, the methodology proposed by Streuker (2002) was originally modified and used for the first time to model UHIs. Within this context, day and night time SUHI effect was modeled and temporally analyzed for the period of 1984-2011 for all cities mentioned above by using remote sensing techniques. Moreover, multiple regression technique was used for modeling the statistical relation of the UHIs and some environmental variables. Furthermore, atmospheric UHI was also investigated by using mobile transects method in studied cities. The findings from this study suggest that UHI is a major environmental problem in urbanized regions, both atmospheric and surface UHIs were detected in all cities covering the study area, the problem has been rapidly increasing from 1984 to 2011. Finally, it is concluded that the problem of the UHIs in studied urbanized regions in Turkey might be resulted from altered LULC structure as well as anthropogenic pressure and interference on city planning geometries.

Key Words: Urban Heat Island, Land Use/Cover, Landsat TM, ASTER, Remote Sensing, Geographical Information Systems

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Global ölçekte kent ve kırsal bölge nüfusu, 1950 - 2050 (United Nations, 2014).....	1
Şekil 2.	Mikro-ölçekte KIA gelişimine etkiyen faktörler (URL-1).....	5
Şekil 3.	KIA türleri ve tespit yöntemleri.....	16
Şekil 4.	Büyük bir kent için yaz mevsiminde iyi hava koşullarında (a) gündüz ve (b) gece dönemi kentsel sınır tabakasının termal karakterini gösteren potansiyel sıcaklık profilleri (Oke, 1982).....	21
Şekil 5.	Atmosferik geçirgenlik ve atmosferik pencereler (Tso ve Mather, 2009)....	24
Şekil 6.	Elektromanyetik spektrumun yansıtıcı bölgelerinde uzaktan algılama sensörünce kaydedilen en önemli radyasyon bileşenleri.....	26
Şekil 7.	Yatay düzlem üzerinde solar zenit (θ) ve sensör yönelim (ζ) açıları.....	27
Şekil 8.	Elektromanyetik spektrumun yayılım bölgesinde sensör tarafından kaydedilen radyasyon bileşenleri.....	31
Şekil 9.	Çalışma alanı olarak seçilen kentler.....	41
Şekil 10.	İstanbul kenti için; (a) 12.06.1984, (b) 15.06.1987, (c) 14.06.2002, (d) 12.06.2007, (e) 17.06.2009 ve (f) 23.06.2011 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları.....	57
Şekil 11.	Ankara kenti için; (a) 15.06.2010, (b) 12.06.2009, (c) 09.06.2002, (d) 08.06.1990, (e) 16.06.1987 ve (f) 07.06.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları.....	58
Şekil 12.	İzmir kenti için; (a) 16.07.2011, (b) 29.07.2010, (c) 23.07.2008, (d) 18.07.2006, (e) 26.07.2003, (f) 17.07.2000, (g) 30.07.1987 ve (h) 21.07.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları.....	59
Şekil 13.	Bursa kenti için; (a) 23.06.2011, (b) 17.06.2009, (c) 12.06.2007, (d) 14.06.2002, (e) 11.06.1995, (f) 18.07.1991, (g) 05.06.1987 ve (h) 12.06.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları.....	60
Şekil 14.	Trabzon kenti için; (a) 24.07.2011, (b) 06.08.2010, (c) 30.08.2007, (d) 11.08.2006, (e) 03.08.2003, (f) 21.08.1998, (g) 23.08.1987 ve (h) 14.08.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları.....	61
Şekil 15.	Gaziantep kenti için; (a) 16.08.2011, (b) 10.06.2010, (c) 01.05.2007, (d) 13.05.2000, (e) 11.05.2002, (f) 26.05.1987 ve (g) 20.05.1985 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları.....	62

Şekil 16.	Erzurum kenti için; (a) 01.07.2011, (b) 11.07.2009, (c) 06.07.2007, (d) 11.07.2003 (e) 27.06.1998, (f) 15.07.1987 ve (g) 06.07.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları.....	63
Şekil 17.	İstanbul kenti için; (a) 20.04.2005; (b) 04.04.2005; (c) 01.10.2004 ve (d) 18.10.2001 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları	64
Şekil 18.	Ankara kenti için; 13.03.2011 tarihine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritası.....	65
Şekil 19.	Bursa kenti için; (a) 24.06.2011 ve (b) 04.04.2005 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları.....	65
Şekil 20.	Trabzon kenti için; (a) 15.05.2012 ve (b) 26.09.2005 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları.....	65
Şekil 21.	Gaziantep kenti için; (a) 29.08.2013 ve (b) 19.03.2012 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları.....	66
Şekil 22.	Erzurum kenti için; (a) 17.05.2012, (b) 02.07.2011 ve (c) 08.02.2011 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları.....	66
Şekil 23.	Çalışma alanını oluşturan; (a) İstanbul, (b) Bursa, (c) Ankara, (d) Gaziantep, (e) İzmir, (f) Trabzon ve (g) Erzurum kentsel bölgeleri için üretilen arazi örtüsü/kullanım haritaları.....	70
Şekil 24.	Genel akış diyagramı.....	74
Şekil 25.	İstanbul kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S.....	80
Şekil 26.	Ankara kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S.....	81
Şekil 27.	İzmir kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S.....	81
Şekil 28.	Bursa kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S.....	82
Şekil 29.	Trabzon kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S.....	82
Şekil 30.	Gaziantep kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S.....	83
Şekil 31.	Erzurum kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S.....	83
Şekil 32.	Çalışma alanını oluşturan; (a) İstanbul, (b) Ankara, (c) İzmir, (d) Bursa, (e) Trabzon, (f) Gaziantep ve (g) Erzurum kentsel bölgeleri için üretilen ortama bina yüksekliği haritaları.....	85
Şekil 33.	Çalışma alanını oluşturan; (a) İstanbul, (b) Ankara, (c) İzmir, (d) Bursa, (e) Trabzon, (f) Gaziantep ve (g) Erzurum kentsel bölgeleri için üretilen nüfus yoğunluk haritaları.....	87

Şekil 34.	Çalışma alanını oluşturan; (a) İstanbul, (b) Ankara, (c) İzmir, (d) Bursa, (e) Trabzon, (f) Gaziantep ve (g) Erzurum kentsel bölgeleri için üretilen elektrik tüketim haritaları.....	88
Şekil 35.	İstanbul kenti yüzey KIA etkisi altında bulunan bölgelerde örnek noktalar ve veritabanı görünümü.....	90
Şekil 36.	İstanbul kenti için; (a) 23.06.2011, (b) 17.06.2009, (c) 12.06.2007, (d) 14.06.2002 ve (e) 15.06.1987 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları.....	94
Şekil 37.	Ankara kenti için; 13.03.2011 periyoduna ilişkin üretilen gece dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritası.....	96
Şekil 38.	İzmir kenti için; (a) 16.07.2011, (b) 29.07.2010, (c) 23.07.2008, (d) 18.07.2006, (e) 26.07.2003 ve (f) 17.07.2000 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları.....	98
Şekil 39.	Bursa kenti için; (a) 23.06.2011, (b) 17.06.2009, (c) 12.06.2007, (d) 14.06.2002, (e) 11.06.1995, (f) 18.07.1991, (g) 05.06.1987 ve (h) 12.06.1984 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları.....	102
Şekil 40.	Bursa kenti için; (a) 24.06.2011 ve (b) 04.04.2005 periyotlarına ilişkin üretilen gece dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları.....	103
Şekil 41.	Trabzon kenti için; (a) 24.07.2011, (b) 06.08.2010, (c) 30.08.2007, (d) 11.08.2006, (e) 21.08.1998, (f) 23.08.1987 ve (g) 14.08.1984 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları.....	105
Şekil 42.	Gaziantep kenti için; 19.03.2012 periyoduna ilişkin üretilen gece dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritası.....	107
Şekil 43.	Erzurum kenti için; (a) 01.07.2011, (b) 11.07.2009 ve (c) 06.07.2007 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları.....	108
Şekil 44.	İstanbul kenti 1-Asya ve 2-Avrupa alt çalışma bölgelerine ilişkin örnek nokta konumları.....	110
Şekil 45.	Ankara kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları.....	111
Şekil 46.	İzmir kenti 1-Güney, 2-Kuzey ve 3-Doğu alt çalışma bölgelerine ilişkin örnek nokta konumları.....	112
Şekil 47.	Bursa kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları.....	114
Şekil 48.	Trabzon kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları.....	115
Şekil 49.	Gaziantep kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları.....	116
Şekil 50.	Erzurum kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları.....	117
Şekil 51.	İstanbul kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları.....	118

Şekil 52.	İstanbul 1-Asya BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	120
Şekil 53.	İstanbul 2-Avrupa KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	121
Şekil 54.	Ankara kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları	122
Şekil 55.	Ankara KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	124
Şekil 56.	Ankara BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	125
Şekil 57.	İzmir kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları	126
Şekil 58.	İzmir KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	128
Şekil 59.	İzmir DB transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	129
Şekil 60.	Bursa kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları	130
Şekil 61.	Bursa KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	132
Şekil 62.	Bursa DB transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	133
Şekil 63.	Trabzon kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları	134
Şekil 64.	Trabzon DB transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	136
Şekil 65.	Trabzon BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	137
Şekil 66.	Trabzon KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	138
Şekil 67.	Gaziantep kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları	139
Şekil 68.	Gaziantep KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	141
Şekil 69.	Gaziantep BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	142
Şekil 70.	Erzurum kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları	143
Şekil 71.	Erzurum GK transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	145
Şekil 72.	Erzurum BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi	146

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Kentsel ortamda Dünya yüzeyinin enerji dengesini değiştiren ve KIA oluşumuna sebep olan çeşitli faktörler.....	7
Tablo 2.	Çalışma alanını oluşturan kent merkezlerine ilişkin görüntü verileri.....	46
Tablo 3.	Landsat TM ve ASTER spektral bant aralıkları ve konumsal çözünürlük değerleri.....	47
Tablo 4.	Sabit meteoroloji istasyonları.....	48
Tablo 5.	Yüzey KIA modellemesine yönelik seçilen görüntülere ilişkin hata matrisi ve test verilerine göre DVM sınıflandırma doğruluk düzeyleri.....	71
Tablo 6.	İstatistiksel analizlerde kullanılan arazi örtüsü/kullanım yoğunlukları metaverisi.....	80
Tablo 7.	İstanbul 1-Asya alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri.....	95
Tablo 8.	İstanbul 2-Avrupa alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri.....	95
Tablo 9.	Ankara kentsel çalışma bölgesine ilişkin gece yüzey KIA parametreleri.....	97
Tablo 10.	İzmir 1-Güney alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri.....	99
Tablo 11.	İzmir 2-Kuzey alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri.....	100
Tablo 12.	İzmir 3-Doğu alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri.....	100
Tablo 13.	Bursa kentsel çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri.....	103
Tablo 14.	Bursa kentsel çalışma bölgesine ilişkin gece yüzey KIA parametreleri.....	104
Tablo 15.	Trabzon kentsel çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri.....	106
Tablo 16.	Gaziantep kentsel çalışma bölgesine ilişkin gece yüzey KIA parametreleri.....	107
Tablo 17.	Erzurum kentsel çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri.....	109
Tablo 18.	İstanbul 1-Asya ve 2-Avrupa alt çalışma bölgeleri için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler.....	110
Tablo 19.	Ankara kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler.....	112
Tablo 20.	İzmir 1-Güney, 2-Kuzey ve 3-Doğu alt çalışma bölgeleri için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler.....	113
Tablo 21.	Bursa kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler.....	114

Tablo 22.	Trabzon kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler.....	115
Tablo 23.	Gaziantep kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler.....	116
Tablo 24.	Erzurum kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler.....	117
Tablo 25.	İstanbul 1-Asya BD ve 2-Avrupa KG güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri.....	119
Tablo 26.	Ankara KG ve DB güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri.....	123
Tablo 27.	İzmir KG ve DB güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri.....	127
Tablo 28.	Bursa KG ve DB güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri.....	131
Tablo 29.	Trabzon DB, BD ve KG güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri.....	135
Tablo 30.	Gaziantep KG ve BD güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri.....	140
Tablo 31.	Erzurum GK ve BD güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri.....	144
Tablo 32.	Yüzey KIA analiz sonuçları.....	158

SEMBOLLER DİZİNİ

ACCA	Automatic Cloud Cover Assessment
AOT	Aerosol Optik Geçirgenlik
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resulation Radiometer
AYS	Arazi Yüzey Sıcaklığı
BD	Batı – Doğu
BÖ	Bitki Örtüsü
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇTTA	Çıplak Toprak & Tarım Alanı
DB	Doğu - Batı
DÇB	Dörtgensel Çalışma Bölgesi
DN	Dijital Numara
DOS	Dark Object Subtraction
DVM	Destek Vektör Makineleri
EET	Elektrik Enerjisi Tüketimi
ETM+	Enhanced Thematic Mapper
GK	Güney – Kuzey
GLCF	Global Land Cover Facility
GPS	Global Positioning System
GY	Geçirimsiz Yüzey
HCMM	Heat Capacity Mapping Mission
IR	Kızılötesi
KBM	Kentsel Bölge Maskesi
KG	Kuzey – Güney
KGY	Kentsel Geçirimsiz Yüzey
KIA	Kentsel Isı Adası
KM	Kombinasyon Maskesi
KOH	Karesel Ortalama Hata
KS	Kişi Sayısı
LEDAPS	Landsat Ecosystem Disturbance Adaptive Processing System

LiDAR	Light Detection and Ranging
LPGS	Level 1 Product Generation System
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MM5	Fifth-Generation Mesoscale Model
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MODTRAN	Moderate Spectral Resolution Atmospheric Transmittance Algorithm and Computer Model
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDVI ^{THM}	NDVI Eşikler Metodu
NDWI	Normalize Edilmiş Su İndeksi
NN	Nispi Nem
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NT	Sıcaklık Anomalileri
NY	Nüfus Yoğunluğu
OBY	Ortalama Bina Yüksekliği
OLS	Ordinary Least Squares
RAMS	Regional Atmospheric Modeling System
S	Su
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TIMS	Thermal Infrared Multispectral Scanner
TES	Sıcaklık-Yayınrlık Ayırım Algoritması
TM	Tematic Mapper
TOA	Atmosferin En Üst Tabakası
TOMS	Total Ozon Mapping Spectroradiometer
TOVS	TIROS Operational Vertical Sounder
TUA	Termal Uzaktan Algılama
TUİK	Türkiye Ulusal İstatistik Kurumu
TUMAS	Türkiye Ulusal Meteoroloji Arşiv Sistemi
UA	Uzaktan Algılama
UTM	Universal Transerve Mercator
VIF	Varyans Etkileşim Faktörü
WGS84	World Geodetic System 1984
WRF	Weather Research and Forecasting Model

Q	Net Radyasyon
K	Kelvin
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
$K_{\downarrow}$	Yüzeye Gelen Solar Radyasyon
$K_{\uparrow}$	Yüzeyden Yansıyan Solar Radyasyon
α	Albedo
π	Pi Sabiti
W	Watt
nm	Nanometre
μm	Mikrometre
mm	Milimetre
m	Metre
km	Kilometre
$L_{\downarrow}$	Atmosferik Radyasyon
$L_{\uparrow}$	Yüzey Radyasyon
σ_s	Stefan-Boltzmann Oransal Sabiti [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$]
ε	Yüzeye İlişkin Spektral Yayınlılık Değeri
T_0	Yüzey Sıcaklığı
λ	Dalgaboyu
O_2	Oksijen
O_3	Ozon
CO_2	Karbondioksit
L_{λ}	Yüzeyden Yukarı Yönde Yayılan Radyans
L_{λ}^{su}	Doğrudan Yüzeyden Yansıyıp Sensör Tarafından Kaydedilen Yukarı Yönlü Solar Radyasyon Bileşeni
L_{λ}^{sd}	Atmosferden Aşağı Yönlü Saçıldıktan Sonra Yüzeyden Yansıyıp Tekrar Atmosferden Geçerek Sensör Tarafından Kaydedilen Solar Radyasyon Bileşeni
L_{λ}^{sp}	Atmosferden Yukarı Yönlü Saçılarak Yüzeye Ulaşmadan Geri Dönüp Sensör Tarafından Kaydedilen Solar Radyasyon Bileşeni
L_{λ}^e	Dünya Yüzeyinden Yayılan Ve Uzaktan Algılama Sensörleri Tarafından Kaydedilen Termal Radyasyon

L_{λ}^{eu}	Yüzeyden Yayılan ve Sensör Tarafından Kaydedilen Yukarı Yönlü Termal Radyasyon Bileşeni
L_{λ}^{ed}	Atmosferden Aşağı Yönlü Yayıldıktan Sonra Yüzeyden Yansıyıp Tekrar Atmosferden Geçerek Sensör Tarafından Kaydedilen Termal Radyasyon Bileşeni
L_{λ}^{ep}	Atmosferden Yukarı Yönlü Yayılarak Sensör Tarafından Kaydedilen Termal Radyasyon Bileşeni
a_{λ}	Lineer Kestirim Katsayısı
b_{λ}	Lineer Kestirim Katsayısı
T_b	Siyah Cisim Kabulüne Göre TOA Parlaklık Sıcaklığı
M_{λ}	Atmosferden Yayılan Spektral Radyant Miktarı [$Wm^{-2}\mu m^{-1}$],
E_{λ}	Spektral İrradyans
E_{λ}^0	Ekzoatmosferik Solar İrradyans
T_s	Atmosferik Solar Yol (Path) Geçirgenliği
T_v	Atmosferik Görüş Yolu Geçirgenliği
T_{R+A}	Rayligh ve Aerosol Kaynaklı Geçirgenlik Değeri
θ	Solar Zenit Açısı
ζ	Sensör Yönelim Açısı
ρ	Spektral Yansıtım Değeri
ρ_{TOA}	TOA Spektral Yansıtım Değeri
ρ_{R+A}	Rayligh ve Aerosol Kaynaklı Atmosferik İçsel Yansıtım Değeri
ρ_s	Yüzey Spektral Yansıtım Değeri
Q_{cal}	Kalibre Edilmiş Piksel Değeri [DN]
G	Bant için özel gain faktörü [$W/m^2sr^1\mu m^1/DN$]
B	Band için özel bias faktörü [$W/m^2sr^1\mu m^1$]
d	Dünya – Güneş Arası Mesafe
S_{R+A}	Rayligh ve Aerosol Kaynaklı Küresel Albedo Değeri
τ_6	Landsat TM Bant 6'ya İlişkin Dalga Boyu Aralıklarındaki Atmosferik Geçirgenlik
T_{atm}	Efektif Ortalama Atmosferik Sıcaklık
T_y	Yakın Yüzey Hava Sıcaklığı
Gd	Genel Doğruluk

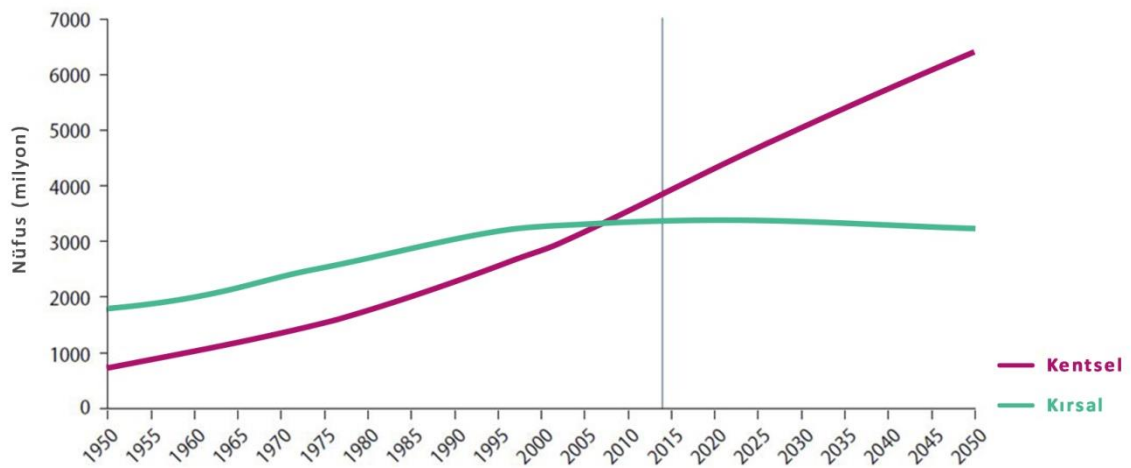
Kd	Kullanıcı Doğruluğu
$\ddot{U}d$	Üretici Doğruluğu
T_{KIRSAL}	Kırsal Referans Sıcaklık Yüzeyi
T_{YKIA}	Yüzey KIA Sıcaklık Yüzeyi
T_{k0}	Kırsal Bölge İçin Ortalama Yüzey Sıcaklığı
a_0	Kentsel Isı Adasına İlişkin Genlik Değeri
x_0, y_0	Kentsel Isı Adası Merkez Konumu
a_x, a_y	x ve y Yönünde Kentsel Isı Adası Konumsal Yayılımı
ϕ	Kentsel Isı Adasına İlişkin Yönelim Açısı
NT	Yüzey KIA Yoğunluk Değerleri
$\hat{O}$	Çoklu Regresyon Rastgele Hata Terimi
p	Olasılık Parametresi
R^2	Belirleyicilik Katsayısı
5S	Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum
6S	Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ekolojik açıdan dünya milyarlarca yıldır oluşan bir denge ile varlığını sürdürmektedir. Ancak son yüzyılda artan nüfus ve gelişen teknolojilerin etkisi ile mevcut ekolojik denge sürdürülebilir olmaktan çıkmıştır. Bu durumu iklim değişiklikleri, küresel ısınma ve artan zararlı atmosferik gaz emisyonları da doğrulamaktadır. Küresel iklim değişimi her ne kadar doğal süreçlerin etkisinde olsa da, elde edilen bilimsel veriler insan kaynaklı etkilerinde bu değişimlerde önemli rol oynadığını göstermiştir. İnsan kaynaklı etkiler başta fosil yakıtlardan kaynaklanan karbondioksit miktarındaki artış olmak üzere, ormansızlaşma, artan nüfusa ve kentleşmeye bağlı geçirimsiz yüzeylerin artışı şeklinde ortaya çıkmaktadır. Günümüzde hızla artmaya devam eden kentleşme ve sanayileşme faaliyetleri insanların yaşam konforunu önemli ölçüde arttırmasına rağmen önemli olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir.

Global ölçekte değerlendirildiğinde 1950’li yıllarda dünya nüfusunun % 30’u kentsel alanlarda yaşıyorken bu oranın günümüzde %54 düzeyine ulaştığı ortaya koyulmuştur (Şekil 1) (United Nations, 2014).



Şekil 1. Global ölçekte kent ve kırsal bölge nüfusu, 1950 – 2050 (United Nations, 2014)

Geleceğe yönelik yapılan projeksiyonlarda ise bu artış eğiliminin devam edeceği ifade edilmektedir. Nispeten kısa bir dönemde gerçekleşen bu hızlı nüfus hareketi, artan nüfus yoğunluğu ile birlikte kentsel alanların arazi örtüsü ve arazi kullanım karakterini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu durum bitki örtüsüne, topografyaya, su kaynaklarına ve bunlara ilişkin drenaj şekillerine yapılan insan müdahaleleri sonucu doğal yüzeylerin yerini sentetik yapı malzemelerinin yoğun olarak kullanıldığı geçirimsiz yüzeylere bırakmasına yol açmaktadır. Bu değişim süreçleri; kentsel bölgelerde yüzeydeki buharlaşma kapasitesinin düşmesine, yüzeylerin ısı enerjisini tutma, yansıtım ve yayım gibi termal ve radyatif özelliklerinin kendisini çevreleyen kırsal alanlara göre farklılaşmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda yüzey enerji dengesini de değiştirebilmelerinden dolayı bölgesel iklim değişiminin temel sebeplerinden olan bu etkileşimler sonucunda kentsel bölgelerde kendine has bir mikro-iklim meydana gelmektedir. Söz konusu kentsel iklim sisteminin etkileri yaklaşık 200 yıldır ilgi çeken bir araştırma konusu olmuş ve kentsel bölgelerin kendilerini çevreleyen kırsal bölgelerden daha sıcak olduğu ortaya koyulmuştur (Howard, 1833). Nüfusu bir milyondan fazla olan bir şehrin yıllık ortalama sıcaklık değerinin çevresindeki kırsal alanlardan 1-3 °C fazla olabileceği ve bu sıcaklık farkının rüzgârsız, açık gökyüzü koşullarında 12 °C değerlerine kadar ulaşabileceği tespit edilmiştir (Oke, 1982). Bu olay literatürde Kentsel Isı Adası (KIA) kavramı ile açıklanmaktadır. KIA etkisi altında bulunan bir kentte sıcaklık değerlerindeki artış; kent morfolojisinin etkisi ile azalan rüzgar hızları, hava kirliliğinin etkisi ile azalan sirkülasyon kaynaklı soğuma ve güneşlenme oranı gibi meteorolojik parametreler ile de doğrudan ilişkilidir. Kentsel bölgelerde yaşayan milyonlarca insanı doğrudan etkileyebilen KIA:

- Artan sıcaklık değerleri sebebiyle binaların soğutulması için tüketilen enerji miktarının artması ve bu durumun ekonomi üzerindeki olumsuz etkisi,
- Aşırı sıcak sebebiyle insanların yaşam konforunu ve kalitesini olumsuz yönde etkilemesi ve çeşitli sağlık problemlerine yol açması,
- Kentlerin doğal flora-fauna yapısının bozulması sonucu turistik ve sosyal çekiciliğini kaybetmesi,

gibi başlıca negatif etkilere sahiptir. Bu sebeple literatürde KIA varlığının tespiti, karakterizasyonu, modellenmesi ve etkisinin azaltılmasına yönelik birçok araştırma yapılmıştır (Arnfield, 2003).

1.2. Çalışmanın Amacı

Türkiye son yüzyılda ekonomik sebeplerden dolayı kırsal bölgelerden büyük kent merkezlerine göç akımlarının yoğun olarak gerçekleştiği bir süreç yaşamaktadır. Bu durum çeşitli kent merkezlerinin nüfuslarının öngörülemeyen bir biçimde artmasına sebep olmuştur. Bu öngörülemeyen nüfus artışı aynı zamanda kentsel bölgelerin gecekondulaşma faaliyetleri ile de birleşerek plansız ve çarpık kentleşmesine yol açmıştır. Bu durum özellikle büyük şehirlerde yeşil bitki örtüsünün oldukça azalmasına ve geçirimsiz yüzeylerin de kontrolsüzce bir o kadar artmasına neden olmuştur. Bu sebeplerden dolayı Türkiye’de büyük kentlerde KIA oluşumu beklenen bir durumdur. Bu çalışmada Türkiye için genel KIA karakteristiğinin yüksek oranda temsil edilebilirliği amacıyla; kıyı ve iç bölgelerde seçilen kentlerde:

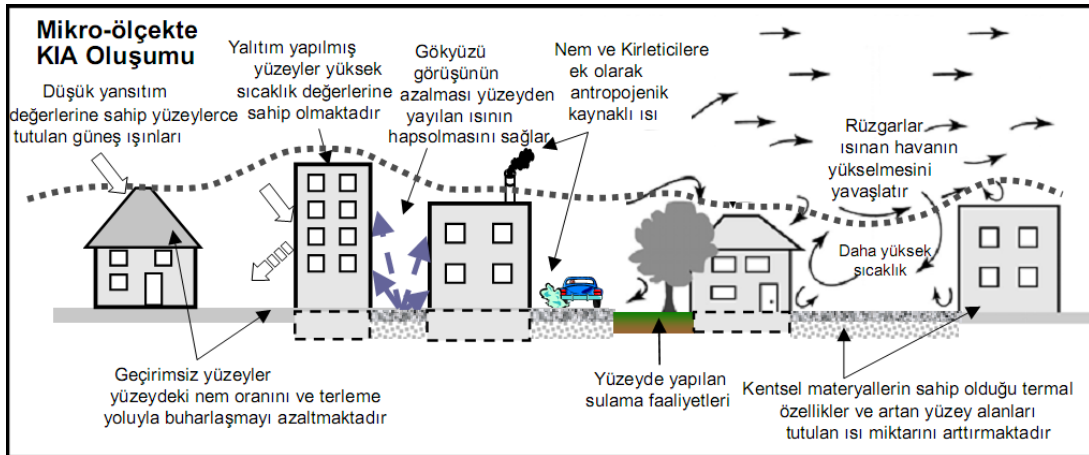
- ✓ Uzaktan Algılama (UA) teknikleri yardımı ile yüksek konumsal çözünürlüklü termal uydu görüntüleri üzerinden KIA varlığını tespit ve karakterize edebilen bir yaklaşım geliştirilmesi,
- ✓ 1984 - 2011 tarihleri arasında seçilen periyotlarda KIA etkisinin karakterize edilmesi, zamansal değişiminin araştırılması ve yoğunluk haritalarının üretilmesi,
- ✓ KIA etkisinin modellenmesinde gerekli olan konumsal veri tabanlarının oluşturulması,
- ✓ Çoklu regresyon analizleri kullanılarak; KIA yoğunluk değerleri ile KIA oluşumuna etkileyen diğer veri türleri arasındaki istatistiksel modellerin kurulması,
- ✓ Kentsel çalışma bölgelerinde Atmosferik KIA etkisinin araştırılması gibi amaçlar gerçekleştirilmiştir.

1.3. Kentsel Isı Adası (KIA) Kavramı

Günümüzde KIA kavramı insan kaynaklı bölgesel iklim değişiminin en önemli göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Streutker 2003). Kentsel alanların etrafındaki kırsal bölgelerden daha sıcak olduğu bilimsel olarak ilk kez Howard (1833) tarafından Londra kentinde araştırılmış ve ortaya koyulmuştur. Literatürde KIA etkisi olarak tanımlanan bu durumun sebepleri ve kentsel ortamda meydana getirdiği sonuçları

önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu amaçla dünya genelinde önemli kent merkezlerinde; Fairbanks, Alaska (Magee vd., 1999); Granada, İspanya (Montavez vd., 2000); Tel-Aviv, İsrail (Saaroni vd. 2000); Atina, Yunanistan (Livada vd. 2002); Seul, Güney Kore (Kim ve Baik 2005); Madrid, İspanya (Sobrino vd. 2013) gibi birçok araştırmada KIA etkisinin nedenleri ve sonuçları irdelenmiştir.

Kentsel bölgeler; nüfus yoğunluğu, sosyo-ekonomik organizasyonlar ve doğal çevrenin yapılaşmış çevreye dönüşümü gibi bileşenlerin bir araya gelerek meydana getirdiği karakteristik özelliklerce tanımlanan bölgelerdir. Bu bölgelerde yüzeyleri oluşturan çeşitli yapı malzemeleri, kırsal bölgelerdeki yüzeylere nazaran yüksek ısı tutucu özellikleri ve düşük solar yansıtım değerleri (örn. asfalt ve beton) sebebiyle güneş kaynaklı ısıyı daha fazla absorbe edebilmekte ve daha uzun süre bünyesinde tutabilmektedir (Rodgers vd., 2001). Gündüz boyunca kentsel materyallerin bünyesinde tutulan bu ısı enerjisi akşam saatlerinde tekrar kentsel ortama yayılmaya başlar. Bununla birlikte kentsel dokuda özellikle yüksek binaların ve sokakların meydana getirdiği kanyon etkisi rüzgâr hızını azaltarak türbülansı düşürür ve uzun dalga boyunda meydana gelmesi beklenen radyatif ısı kaybını azaltır. Ayrıca kırsaldaki doğal yeşil yüzeylerin yerini kuru ve geçirimsiz yüzeylerin alması sebebi ile buharlaşma yoluyla meydana gelen gizli ısı kaybında da azalma meydana gelir. Tüm bunlara ek olarak doğrudan insan kaynaklı aktiviteler (örn. motorlu araçlar ve fosil yakıtların yanması) sonucu da ortama ısı yayılımı gerçekleşir. Kent yüzeyinde ve atmosferinde meydana gelen tüm bu iklimsel olayların yüzey enerji dengesini değiştirmesi sonucunda kentsel ortamda yüksek sıcaklık değerleri ve KIA meydana gelmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Mikro-ölçekte KIA gelişimine etkiyen faktörler (URL-1)

1.4. Yüzey Enerji Dengesi

Kentsel ortamların ısınma sürecinin açıklanabilmesi için yüzey enerji dengesi kavramının anlaşılması ve yüzey enerji dengesi eşitliğinin kentsel yüzeyler için çözümlenmesi gereklidir. Termodinamiğin temel kuralına göre enerji hiçbir zaman yok olmamaktadır. Bu kuraldan hareketle Dünya üzerinde herhangi bir yüzeye radyasyon yoluyla veya insan kaynaklı olarak gelen ve absorbe edilen tüm enerji iki farklı duruma sebep olabilir; (a) yüzeyin üstündeki havayı ısıtarak (hissedilir ısı akısı) veya yüzeydeki nem sayesinde buharlaşmaya yol açarak (gizli ısı akısı) başka bir ortama transfer olabilir (b) yüzeyi oluşturan materyalin bünyesinde ısı enerjisi olarak depolanabilir (Oke, 1982). Tüm bu etkileşimler arasındaki denge (1) eşitliğinde yüzey enerji dengesi eşitliği ile ifade edilmektedir.

$$\text{Konveksiyon+Buharlaşma+Isı Depolama=Net Radyasyon+İnsan Kaynaklı Isı} \quad (1)$$

Eşitliği oluşturan kavramlar açıklanacak olursa:

Konveksiyon: Enerjinin katı bir yüzeyden sıvı veya gaz haldeki bir akışkana geçmesi olayıdır. (1) eşitliğinde bu durum ısı enerjisinin Dünya yüzeyinden kendisi ile temas halindeki havaya geçmesini ifade etmektedir. Atmosferik konveksiyon, yüzey ve hava sıcaklıkları farkının fazla olduğu durumda, rüzgar hızının artması ile birlikte ve türbülans etkisinin yüksek olduğu yerlerde artış gösterir.

Buharlaşma: Nemli veya ıslak yüzeylerin çeşitli kaynaklardan gelen enerji ile ısınması sonucu su buharı oluşması ve atmosfere yükselmesi olayıdır. Bu esnada Dünya yüzeyinden önemli oranda ısı enerjisi transferi gerçekleşir. Bu olay aynı zamanda özellikle bitkiler için çok önemli olan evapotranspirasyon sürecini de içerir. Buharlaşma ve evapotranspirasyon düzeyi ortamda nem miktarının ve rüzgar hızının fazla olduğu durumlarda artış gösterir.

Isı Depolama: Yüzeyi oluşturan materyallere ait iki termal özelliğe bağlı olarak değişir. Bu özellikler *termal iletkenlik* ve *ısı kapasitesi* olarak ifade edilebilir. Termal iletkenliği yüksek materyaller ısı enerjisini hızlı bir biçimde bünyelerine alabilirler. Isı kapasitesi ise materyalin birim kütlesinde tutabileceği ısı enerjisi miktarını ifade etmektedir. Dünya yüzeyine ilişkin materyallerin ısı depolama kapasitesi arttıkça sıcaklık değerleri yükselir.

İnsan Kaynaklı Isı: Yüzey enerji dengesi içinde insanlardan, makinelerden, çeşitli inşa, ısıtma ve soğutma faaliyetlerinden ortaya çıkan enerji bileşenidir.

Net Radyasyon (Q^*): Dünya yüzeyinde dört farklı radyasyon bileşeninin bir araya gelmesi net radyasyon miktarını oluşturmakta olup eşitlik (2)'de ifade edilmiştir (Oke, 1982).

$$Q^* = K_{\downarrow} - K_{\uparrow} + L_{\downarrow} - L_{\uparrow} \quad (2)$$

Eşitlikte;

Gelen Solar Radyasyon ($K_{\downarrow}$): Güneşten yayılan toplam kısa dalga radyasyon miktarıdır. Mevsimlere, günün saatine, atmosferik koşullara ve bulut miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Yüzeyden Yansıyan Solar Radyasyon ($K_{\uparrow}$): Yüzeye gelen solar radyasyonun yüzey materyalinin yansıtma gücüne (albedo (α)) bağlı olarak geri yansıyan kısa dalga radyasyon miktarını ifade etmektedir (3). Parlak yüzey materyalleri gelen enerjinin önemli bir kısmını geri yansıtırken, koyu yüzey materyallerinde bu oran oldukça azdır.

$$K_{\uparrow} = K_{\downarrow}(\alpha) \quad (3)$$

Atmosferik Radyasyon ($L_{\downarrow}$): Atmosfer bünyesinde bulunan su buharı, toz ve çeşitli kirleticiler tarafından yayılan uzun dalga radyasyon miktarını ifade etmektedir.

Yüzey Radyasyon ($L_{\uparrow}$): Yüzeyin kendisi tarafından yayılan veya kendisinden yansıyan uzun dalga radyasyon miktarını ifade etmektedir. Yüzeyi kaplayan materyal ile çevresi arasındaki sıcaklık farkı ile doğrudan ilişkilidir.

$$L_{\uparrow} = \epsilon \sigma_s T_0^4 + (1-\epsilon)L_{\downarrow} \quad (4)$$

Eşitlikte; σ_s , Stefan-Boltzmann oransal sabitini ($5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$); ϵ , yayınlılık değerini; T_0 , yüzey sıcaklığını ifade etmektedir.

Kentsel bölgelerde yukarıda ifade edilen değişkenlerde meydana gelen çeşitli değişimler, kentsel yüzeylerde enerji dengesinin kırsal yüzeylere göre farklılaşmasına neden olarak KIA etkisinin oluşumunda çok önemli rol oynarlar.

1.5. Kentsel Isı Adası Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Kentsel bölgelerde birçok sosyo-ekonomik, coğrafi ve iklimsel faktör bir araya gelerek yüzey enerji dengesi bileşenlerini değiştirebilmekte ve bu bölgelerin ısınmasına sebep olarak KIA etkisine yol açmaktadır. Bu faktörlerin etkisi ile kentsel ortamda meydana gelen çeşitli değişimler ve yüzey enerji dengesi bileşenleri arasındaki ilişkiler Tablo 1’de özetlenmiştir. Bu faktörlerin meydana getirdiği fiziksel etkiler birer değişken olarak düşünüldüğünde, bu değişkenlerden yüzey enerji dengesi bileşenlerine pozitif veya negatif yönde etkisi olup olmadığının irdelenmesi ve KIA oluşumu ile ilişkisinin ortaya koyulması oldukça önemlidir (Giridharan vd., 2004). Bu sayede ilgili kentte KIA etkisini azaltabilmek veya ortadan kaldırabilmek için hangi değişkene ne oranda müdahale edilmesi gerektiği tespit edilerek doğru müdahalelerde bulunulabilecektir.

Kentsel ortam düşünüldüğünde; söz konusu sosyo-ekonomik, coğrafi ve iklimsel faktörler; arazi örtüsü/kullanımında meydana gelen değişimler, nüfus artışı, kanyon etkisi, rüzgar hızının azalması, kirlilik, insan kaynaklı ısı ve enerji kullanımında artış olarak ifade edilebilir.

Tablo 1. Kentsel ortamda Dünya yüzeyinin enerji dengesini değiştiren ve KIA oluşumuna sebep olan çeşitli faktörler

KIA oluşumuna sebep olan faktörler	Yüzey enerji dengesi üzerindeki etkileri
Vejetasyon eksikliği	Buharlaşma düzeyini azaltır
Geçirimsiz yüzeylerin yoğun olarak kullanımı	Buharlaşma düzeyini azaltır
Kentsel materyallerin termal yayınganlık artışı	Isı depolama kapasitesini artırır
Kentsel materyallerin düşük solar yansıtım düzeyi	Net radyasyon miktarını artırır
Kentsel geometrinin ısı tutucu tasarımı	Net radyasyon miktarını artırır
Kentsel geometrinin rüzgar hızını düşürücü tasarımı	Konveksiyon miktarını azaltır
Artan hava kirliliği	Net radyasyon miktarını artırır
Artan enerji kullanımı	İnsan kaynaklı ısı miktarını artırır

1.5.1. Arazi Örtüsü/Kullanımında Meydana Gelen Değişimler

Kentsel bölgelerde KIA oluşumunda etkisi olan faktörlerin başında arazi örtüsü/kullanım biçimlerinin yoğun inşaa faaliyetleri ile birlikte değiştirilmesi gelmektedir (Shudo vd., 1997; Weng, 2003). Bu sebeple kentsel yüzeyi oluşturan; Geçirimsiz Yüzey

(GY), Bitki Örtüsü (BÖ), Çıplak Toprak & Tarım Alanı (ÇTTA) ve Su (S) olmak üzere dört temel arazi kullanım sınıfında meydana gelen değişimlerin KIA oluşumu üzerindeki etkileri bu bölümde ifade edilecektir.

1.5.1.1. Geçirimsiz Yüzeyler

Günümüzde kentsel bölgelerde artan nüfus yoğunluğu ile birlikte geçirimsiz yüzeylerle kaplı alanlar (binalar, yollar, çeşitli park alanları, çatılar, vb.) hızla artmaktadır. Geçirimsiz yüzeyleri oluşturan materyaller (asfalt, beton, metal, vb.) radyatif özellikleri sebebiyle kendilerine ulaşan kısa dalga solar radyasyonun doğal kırsal yüzeyleri oluşturan materyallere nazaran daha azını geriye yansıtırlar (Oke, 1987, Asaeda ve Ca, 1993). Kentsel yüzeyde yansıtılmayıp absorbe edilen radyasyon, gün boyunca net radyasyon miktarının artmasına sebep olur (Sailor ve Fan, 2002). Bununla birlikte özellikle beton ve metal gibi geçirimsiz yüzeylerde yaygın olarak kullanılan bileşenler, doğal kırsal yüzeyleri oluşturan materyallerden daha düşük termal yayınlılık değerlerine sahiptirler. Termal yayınlılık değeri materyalin bünyesinden ısı kaybetme kabiliyeti olarak düşünüldüğünde bu durumun kentsel yüzeylerdeki net radyasyon seviyesinde artışa sebep olabileceği ifade edilebilir. Ayrıca, geçirimsiz yüzeyler üzerlerindeki suyu hızla drene ederek yüzeyi kurutup iç tabakalara suyun nüfuz etmesini engelleyerek evapotranspirasyon için gerekli su miktarının azalmasına sebep olurlar (Oke ve Cleugh, 1987; Grimmond ve Oke, 1991). Dolayısıyla geçirimsiz yüzeyler gelen radyasyonun hissedilir ısı akısına dönüşmesini sağlarlar. Geçirimsiz yüzeyler, tüm bu ifade edilen radyatif ve termal özellikleri sebebiyle kentsel bölgelerde yüzey enerji dengesinin kırsala göre değişmesine sebep olarak KIA etkisinin ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadırlar (Chudnovsky vd., 2004).

1.5.1.2. Bitki Örtüsü

Kentsel bölgelerde artan geçirimsiz yüzeyler ile birlikte azalan bitki örtüsü ile kaplı yüzeyler sahip oldukları radyatif ve termal özellikleriyle yüzey enerji dengesi üzerinde önemli oranda etkilidirler (Weng vd., 2004). Bitki örtüsü ile kaplı yüzeyler, evapotranspirasyon sebebi ile gelen radyasyonu büyük oranda gizli ısı akısına dönüştürebilmekte ve hissedilir ısı akısının oldukça düşük miktarlarda kalmasına yol

açmaktadırlar (Taha, 1997; Ca vd., 1998). Gizli ısı akısı sayesinde tüketilen ısı enerjisi yüzeyin serin kalmasına sebep olur (Spronken-Smith ve Oke, 1998). Ayrıca yüksek bitki örtüsü özellikle kentsel bölgelerde oluşturduğu gölgelik etkisi sayesinde; bina yüzeyleri, çatılar, pencereler, vb. geçirimsiz yüzeylere gelen kısa dalga solar radyasyon miktarını azaltarak yüzeydeki net radyasyon miktarını etkileyebilmektedirler (Dimoudi ve Nikolopoulou, 2003). Bununla birlikte bitki örtüsü, kentsel bölgelerde insan kaynaklı olarak üretilen çeşitli kirletici gazları temizleyerek net radyasyon miktarının artmasına engel olabilmektedir (Rao vd., 2007). Bitki örtüsü ile kaplı yüzeyler bu özelliklerinden dolayı doğal kırsal yüzeylerde yüzey enerji dengesini oluşturan en önemli bileşenlerden birisidir. Dolayısıyla kentsel bölgelerde kırsal ile yüzey enerji dengesi farklılığının ve KIA etkisinin azaltılması amaçlandığında bitki örtüsü önemli bir değişken olarak kullanılabilir (McPherson ve Simpson, 2003).

1.5.1.3. Su

Su kitleleri; sahip oldukları dinamik ve termal özellikleri sebebi ile enerjinin saklanması ve taşınması açısından oldukça önemlidirler. Özellikle hava/su ara yüzünün karmaşık fiziksel yapısından dolayı ısı enerjisinin sudaki transferi hem konveksiyon ve radyasyon hem de konveksiyon ve adveksiyon yoluyla gerçekleşebilmektedir. Bu durum su yüzeylerin harika bir absorbe karakterine sahip olmasına rağmen aynı zamanda oldukça az termal yansıtım düzeyine sahip olmasını da beraberinde getirmektedir. Bu özellikleri sebebiyle su yüzeyleri yüksek termal durağanlık gösterirler ve yaz aylarında oldukça yavaş ısınırlar (Weng vd., 2004). Bununla birlikte su kitlesi küçüldükçe ve derinliği azaldıkça termal durağanlık da azalmaktadır.

Kentsel bölgelerde atmosferik enerji dengesinin sağlanmasında hidrolojik döngünün oldukça önemli bir rolü vardır (Oke vd., 1999). Açık su yüzeylerinde (nehirler, göller, barajlar, vb.) buharlaşma ve bitkilerde terleme için evapotranspirasyon sürecinde tüketilen enerji yüzey enerji dengesinin oluşmasında oldukça önemlidir (Oke, 1987). Bu sebeple ifade edilen tüm bu özellikleri sayesinde su ile kaplı yüzeyler KIA etkisinin oluşumu ve etkisinin azaltılması sürecinde önemli bir değişken olarak değerlendirilebilmektedir.

1.5.1.4. Çıplak Toprak & Tarım Alanları

Kentsel bölgeler ile kırsal bölgeler arasında kalan yarı-kentsel bölgelerde çoğu zaman geçirimsiz yüzeylerin yanı sıra, çıplak toprak & tarım alanları ve bitki örtüsü ile kaplı yüzeyler arazi kullanım karakterini oluşturmaktadır. Bu sebeple çıplak toprak & tarım alanları ile kaplı yüzeyler, kırsal enerji dengesi üzerindeki kadar olmamakla birlikte kentsel enerji dengesi üzerinde de etkili olabilmektedir. Toprak yüzeyler radyatif özellikleri sayesinde özellikle yaz aylarında gün içinde gelen kısa dalga solar radyasyonu hissedilir ısı akısına dönüştürerek net radyasyon miktarının artmasına yol açmaktadırlar. Ayrıca özellikle geceleri evapotranspirasyon yolu ile de gizli ısı akısına sebep olarak enerji dengesi üzerinde etkili olabilmektedirler. Bu iki durumda da toprak yüzeylerin doğal yapısı ve bünyelerinde bulunan nem miktarı enerji değişim süreçlerini önemli oranda etkileyebilmektedir (Asaeda ve Ca, 1993). Örneğin, tamamen ıslak toprak yüzeylerde nemli toprak yüzeylere nazaran uygun koşullarda (yeterli enerji varlığı) %80 daha fazla evapotranspirasyon süreci meydana gelebilmektedir (Oke, 1982). Dolayısıyla özellikle yarı-kentsel bölgelerde yüzey enerji dengesi üzerindeki etkisi sebebiyle çıplak toprak & tarım alanları ile kaplı yüzeyler KIA etkisinin oluşum sürecinde bir değişken olarak hesaba katılmalıdır.

1.5.2. Nüfus

Hiç şüphesiz kentsel nüfus artışı Bölüm 1.5.1’de ifade edilmiş olan ve kentsel bölgelerde enerji dengesini yoğun olarak etkileyen arazi örtüsü\kullanım değişimlerinin tümü ile ilişkilidir. Ayrıca enerji dengesi içinde bir diğer önemli bileşen olan insan kaynaklı ısı akısında meydana gelen artış üzerinde önemli oranda etkilidir. Öyle ki, bu etki sebebi ile ortaya çıkan insan kaynaklı ısı enerjisi özellikle bazı gelişmiş kentlerde kış dönemlerinde net radyasyon miktarına eşit olabilmekte veya geçebilmektedir (Oke, 1987, Magee vd., 1999). Bu sebeple literatürde birçok çalışmada nüfus artışının kentsel iklim üzerindeki etkisi araştırma konusu olmuştur (Hogan ve Ferrick 1998; Arnfield, 2003; Fan ve Sailor, 2005). Oke (1973), çeşitli Kuzey Amerika ve Avrupa kentleri için KIA yoğunlukları ile nüfus değişkeni arasındaki ilişki düzeyini açıklayan bir regresyon modeli oluşturmuştur. Karl vd., (1988), 1901 – 1984 yılları arasında ABD genelinde 1219 istasyon tarafından kaydedilmiş verilerden faydalanarak nüfusa dayalı sıcaklık değişimlerini

incelemiş ve nüfusun her 100.000 kişi artışında lokal sıcaklıkların yaklaşık 1 °C artış gösterdiğini istatistiksel olarak ortaya koymuştur. Dolayısıyla içinde olduğu tüm süreçler ile yüzey enerji dengesini etkileyen nüfus, KIA etkisinin oluşumu ve etkisinin azaltılması sürecinde önemli bir değişken olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

1.5.3. Kentsel Kanyon Etkisi

Kentsel bölgelerde doğal yüzeylerin yerini alan kentsel donatılar (binalar, yollar, park alanları, vb.), kırsal yüzey morfolojisini önemi düzeyde değiştirerek adeta yapay bir kentsel topografya oluşturmaktadırlar. Bu topografyanın büyük bölümünü meydana getiren yollar ve bunların her iki tarafında yükselen binaların (duvarların) birlikte oluşturduğu lokal sistem kentsel kanyon olarak tanımlanmaktadır (Oke, 1987). Kentsel kanyonlar sahip oldukları radyatif, termal, nemlilik ve aerodinamik özellikleriyle; enerji değişim süreçlerine maruz kalan toplam yüzey alanını arttırabilmekte, yüzeylere gelen ve yüzeyden yansıyan solar radyasyonun konumsal dağılımını etkilemekte, yüzeyler arasında radyatif etkileşimler meydana gelmesine yol açabilmekte, yukarı yönlü uzun dalga radyasyon akısını düşürebilmekte, türbülans ve ortalama akım yapısını kontrol edebilmektedir (Oke, 1982). Tüm bu özellikleri sayesinde kanyon sistemi içindeki yüzeylerin absorbe edebildiği toplam kısa dalga radyasyon miktarı kırsal yüzeylere nazaran oldukça artmakta ve tüm kentsel alanda genel albedo miktarı yüzey materyallerinin birim yansıtma kabiliyetlerinden bağımsız olarak azalabilmektedir. Kanyonlar ifade edilen karakteristik özellikleriyle kentsel bölgelerin soğuma kapasitesini özellikle gün batımı sonrasında önemli oranda azaltmaktadır. Bu durum kanyon geometrisini meydana getiren binaların yüksekliği ve yüksekliğinden türetilen çeşitli parametreler (boy-en oranı, boy-cadde genişliği oranı, vb.) ile doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple yüksek katlı binaların oluşturduğu kentsel alanlarda yükseklik ve yüksekliğe bağlı parametreler arttıkça günbatımı sonrasında soğuma süreci daha da yavaşlamaktadır (Oke, 1981). Bu etki sonucunda kentsel bölgeler özellikle akşam ve gece saatlerinde daha belirgin olmak üzere kendilerini çevreleyen kırsal bölgelerden daha sıcak olmakta ve KIA etkisi altında kalmaktadırlar.

Kentsel kanyonlar ifade edilen karakteristik özellikleri sebebiyle yüzey enerji dengesi üzerinde önemli oranda etkilidir. Bununla birlikte kanyonların üç boyutlu geometrisi enerji değişim süreçlerinin oldukça kompleks bir yapıda gerçekleşmesine neden olmaktadır. Bu sebeple literatürde kanyon etkisini nümerik olarak modellemek adına

birçok dinamik akışkan modeli geliştirilmiştir (Nunez ve Oke, 1977, 1980; Terjung ve O'Rourke, 1980; Voogt ve Oke, 1991; Arnfield ve Grimmond, 1998; Arnfield, 1990, 2000; Sailor ve Fan, 2002). Sonuç olarak kanyon etkisi yüzey enerji dengesi üzerinde sahip olduğu önemli rolü ile KIA etkisinin oluşumda ve azaltılması sürecinde oldukça önemli bir değişken olarak değerlendirilebilmektedir.

1.5.4. Rüzgâr Hızı

Kentsel bölgelerde özellikle doğal rüzgâr koridorları üzerinde inşa edilmiş olan yüksek yapıların meydana getirdiği topografya çoğu zaman rüzgar hızını azaltabilmekte ve yönünü değiştirebilmektedir (Landsberg, 1981). Rüzgâr hızının azalmasıyla birlikte kentsel yüzeylerden havaya konveksiyon yoluyla transfer edilen ısı enerjisi miktarı da düşmekte ve yüzeyin soğuma kapasitesi önemli oranda azalabilmektedir (Kidder ve Essenwanger, 1995). Bu durum gün doğumundan batımına değin kentsel yüzeylerde daha fazla ısı enerjisinin tutulmasına yol açarken, gün batımından sonra yüzeydeki ısı miktarının azalmasına engel olarak soğuma sürecini yavaşlatmaktadır. Bununla birlikte bazı durumlarda rüzgâr hızı çok katlı binaların zeminleri etrafından geçerken artabilmekte ve yönü değişebilmektedir. Bu koşullar altında rüzgar çok katlı binaların kenarlarından dar caddelere doğru akarak hızlanabilmektedir (Bosselmann vd., 1995).

Rüzgâr hızı ifade edilen özelliklerinden dolayı kentsel bölgelerde yüzey enerji dengesi üzerinde etkili olabilmekte ve KIA etkisinin ortaya çıkmasında önemli bir değişken olarak değerlendirilmektedir (Eliasson, 1996). Bununla birlikte KIA etkisi altında bulunan bir kentte yukarıda ifade edilen rüzgarların dışında KIA kaynaklı olarak çeşitli lokal esintiler meydana gelebilmektedir (Tapper vd., 1981). Bu durum özellikle yoğun kent merkezindeki sıcak havanın yukarı yönlü hareket isteği ve kentin etrafındaki serin havanın caddeler üzerinden KIA merkezine doğru akma isteği sebebiyle meydana gelebilmektedir. Ayrıca kıyısız kentlerde de deniz üzerinden serin hava kent içlerine ve KIA merkezine doğru bu tür lokal esintiler oluşturabilmektedir (Ackerman, 1985; Yoshikado, 1990). İfade edilen sebeplerden dolayı kentsel ortamda rüzgar hızında meydana gelen değişimler ile KIA kaynaklı lokal esintilerin birbiri üzerinde karmaşık etkileri olabilmektedir. Bu sebeple bu karmaşık etkiler çözümlendikten sonra, rüzgâr hızı değişkeni KIA etkisinin oluşumu ve etkisinin azaltılması sürecinde hesaba katılmalıdır.

1.5.5. Topografya

Kentlerin bulunduğu bölgelerde topografya etkisi; yüzeyin farklı noktalarında alınan solar radyasyon miktarlarının farklılaşmasına ve yüzeydeki hava akışı karakterinde çeşitli değişimlere yol açabilmektedir. Eğimli yüzey durumu söz konusu olduğunda yüzey tarafından alınan anlık radyasyon miktarı kosinüs kuralı sebebiyle eğimli yüzeyin normali ile yüzeye gelen ışın arasındaki açıya bağlı olarak farklılaşabilmektedir. Bu açı değeri yüzeyin eğim ve azimut açısı ile solar azimut ve zenit açlarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Kosinüs kuralından ötürü açı değeri küçüldükçe gelen solar radyasyondan yüzey tarafından alınan miktar artacak, büyüdükçe azalacaktır. Bu sebeple yüzeye ilişkin eğim değerleri, yüzeyin bakışı ve yüzeyin bulunduğu enlem alınan radyasyon miktarını doğrudan etkileyebilmektedir (Monteith, 1973).

Vadiler özellikle dağlık topografyaya sahip bölgelerde çeşitli termal farklılıklar sebebiyle kendi lokal rüzgar sistemlerini meydana getirebilirler. Oluşan rüzgar sistemleri, farklı arazi yüzeylerinin farklı ısınma - soğuma karakterlerinin sıcaklık ve basınç farklılıklarına yol açması sonucu ortaya çıkarlar. Gün boyunca vadi tabanında ve yamaçlarda ısınan hava kitlesi yamaçlar üzerinden yükselerek vadi merkezinin üstüne doğru ilerledikten sonra tekrar tabana doğru inerek bir enine vadi sirkülasyonu meydana getirmektedir. Enine vadi sirkülasyonu vadiyi çevreleyen aktif yüzeylerden önemli oranda hissedilir ısı transferi gerçekleştirerek tüm vadi atmosferinin ısınmasına yol açar. Bu durum aşağısındaki düz arazi (ova, vb.) atmosferi ile aynı seviyede bulunan vadi atmosferinin daha sıcak olmasına neden olur ve düz araziden dağlara doğru yüzeye yakın bölgelerde daha şiddetli olmak üzere bir hava akımı meydana gelir. Böylece yukarı yönlü vadi rüzgarları oluşarak vadi içini doldurur. Bu esnada vadi yamaçları üzerinden ters yönde bir hava akımı daha meydana gelir. Bu hava akımı anti-vadi rüzgârları olarak adlandırılır ve gün boyunca dağlardan aşağıda doğru akış gösterir (Oke, 1987).

Akşam ve gece boyunca ise uzun dalga radyasyon yayılımı ile vadi yüzeyleri soğur ve vadinin alt katmanlarında bulunan soğuyan hava yerçekimi etkisi ile vadiden aşağıya düzlüklere doğru fasıllı olarak akmaya başlar. Bununla birlikte en soğuk hava kitleleri doğrudan arazi yüksekliği ile ilişkili olarak en düşük kot değerlerine sahip taban bölgelere yerleşir ve vadinin yüksek bölgelerinde sıcaklık değerlerinin yükselmesine neden olur. Bu etkileşim vadi enverziyonu (terselmesi) olarak adlandırılmaktadır.

Kentsel bölgelerde topografik yapı yukarıda ifade edilen yollarla yüzey enerji dengesi üzerinde önemli oranda etkili olabilmektedir. Bu sebeple arazi yükseklikleri, eğim ve bakı gibi çeşitli topografik elemanlar KIA etkisinin oluşumu süreçlerinde dikkate alınması gereken önemli değişkenler olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.5.6. Kirlilik

Kentsel bölgelerde atmosferde bulunan çeşitli kirlleticiler (aerosoller ve gazlar) türlerine ve miktarlarına bağlı olarak yüzeye gelen toplam radyasyon miktarını önemli oranda etkileyebilmektedirler (Landsberg, 1981; Estournel vd., 1983). Bu etkileşim yüzeye gelen kısa dalga solar radyasyonda ($K\uparrow$) azalma ve atmosferden yayılan uzun dalga radyasyonda ($L\downarrow$) artış olmak üzere iki farklı biçimde gerçekleşebilmektedir. İlk durumda, kirli atmosferde bulunan aerosoller ve gazlar yoğun atmosferik saçılma-absorbe-yansıtma özellikleri ile gelen kısa dalga radyasyonun önemli bir bölümünü tutarken, aynı zamanda bir filtre etkisi oluşturarak spektral ve yönelimsel karakterini de değiştirirler. Literatürde birçok çalışmada hava kirliliğinin solar radyasyon üzerindeki etkisi kantitatif olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; Jauregui ve Luyando (1999) Meksika kentinde gelen solar radyasyonun aerosol kaynaklı olarak ortalama %22 düzeyinde azaldığını ortaya koymuştur. Benzer biçimde Hong Kong kentinde yapılan bir araştırmada 35 yıllık periyotta solar radyasyonun %33 düzeyinde azaldığı tespit edilmiştir (Stanhill and Kalma, 1995).

İkinci durumda ise kirli kent atmosferinde bulunan partiküller tarafından gün boyunca absorbe edilmiş olan solar radyasyon, atmosferden yayılan aşağı yönlü uzun dalga kızılötesi radyasyonda artışa sebep olmaktadır. Bu durum gece boyunca net radyasyon miktarının önemli oranlarda artmasına yol açmaktadır (Rouse vd., 1973). Bununla birlikte azalan kısa dalga solar radyasyon ve artan uzun dalga radyasyonun net radyasyon üzerindeki birbirine zıt etkileri sebebiyle gün içinde ancak uzun dalga radyasyonun daha yoğun olması durumunda net radyasyon miktarında artış meydana gelebilmektedir. Söz konusu durum mevsimsel değişimler ve atmosferin kirlilik karakteristiği ile doğrudan ilişkilidir. Kentsel bölgelerde kirlilik yüzey enerji dengesi içinde bulunan net radyasyon bileşeni üzerindeki etkisi sebebi ile KIA oluşumu sürecinde etkili olabilmektedir.

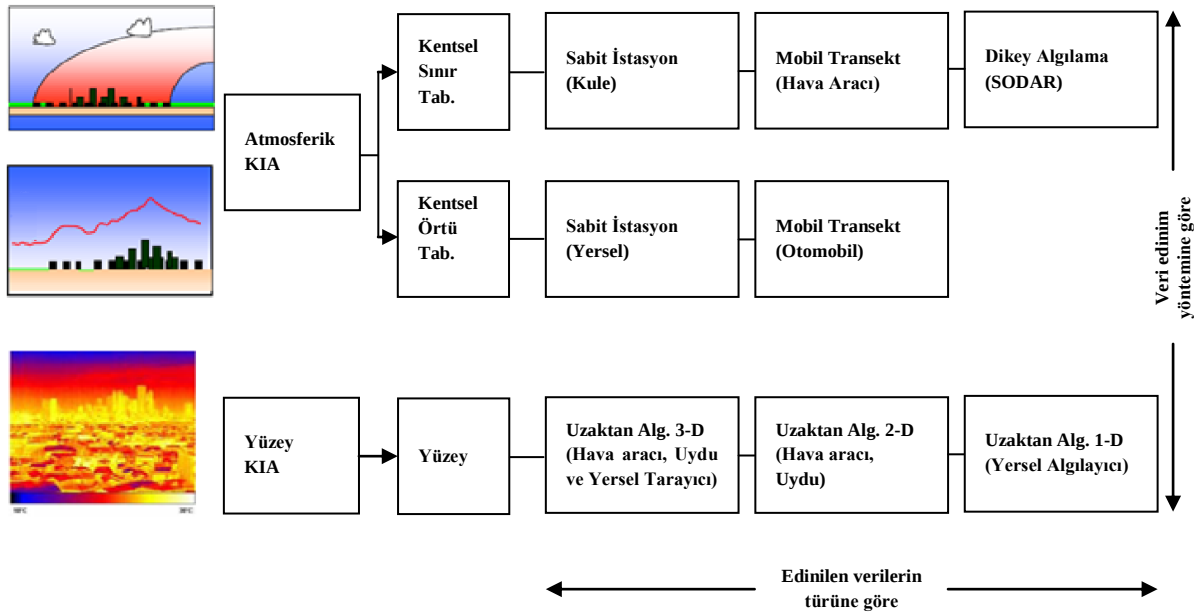
1.5.7. İnsan Kaynaklı Isı ve Enerji Kullanımı

İnsan kaynaklı ısı akısı, kentsel bölgelerde insanlar tarafından gerçekleştirilen çeşitli aktiviteler sonucu üretilen hissedilir ısı miktarını ifade etmekte olup üç farklı bileşenden yayılan toplam ısı miktarına eşittir. Bu bileşenler; çeşitli araçlarda kullanılan yakıtlarının yanması sonucu üretilen ısı, sabit kaynaklar (meskenler, ticari binalar, endüstriyel bölgeler, enerji santralleri, vb.) tarafından üretilen ısı ve diğer iki bileşenden daha az etkiye sahip olan insan metabolizmasından yayılan ısı olarak ifade edilmektedir (Grimmond, 1988; Sailor ve Lu, 2004). Kentsel bölgelerde insan kaynaklı ısı miktarı doğrudan ölçülemezle birlikte neredeyse tamamen bağımlı olduğu kişi başına düşen enerji tüketimi ve nüfus verileri yardımıyla hesaplanabilmektedir (Oke, 1987; Schmid vd., 1991).

Geçmiş dönemlerde kentsel enerji dengesine yönelik yapılmış çalışmaların önemli bir bölümünde iki sebepten dolayı insan kaynaklı ısı bileşeni önemsenmemiş ve hesaba katılmamıştır. Bunlar; yürütülen çalışmaların çoğunlukla yaz döneminde yapılmış olması dolayısıyla çoğu kentsel bölgede insan kaynaklı ısı üretiminin yaz döneminde kış döneminden daha az olması ve yüzey enerji dengesini meydana getiren diğer bileşenlere oranla insan kaynaklı olarak üretilen ısı miktarının oldukça az olması şeklinde ifade edilebilir. Günümüzde kentsel bölgelerde hızla artan nüfus ve onun tetiklediği enerji tüketimi sebebiyle insan kaynaklı ısı yüzey enerji dengesi içinde oldukça önemli bir bileşen haline gelmiştir. Khan vd. (2001) Avustralya'nın Brisbane kent merkezinde insan kaynaklı ısı miktarını kentsel ve yarı-kentsel bölgelerde 65.8 W/m^2 , kırsal bölgelerde ise 21.4 W/m^2 olarak hesaplamıştır. Bu durum kentsel bölgelerde insan kaynaklı ısı yayılımı ile yüzey enerji dengesinin kırsal bölgelerden önemli oranda farklılaştığını ortaya koymaktadır. Enerji tüketimi ve nüfus yoğunluğuna bağlı olarak uygun koşullar sağlandığında insan kaynaklı ısı yayılımı yüzey enerji dengesi üzerinde aşırı oranlarda etkili olabilmektedir. Örneğin, Ichinose vd. (1999) Japonya'nın Tokyo kentinde insan kaynaklı ısı akısını yaz döneminde 400 W/m^2 , kış döneminde ise 1.590 W/m^2 düzeyinde hesaplamıştır. Bu durumda insan kaynaklı ısı yayılımının yaz döneminde gelen solar radyasyonun %40'ı, kış döneminde ise %100'ü oranında kentsel yüzey enerji dengesine katkı sağladığı ortaya koyulmuştur. Kentsel bölgelerde giderek artan enerji kullanımı ve ona bağlı insan kaynaklı ısı yayılımı, enerji dengesi üzerindeki önemli etkisi sebebiyle KIA oluşumu sürecinde önemli bir değişken olarak değerlendirilmelidir.

1.6. Kentsel Isı Adası Türleri ve Tespit Yöntemleri

Kentsel ısı adaları, etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılan veri edinim yöntemlerine ve edinilen verilerin türüne bağlı olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır (Şekil 3). Buradan hareketle literatürde kentsel ısı adası; yersel tabanlı sabit istasyonlardan veya çeşitli hareketli araçlar üzerine yerleştirilmiş sensör verilerinden faydalanılarak atmosferin çeşitli katmanlarında elde edilen *in-situ* veriler yardımı ile tespit ediliyorsa atmosferik kentsel ısı adası, termal uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen arazi yüzey sıcaklıklarından (AYS) faydalanarak tespit ediliyorsa yüzey kentsel ısı adası olarak ifade edilmektedir (Oke, 1995; Voogt ve Oke, 2003). Kentsel ısı adalarının ifade edilen biçimlerde sınıflandırılarak birbirinden ayrılması arka planda oluşumlarına sebep olan süreçlerdeki farklılıklardan ötürü oldukça önemlidir (Oke, 1982; Roth vd., 1989).



Şekil 3. KIA türleri ve tespit yöntemleri (Voogt, 2007)

1.6.1. Atmosferik Kentsel Isı Adası

Atmosferin kentsel örtü tabakasında veya kentsel sınır tabakasında yapılan hava sıcaklığı ölçümleri sonucunda, kentsel ve kırsal bölgelerde elde edilen *in-situ* veriler

kullanılarak atmosferik kentsel ısı adası etkisi ortaya koyulabilmektedir (Grimmond, 2006). Kentsel örtü tabakası, yüzey ile yaklaşık ortalama bina yüksekliği seviyesine kadar olan bölgeyi kaplayan atmosfer tabakasıdır. Kentsel sınır tabakası ise kentsel örtü tabakasının üstünde bulunan tabakadır. Kentsel örtü tabakasında atmosferik ısı adası tespiti için yakın yüzey sıcaklıklarını kaydedebilmek amacıyla uygun yüksekliklerde (~1.3m) konumlandırılmış meteoroloji istasyonlarından ve üzerinde sıcaklık algılayıcıları monte edilmiş çeşitli kara araçlarıyla yapılan mobil transekt geçişlerinden faydalanılabilmektedir. Kentsel sınır tabakasında atmosferik ısı adası tespiti amacıyla; yüksek kuleler, radyosonde, hava gözlem balonu gibi özel platformlar veya çeşitli hava araçları üzerine yerleştirilmiş sıcaklık algılayıcılar kullanılmaktadır.

Kentsel ve kırsal bölgeler arasındaki radyatif soğuma farklılıkları; gece saatlerinde, rüzgârsız ve açık gökyüzü koşullarında maksimum düzeye ulaşmaktadır. Özellikle bu koşullar altında atmosferik ısı adası etkisi de maksimum seviyede gözlemlenebilmektedir (Voogt ve Oke, 2003). Bu sebeple ifade edilen sıcaklık ölçüm yaklaşımlarından günün her saati veri toplama kabiliyetine sahip olanların tercih edilmesinin birçok kentsel bölgede atmosferik kentsel ısı adası tespit sürecine olumlu yönde katkı sağlaması beklenmektedir. Söz konusu sıcaklık ölçüm tekniklerinden en yaygın kullanılanlar; sabit istasyonlar, mobil transekt geçişler ve dikey algılama teknikleri olmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

1.6.1.1. Sabit İstasyonlar

Atmosferik kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi sürecinde en yaygın kullanılan tekniklerden birisi sabit meteorolojik istasyon verilerinden faydalanılarak kentsel ve kırsal ortam arasındaki anlamlı sıcaklık farklılığının ortaya koyulmasıdır. Dünyada kentsel bölgelerde ve kırsal çevrelerinde farklı amaçlar için çeşitli kurumlarca (ulusal meteoroloji kurumu, üniversiteler, havaalanları, vb.) kurulmuş çok sayıda meteorolojik istasyon bulunmaktadır. Bu durum ısı adası tespiti için önemli miktarda meteorolojik veri sağlamasına rağmen istasyonların konumlandırıldığı bölgeler, veri kayıt standartları ve istasyonların kurulum tarzı gibi farklılıklar sebebiyle kısıtlanan istasyon sayısı farklı çözüm yaklaşımlarını beraberinde getirmektedir (Lowry, 1977). Örneğin: kentsel bölgede bulunan istasyon yüksek bir kulenin üstünde veya binanın tepesinde kurulu olduğunda, kentsel örtü tabakasının dışında kalarak yakın yüzey konumundaki kentsel karakteri temsil edememektedir.

Kentsel bölgede ve kırsal çevresinde olmak üzere bir çift istasyonca kaydedilmiş veri seti mevcut ise ısı adası etkisi ve zamana göre değişimi ortaya koyulabilmektedir. Bununla birlikte karşılaştırmada kullanılacak tek çift istasyon verisi mevcut olduğu için, hem kentsel bölgede seçilecek istasyonun kentin genel yapısal karakterini taşıması hem de kırsal bölgede seçilecek istasyonun kentleşmiş olan kırsal bölge karakterinde olması gerekmektedir. Ayrıca istasyonların aynı yükseklikte bulunmaları ve kentleşme etkisi dışarıda tutulduğunda genel iklimsel karakterlerinin de aynı olması arzulanan bir durumdur. Bununla birlikte çoğu zaman bu koşullar sağlanamadığından dolayı elde edilen analiz sonuçlarının güvenilirliği etkilenebilmektedir. Bu sebeple uygun niteliklere sahip farklı kentsel ve kırsal istasyonlar mevcutsa karşılaştırmanın birden fazla kentsel-kırsal istasyon çifti arasında veya kentsel istasyon grubu ile kırsal istasyon grubu arasında yapılması sonuçların güvenilirliğini arttırmaktadır (Ackerman, 1985; Nasrallah vd., 1990; Moreno-Garcia, 1994).

Atmosferik kentsel ısı adası etkisi; aynı özelliklerde veri edinim kapasitesine ve standardına sahip, kentte ve kırsal çevresinde uygun konumsal dağılımda çok sayıda istasyonun bir araya gelerek oluşturduğu sabit istasyon ağlarının mevcudiyeti durumunda hassas bir biçimde ortaya koyulabilmektedir (Kuttler vd., 1996; Morris vd., 2001). KIA etkisi altındaki kentsel bölgelerin önemli bir çoğunluğunda bu kriterlerin sağlanamamasından dolayı uygun konumlara istenilen özelliklerde geçici ek sabit istasyonlar kurularak araştırmalar yapılabilmektedir. Bu durum özellikle büyük metropollerde oldukça fazla sayıda ek istasyon kurulumu gerektirebilmesinden ötürü yüksek maliyetli ve zaman alıcı olabilmektedir. Ayrıca kurulan geçici istasyonlardan KIA etkisinin zamansal gelişiminin belirlenmesi amacıyla faydalanılamamaktadır.

1.6.1.2. Mobil Transekt Geçişler

Kentsel bölgelerde yeterli sayıda ve uygun konumsal dağılıma sahip sabit istasyon bulunmaması durumunda atmosferik ısı adası etkisinin hassas bir biçimde ortaya koyulabilmesi amacıyla mobil transekt geçişler tekniği kullanılabilmektedir (Goh ve Chang, 1999; Unger vd., 2001). Bu teknikte çeşitli vasıtalar üzerinde monte edilmiş sensörler kullanılarak önceden tanımlanmış güzergâhlarda uygun veri kayıt aralıklarında *in-situ* veriler kentsel örtü tabakasından toplanmaktadır. Söz konusu güzergâhlar, kentsel bölgeyi çevreleyen kırsal bölgelerden başlayıp en yoğun kent merkezlerinden geçtikten

sonra tekrar kırsal bölgelere kadar devam edecek biçimde tasarlanmakta ve kentsel yoğunlaşmanın konumsal değişimine göre veri kayıt aralıkları belirlenmektedir. Uygun trafik koşullarında mobil transekt geçişleri günün her saatinde yapılabilir. Bununla birlikte yapılan çalışmalarda çoğunlukla mobil transekt geçişler için atmosferik kentsel ısı adası etkisinin daha belirgin biçimde kendisini gösterdiği gece saatleri, bulutsuz ve rüzgârsız hava koşulları tercih edilmektedir. Ayrıca gece saatlerinde trafik etkisi de minimize edilebilmektedir.

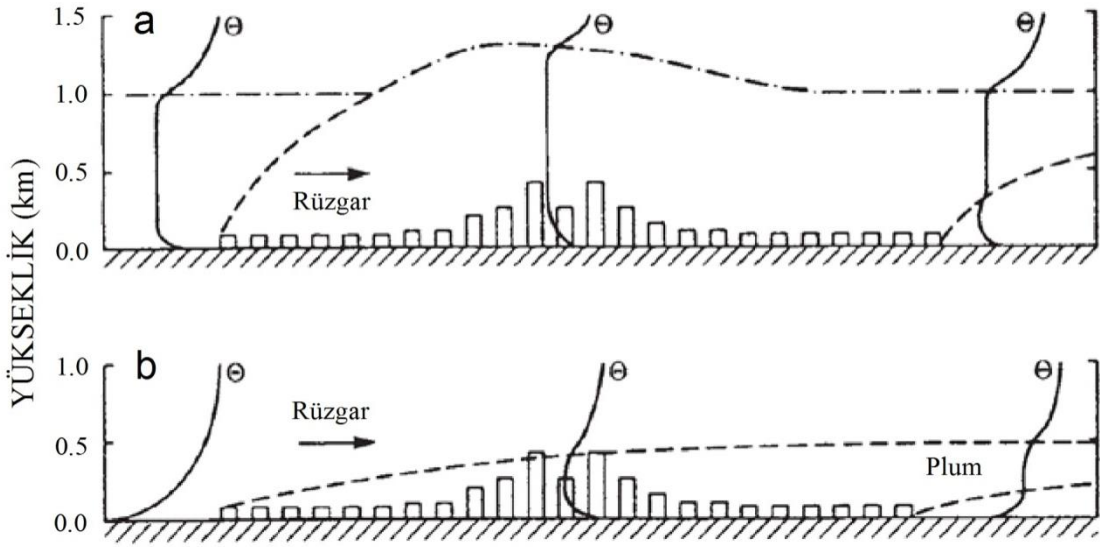
Mobil transekt geçişler tekniği sadece tek bir ölçüm düzeneği olması durumunda bile uygulanabilmesi ve sistem kurulumun kolay olması sebebiyle sabit istasyon metoduna göre oldukça ekonomiktir. Söz konusu teknik bu olumlu yönlerinin yanı sıra kullanıldığında göz önünde bulundurulması gereken çeşitli eksikliklere de sahiptir. Bunlardan en önemlisi kentsel ve kırsal ortamda tam manada eş zamanlı ölçümün gerçekleştirilememesi sonucunda başlangıç ve bitiş zamanı arasında hava koşullarında meydana gelebilen değişimlerdir. Bu sebeple bir veya daha fazla sabit istasyon yardımıyla elde edilmiş olan verilerden faydalanılarak mobil istasyonlarca elde edilmiş verilere çeşitli dengeleme işlemleri yapılabilir. Mobil transekt geçiş tekniğinde bir diğer dikkat edilmesi gereken husus da ölçüm sensörlerinin araçların motor veya egzoz gazlarının ısısından ve yol yüzey kaplamasının bünyesinden yakın yüzeye salınan ısıdan uzak tutulmasıdır. Bu aşamada sensörler için yeterli hava sirkülasyonu da mutlaka sağlanmalıdır. Bu amaçla sensörler yüzeyden yaklaşık ~1-2m yükseklikte araç üzerine monte edilerek bölgeye ilişkin atmosferik sıcaklıklar en doğru biçimde tespit edilebilmektedir. Mobil transekt geçişler tekniğinde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer durum da istasyon noktalarında sensöre ortam koşullarına uyum sağlayabilmesi için yeterli miktarda zaman tanınmasının ardından okumaların gerçekleştirilmesidir.

1.6.1.3. Dikey Algılama

Dünya yüzeyi ile olan çeşitli enerji etkileşimleri, atmosferin kentsel örtü ve kentsel sınır tabakalarını da kapsayan troposfer tabakasının (0 – 10 km) tümü üzerinde etkili olabilmektedir. Bu sebeple kentsel yüzeyler ile doğrudan etkileşim halinde olan kentsel örtü tabakasında atmosferik kentsel ısı adası etkisi yoğun olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu durum kentsel örtü tabakasının üzerinde bulunan troposfer tabakalarında da çeşitli etkilere sebep olabilmektedir. Bu etkilerin büyük bir bölümü kentsel örtü tabakasının hemen

üzerinde bulunan ve 1 – 1.4 km yüksekliğe kadar ulaşan kentsel sınır tabakasında meydana gelmektedir (Oke, 1982). Kentsel sınır tabakası, gün boyunca yüzey tarafından ısıtılarak yükselen sıcak hava kitlesinin atmosferin yüksek kısımlarındaki soğuk hava kitlesi ile karışarak yükselmesi ve oluşan türbülans yönünde akması sonucunda en kalın halini alır (Şekil 4a). Gece boyunca ise kentsel yüzeylerin soğuma süreci ile birlikte yüzeyler ortamda bulunan havadan daha soğuk olmakta ve kentsel sınır tabakasının kalınlığı azalmaktadır (Şekil 4b). Kentsel sınır tabakası ile kırsal sınır tabakası arasında meydana gelen bu farklılıklar atmosferik kentsel ısı adası varlığını ifade etmeleri yönüyle oldukça önemlidir. Buradan hareketle kentsel ve kırsal bölgelerde sınır tabakasında çeşitli teknikler ile veri toplanarak atmosferik ısı adası etkisi tespit edilmektedir. Bu amaçla yüksek kuleler, hava gözlem balonu, radyosonde ve çeşitli hava araçları gibi özel platformlar üzerine yerleştirilmiş sensörler kullanılarak farklı yüksekliklerde veri alımı gerçekleştirilmektedir (Bornstein, 1968; Tapper, 1990; Piringer ve Bauman, 2001; Cleugh ve Grimmond, 2001). Ayrıca bu amaçla uzaktan algılama tabanlı; SODAR (Sound Detection and Ranging), RASS (Radio Acoustic Sounding System), LiDAR (Light Detection and Ranging) ve mikrodalga radyometre gibi enstrümanlardan faydalanılarak atmosferin çeşitli tabakalarına ilişkin veri temini gerçekleştirilebilmektedir (Kolev vd., 2000; Angevine vd., 2003; Emeis vd., 2004; Khaikine, 2006).

Yapılan gözlemler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan dikey profiller yardımıyla kentsel ve kırsal sınır tabakası kalınlığı ortaya koyulabilmektedir. Şekil 4’de bu amaçla oluşturulmuş sıcaklık profilleri incelendiğinde; gündüz saatlerinde kentsel yüzeylerde meydana gelen yoğun konveksiyon süreçlerinin kentsel sınır tabakasının yüksekliğini arttırdığı görülebilmektedir (Şekil 4a). Bununla birlikte kentsel sınır tabakası içinde sıcaklık, türbülans kaynaklı hava girdapları yoluyla iyi karışabilen sıcak-soğuk hava sebebiyle neredeyse sabit kalmaktadır. Gece saatlerinde ise soğuyan kentsel yüzeylerin hemen üstlerindeki yüzeyleri de soğutmaları sonucunda yukarıdan ve aşağıdan soğuk hava kitleleri arasında durağan kalmış bir sıcak hava kitlesi meydana gelmektedir (Şekil 4b). Bu durum aynı zamanda kentsel örtü tabakası üzerinde hava terselmesi yoluyla bir sıcak hava tabakası oluşturabilmektedir.



Şekil 4. Büyük bir kent için yaz mevsiminde iyi hava koşullarında (a) gündüz ve (b) gece dönemi kentsel sınır tabakasının termal karakterini gösteren potansiyel sıcaklık profilleri (Oke, 1982)

Kentsel bölgelerde atmosferik ısı adası etkisinin tespit edilmesinde dikey algılama tekniklerinden faydalanılması sayesinde özellikle kentsel sınır tabakasında meydana gelen termal ve konumsal değişimler tespit edilerek orta ölçekte KIA oluşum süreçleri irdelenebilmektedir (Khaikine, 2006).

1.6.2. Yüzey Kentsel Isı Adası

Kentsel yüzeylerde insan müdahaleleri sebebiyle meydana gelen enerji değişim süreçleri yüzeylerin ısı miktarı üzerinde önemli oranda etkili olabilmektedir. Yüzeyde meydana gelen bu karmaşık etkileşimler, kentsel yüzeylerin kendilerini çevreleyen kırsal yüzeylere göre daha yüksek ısı miktarına sahip olmasına yol açmaktadır. Bununla birlikte kentsel yüzeyleri oluşturan materyallerdeki çeşitlilik sebebiyle yüzeylerde bulunan ısı enerjisi yoğunluğu oldukça heterojen bir konumsal dağılım göstermekte ve zamana göre dinamik bir biçimde değişebilmektedir (Voogt, 2000). Kentsel yüzeylerin bu karakteristik özellikleri nedeniyle geleneksel *in-situ* yaklaşımları kullanılarak kentsel ve kırsal yüzey sıcaklıklarını gözlemlemek oldukça zor, maliyetli ve konumsal kapsam yönüyle yetersiz bir yöntemdir. Bu sebeple kentsel ve kırsal yüzeylere ilişkin AYS değerlerini elde edebilmek amacıyla termal uzaktan algılama tekniklerinden faydalanılmaktadır. Termal

uzaktan algılama tekniklerinde çeşitli hava araçları veya uydular üzerine yerleştirilmiş sensörler tarafından elektromanyetik spektrumun uzun dalga kızıl ötesi (far-infrared) ve termal kızılötesi bölgelerinde algılanan radyasyon değerleri kullanılarak AYS değerleri hesaplanmaktadır.

Kentsel bölgelerde ısı adası etkisinin karakterizasyonuna yönelik araştırmalarda *in-situ* yaklaşımlarının yüksek zamansal çözünürlüğü bir avantaj olmakla birlikte, konumsal çözünürlüğünün oldukça düşük olması kentteki ısı adası etkisinin şiddeti, konumsal kapsamı ve şekli gibi karakteristik özelliklerinin belirlenmesi amaçlandığında yeterli olamamaktadır. Bu amaçla kullanılan bir diğer yöntem ise, termal uzaktan algılama teknikleri ile elde edilen arazi yüzey sıcaklıklarından faydalanarak yapılan hesaplamalardır. Literatürde KIA etkisi, bu yöntemle ortaya koyulması durumunda yüzey kentsel ısı adası etkisi olarak tanımlanmaktadır (Voogt ve Oke, 2003).

Yüzey kentsel ısı adası etkisi, gündüz ve gece boyuca ortaya çıkmasına rağmen özellikle atmosferik kentsel ısı adası etkisi ile karşılaştırıldığında farklı karakteristik etkiler gösterebilmektedir. Gece saatlerinde atmosferik kentsel ısı adası özellikle rüzgârsız ve açık gökyüzü koşullarında daha yoğun olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu koşullar altında yüzeyler bünyelerindeki ısıyı havaya transfer ederek soğuyabilmektedirler. Bu aşamada genel olarak kırsal yüzeylere oranla daha düşük yayınlılık değerlerine sahip olan kentsel yüzey materyallerinde soğuma süreci kırsal yüzeylere oranla daha yavaş olmaktadır (Oke, 1987; Voogt ve Oke, 2003). Bu durum kentsel ve kırsal yüzey sıcaklıkları arasındaki farkı arttırmaktadır. Durağan hava koşullarında yüzeye en yakın olan hava tabakası ile yüzey arasında gece boyunca termal etkileşim süreci devam edebilmekte ve söz konusu hava tabakası kondüksiyon yoluyla yüzeye ısı transferi gerçekleştirerek yüzeyin ısınmasına sebep olurken kendisi de soğumaktadır (Oke, 1982). Bu süreç beraberinde yüzeye yakın olan bu hava tabakasında sıcaklık terselmesine (inversiyon) yol açarak üzerindeki hava katmanlarından daha soğuk ve durağan olmasına neden olmaktadır (Oke, 1987). Gece boyunca devam eden bu durağan koşullar altında yakın yüzey hava sıcaklığı değerleri etkileşim halinde olduğu yüzey sıcaklıkları ile aynı değişim karakterini gösterir ve yakın değerlere sahip olur. Bu sebeple atmosferik ve yüzey kentsel ısı adası etkileri de oldukça benzer eğilimler gösterirler. Gündüz saatlerinde ise tamamen farklı bir durum ortaya çıkabilmektedir. Solar radyasyon tarafından hızla ısıtılan yüzey aynı zamanda kendisine yakın hava tabakasını da ısıtarak gece boyunca devam eden sıcaklık terselmesini ortadan kaldırır ve durağan durumunun değişmesine yol açar. Bu durum konveksiyona ve yüzeye

yakın hava tabakasının üzerinde bulunan hava tabakaları ile daha iyi karışmasına sebep olur. Meydana gelen türbülans etkisi sebebiyle sürekli değişen yüzeye yakın hava tabakası ile yüzey arasındaki etkileşim süresi oldukça azalır ve hava tabakası verimli bir biçimde ısınmaz. Bu sebeple atmosferik kentsel ısı adası etkisi gündüz saatlerinde geceye oranla daha düşük olmaktadır. Bununla birlikte yüzey kentsel ısı adası etkisi hem gündüz hem de gece saatlerinde meydana gelmekte olup gündüz saatlerinde şiddeti daha fazladır.

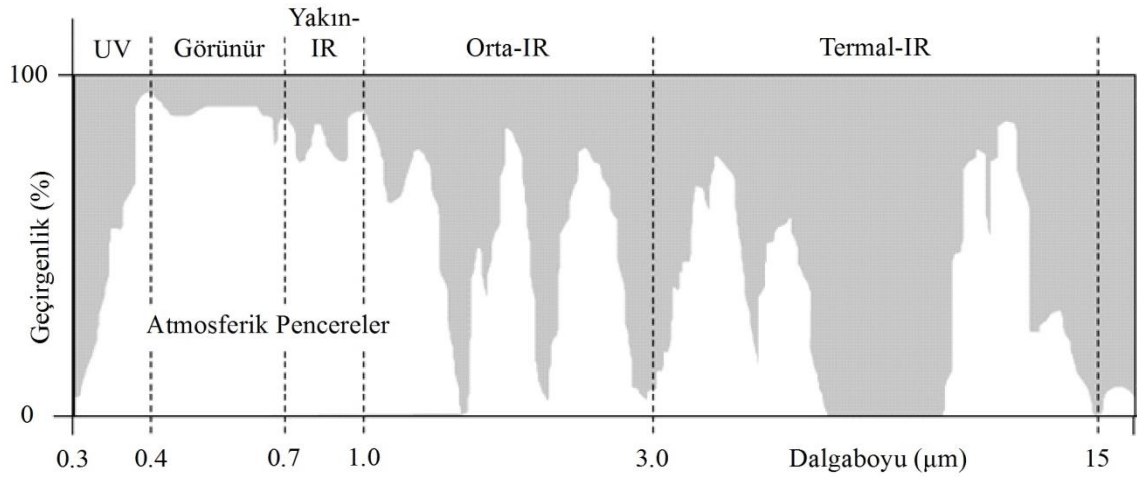
1.7. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, hedef cisme herhangi bir fiziksel temas olmaksızın cismin ölçülmesi ve cisme ait çeşitli özelliklerin elde edilmesine olanak sağlayan bir bilim dalıdır (Lillesand vd., 2004). Bu amaçla uzaktan algılama sistemleri, hedef cisimden yansıyan ve yayılan elektromanyetik radyasyonu; uydular, hava araçları veya zeminde bulunan çeşitli platformlar üzerindeki sensörler yardımıyla farklı dalga boylarında kaydetmekte ve yorumlamaktadır. Elektromanyetik radyasyonun özellikleri ve yayılım ilkeleri Planck kuantum teorisine göre açıklanmaktadır (Planck, 1959). Elektromanyetik radyasyonun, 10^{-10} - 10^{10} μm dalga boyu (λ) aralığında kategorize edilerek çeşitli bölgelere ayrılması sayesinde elektromanyetik spektrum elde edilir. Uzaktan algılama bilimi, elektromanyetik spektrumun 0.3-15 μm arasındaki optik dalga boyları ve 1-1000 mm arasındaki mikrodalga bölgeleriyle ilgilenmektedir.

Elektromanyetik spektrumun; 0.38-3 μm dalga boyu aralığında bulunan bölge yansıtıcı bölgedir ve bu bölgede algılanan enerji güneş tarafından üretilen ve yeryüzündeki objelerden yansıyan enerjidir. Bu bölge görünür (0.38-0.72 μm) ve kızılötesi (0.72-3 μm) bölgeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca yansıtıcı kızılötesi bölgede kendi içinde yakın kızılötesi (0.72-1.3 μm) ve orta kızılötesi (1.3-3 μm) bölgelerinden oluşmaktadır. Elektromanyetik spektrumun 3-15 μm dalga boyu aralığından bulunan bölge ise yayılım bölgesidir. Bu bölgede algılanan enerji yüzey materyallerinin bünyelerine absorbe ederek daha sonra yeniden ortama yaydığı enerjidir. Yayılım bölgesi aynı zamanda termal kızılötesi (3.0-15 μm) bölgeyi ihtiva etmektedir. Yüzey kentsel ısı adası karakterizasyonu da dahil olmak üzere uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yapılan çalışmaların önemli bir çoğunluğu elektromanyetik spektrumun optik dalga boylarında gerçekleştirilmektedir.

1.7.1. Atmosferik Etkileşimler

Uydular veya yüksek irtifada uçan hava araçları (~20 km) üzerindeki sensörler tarafından kaydedilen elektromanyetik radyasyon, enerji kaynağından yüzeye doğru aşağı yönlü ve yüzeyden sensöre doğru yukarı yönlü olarak yaptığı yolculuk esnasında atmosferden geçerken çeşitli etkilere maruz kalabilmektedir. Bu etkileşimler elektromanyetik radyasyonun atmosferde bulunan çeşitli gaz molekülleri (O_2 , CO_2 , O_3) ve aerosoller (sıvı veya katı haldeki partiküller) tarafından absorbe edilmesi veya saçılması şeklinde gerçekleşebilmektedir. Absorbe ve saçılım etkileri elektromanyetik spektrumun dalga boyuna bağlı olarak farklılaşarak atmosferik geçirgenlik düzeyini artırır veya azaltır (Şekil 5). Spektrumun söz konusu atmosferik etkilerin nispeten oldukça az olduğu yüksek atmosferik geçirgenliğe sahip bölgeleri atmosferik pencereler olarak adlandırılmaktadır. Bu sebeple uzaktan algılama çalışmalarında, elektromanyetik spektrumun atmosferik pencerelerin bulunduğu dalga boyu aralıklarında algılama yapabilen sensörler tercih edilerek atmosferik etki minimum düzeye indirgenmeye çalışılmaktadır.



Şekil 5. Atmosferik geçirgenlik ve atmosferik pencereler (Tso ve Mather, 2009)

1.7.2. Optik Uzaktan Algılama Sensörleri Tarafından Kaydedilen Radyasyon

Elektromanyetik spektrumun optik bölgelerinde uzaktan algılama sensörleri tarafından kaydedilen radyasyon iki farklı kaynaktan üretilen radyasyonun bileşiminden meydana gelmektedir. Spektrumun görünür, yakın ve orta kızılötesi bölgelerinde algılanan

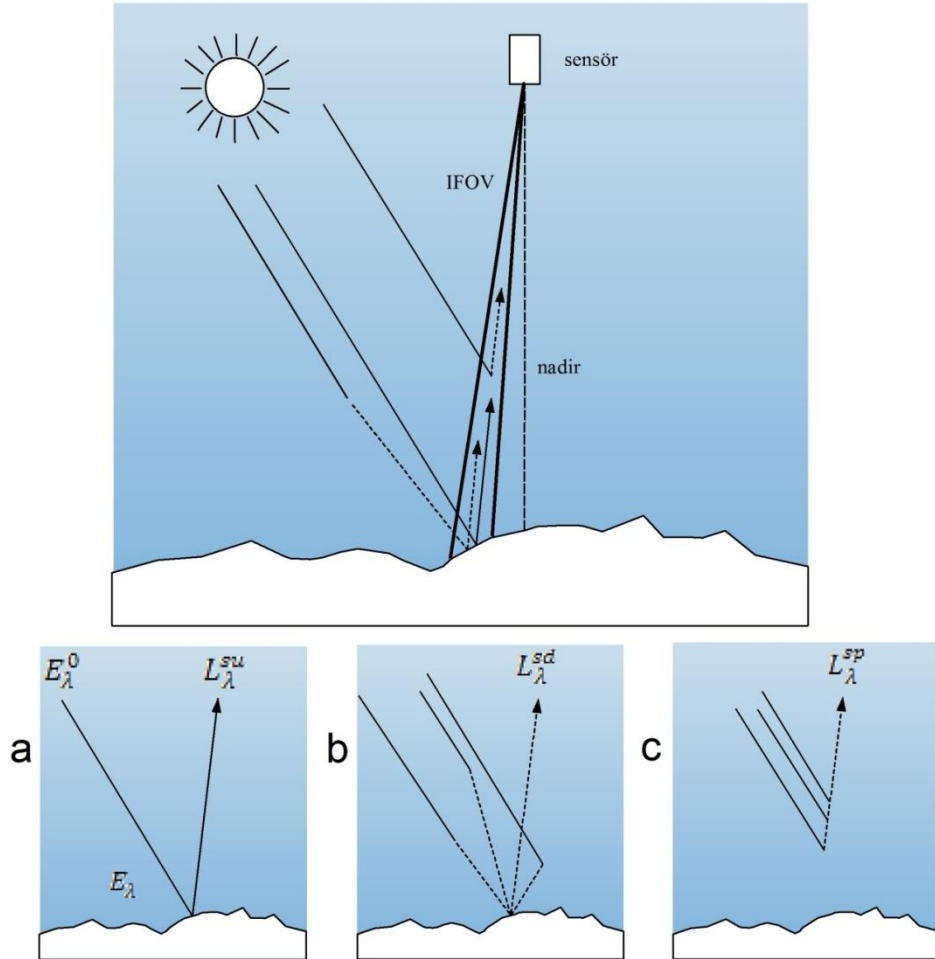
radasyon bileşeni; güneş tarafından üretilip dünya yüzeyinden yansıdıktan ve bir kısmı da yüzeye ulaşmadan atmosferden saçıldıktan sonra sensör tarafından kaydedilmektedir. Spektrumun termal kızılötesi bölgesinde algılanan termal radyasyon bileşeni ise; yüzeyde bulunan materyallerin doğrudan kendi bünyesinde üreterek ve farklı bir kaynaktan bünyesine alarak yayıldıktan sonra sensör tarafından kaydedilmektedir. Söz konusu radyasyon bileşenleri farklı karakteristik özellikleri ve dalga boyları nedeniyle sensöre ulaşınca değin farklı atmosferik etkileşim süreçleri ile karşılaşmaktadırlar. Bu sebeple yüzeye ilişkin radyatif ve termal özelliklerin doğru olarak belirlenmesi amaçlandığında bu iki bileşen ve üzerlerindeki atmosferik etkiler ayrı ayrı değerlendirilerek modellenmelidir.

1.7.2.1. Görünür, Yakın ve Orta Kızılötesi Bölgede Kaydedilen Radyasyon ve Atmosferik Etkileşimler

Atmosferik saçılma ve absorbe etkileri; elektromanyetik spektrumun görünür, yakın ve orta kızılötesi bölgelerinde algılanmış görüntüler üzerinde çeşitli etkilere yol açarak görüntünün kontrastının azalmasına ve sensöre ulaşan radyasyon miktarının düşmesine sebep olurlar. Ayrıca saçılma etkisi elektromanyetik radyasyonun yönünü değiştirerek belli oranda radyasyonun hedef objenin yakınındaki farklı objelerden veya doğrudan atmosferden yansıyıp sensöre ulaşmasına neden olmaktadır. Bu durum sensör tarafından algılanan radyasyon miktarını etkilemektedir. İfade edilen atmosferik etkiler altında sensör tarafından algılanan radyasyon değerleri çeşitli solar radyasyon bileşenlerden meydana gelmektedir (Şekil 6). Bu bileşenler:

a) Doğrudan yüzeyden yansıyıp sensör tarafından kaydedilen yukarı yönlü solar radyasyon bileşeni (L_{λ}^{su}): Solar radyasyon; Güneş'ten Dünya yüzeyine ve yüzeyden yansıyarak sensöre ulaşınca değin atmosferde kat ettiği iki farklı yol boyunca atmosferik etkilere maruz kalmaktadır (Şekil 6a). İlk aşamada atmosferik solar yol (path) geçirgenliği (T_s) sebebiyle solar radyasyonun sadece belli bir bölümü yüzeye ulaşabilmektedir. Bu geçirgenlik düzeyi 0-1 aralığında ve birimsiz olarak ifade edilmektedir. Söz konusu spektral geçirgenlik değerleri çeşitli atmosferik modeller (6S, MODTRAN, vb.) yardımıyla başarıyla modellenabilmektedir. Özellikle elektromanyetik spektrumun 1.4 μm ve 1.9 μm dalga boyları civarındaki spektral bölgelerde su buharı ve CO₂ moleküllerinin oldukça yüksek absorbe karakteristiği sebebiyle solar radyasyonun geçişi tamamen

engellenebilmektedir. Bununla birlikte, ışığın hava molekülleri tarafından solar yol dışına saçılması sebebiyle atmosferik geçirgenlik mavi spektral bölgeye doğru yaklaştıkça azalır. Bu durum söz konusu moleküllerin çapının λ/π değerinden daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu olay *Rayleigh saçılımı* olarak ifade edilmektedir ve saçılımın şiddeti λ^4 ile ters orantılıdır (Mather, 2004). Atmosferde bulunan aerosoller ve çeşitli partiküller (duman, sis, tuz, toz bulutu, vb.) sebebiyle meydana gelen bir diğer saçılım da *Mie saçılımı* olarak ifade edilebilir. Bu saçılımın şiddeti; partikül boyutlarının λ/π ile $2\lambda/\pi$ arasında olması durumunda dalga boyuna bağımlı, $2\lambda/\pi$ 'den büyük olması durumunda ise dalga boyundan bağımsızdır. Atmosferde solar radyasyon üzerinde Rayleigh ve Mie saçılımları kombine bir biçimde etkili olabilmektedir.



Şekil 6. Elektromanyetik spektrumun yansıtıcı bölgelerinde uzaktan algılama sensörüne kaydedilen en önemli radyasyon bileşenleri

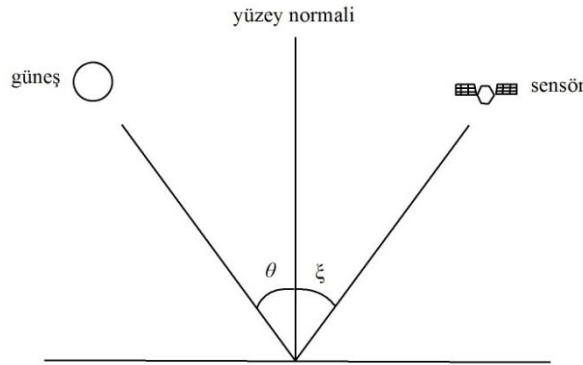
Atmosferik geçirgenliğin solar radyasyon üzerinde meydana getirdiği spektral etkiler yüzeye ulaşan spektral irradyans değerlerinin önemli oranda değişmesine yol açmaktadır. Bu etkileşim solar yola dik bir yüzey için matematiksel olarak ifade edildiğinde yüzey için spektral irradyans (E_λ) değerleri (5) eşitliği ile elde edilebilir;

$$E_\lambda = T_s(\lambda) E_\lambda^0 \quad (5)$$

Eşitlikte, E_λ^0 ekzoatmosferik solar irradyans değerini ifade etmektedir. Ayrıca, yüzeydeki irradyans miktarı gelen solar radyasyonun zenit açısının (θ) kosinüs fonksiyonuna bağlı olarak değişmektedir (Şekil 7). Bu sebeple solar zenit açısı azaldıkça yüzeydeki irradyans miktarı da azalmaktadır. Buradan hareketle (5) eşitliği topografyaya bağlı olarak yeniden düzenlenirse yüzeydeki herhangi bir noktada irradyans değeri;

$$E_\lambda(x, y) = T_s(\lambda) E_\lambda^0 \cos[\theta(x, y)] \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Aşağı yönde bir Lambert yüzeyine ulaşan irradyans; π , geometrik parametresine ve ρ , spektral yansıtım değerine bağlı olarak yüzeyden yukarı yönde yayılan yüzey radyansı (L_λ) meydana getirir. Spektral yansıtım değerleri, atmosferik geçirgenlik değerlerine benzer biçimde 0-1 aralığında değişmekte olup birimsizdir. Bu değerler farklı yüzey materyalleri için dalga boyuna ve konuma bağlı olarak değişebilmektedir.



Şekil 7. Yatay düzlem üzerinde solar zenit (θ) ve sensör yönelim (ζ) açıları

Atmosferik etkiler altında yüzey radyans ve yansıtım değerleri (7) eşitliğinde ortaya koyulmuştur.

$$L_{\lambda}(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{T_s(\lambda) E_{\lambda}^0}{\pi} \cos[\theta(x, y)] \quad (7)$$

Dünya yüzeyinden sensöre kadar olan yolculuğu boyunca yüzey radyans sensör atmosferik görüş yolu geçirgenliği (T_v) etkisi altında kalmaktadır. Sensörün yüzeyi tarama açısına bağlı olarak değişebilen bu etki özellikle değişken tarama açıları ve büyük açı değerlerinde daha fazladır. Bu durumda atmosferik görüş yolu geçirgenliğinin de modele dahil edilmesiyle (7) eşitliği yeniden düzenlenerek (8) eşitliği elde edilir.

$$L_{\lambda}^{su}(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{T_v(\lambda) T_s(\lambda) E_{\lambda}^0}{\pi} \cos[\theta(x, y)] \quad (8)$$

b) Atmosferden aşağı yönlü saçıldıktan sonra yüzeyden yansayıp tekrar atmosferden geçerek sensör tarafından kaydedilen solar radyasyon bileşeni (L_{λ}^{sd}): Solar radyasyonun bir bölümü güneşten dünya yüzeyine doğru ilerleyişi esnasında atmosferden aşağı yönde saçıldıktan sonra yüzeyde sensörün anlık görüş alanı içersinden yansayıp görüş yolundan yukarı yönde ilerleyerek sensöre ulaşabilmektedir (Şekil 6b). Bu bileşen yüzey yansıtım değerleri ve atmosferden saçılıp yüzeye ulaşan irradyans değerleri ile orantılıdır. Bununla birlikte bu radyasyon bileşeninin modellenmesinde yüzey topografyası sebebiyle ilgilenilen noktadaki pikselin gök yarımküresinin ne kadarını görebildiğini ifade eden $F(x, y)$ parametresi de mutlaka hesaba katılmalıdır. Örneğin, tümüyle düz bir arazi için $F(x, y)$ parametresi 1 değerine eşittir. Sensör tarafından algılanan radyasyonun L_{λ}^{sd} bileşeni (9) eşitliği yardımıyla modellenmektedir.

$$L_{\lambda}^{sd}(x, y) = F(x, y) \rho(x, y, \lambda) \frac{T_v(\lambda) E_{\lambda}^0}{\pi} \quad (9)$$

c) Atmosferden yukarı yönlü saçılarak yüzeye ulaşmadan geri dönüp sensör tarafından kaydedilen solar radyasyon bileşeni (L_{λ}^{sp}): Rayleigh ve Mie saçılımlarının kombine etkisi

sayesinde meydana gelen bu bileşen sensörün bakış açısına bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple özellikle geniş bakış açısına sahip sensörler tarafından algılanan toplam radyasyon üzerinde etkili olabilmektedir (Şekil 6c).

Yukarıda ifade edilen solar radyasyon bileşenlerinin bir araya getirilmesi sayesinde sensöre ulaşan toplam radyasyon miktarı (10) eşitliğinde ortaya koyulmuştur. Buradan hareketle uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalarda sensör tarafından kaydedilen radyasyon değerleri üzerindeki solar, atmosferik veya topografik kaynaklı etkiler çözümlenebilmektedir. Bu işlem, atmosferik düzeltme olarak adlandırılmakta olup yapılan hesaplamalar sonucunda yüzeye ilişkin yansıtım değerleri elde edilebilmektedir.

$$L_{\lambda}^s(x, y) = L_{\lambda}^{su}(x, y) + L_{\lambda}^{sd}(x, y) + L_{\lambda}^{sp}$$

$$L_{\lambda}^s(x, y) = \rho(x, y, \lambda) \frac{T_v(\lambda)}{\pi} \left\{ T_s(\lambda) E_{\lambda}^0 \cos[\theta(x, y)] + F(x, y) E_{\lambda}^d \right\} + L_{\lambda}^p \quad (10)$$

Atmosferik düzeltme sürecinde atmosferik etkileri başarıyla elemine edebilen çeşitli modeller (5S, 6S, MODTRAN, vb.) geliştirilmiştir (Berk vd., 1989; Tanre vd., 1990; Vermote vd., 1997). Bununla birlikte söz konusu modeller yardımıyla yapılacak çözümlerde sensörün veri kaydıyla eş zamanlı olarak atmosfere ilişkin çeşitli parametrelerin ölçülmüş ve biliniyor olması gerekmektedir. Söz konusu parametrelerin belirlenmesindeki yetersizlikler atmosferik düzeltme stratejilerini de etkilemektedir. Bu sebeple çeşitli kabullere dayalı farklı yaklaşımlarda görüntü tabanlı metotlardan faydalanılarak atmosferik etkiler giderilmeye çalışılmıştır (Teillet ve Fedosejevs, 1995). Bu tür yaklaşımlar atmosferik parametrelere gereksinim duymamaları sebebiyle avantajlı olmalarına rağmen atmosferik görüş yolu geçirgenliğini etkisini ortadan kaldıramamalarından dolayı çözümde yetersiz kalabilmektedirler.

1.7.2.2. Termal Kızılötesi Bölgede Kaydedilen Radyasyon ve Atmosferik Etkileşimler

Elektromanyetik spektrumun uzun dalga boylarına sahip yayılım bölgelerinde yüzeyden yansıyan solar radyasyon önemli oranda azalarak yerini ortama yayılan termal radyasyona bırakır. Yüzeyde bulunan tüm objeler mutlak sıfır (0K) üzerindeki tüm sıcaklıklarda bünyelerinde bulunan moleküllerin kinetik enerjisi sebebiyle termal

radyasyon yayarlar. Söz konusu objeler kusursuz bir yayılım veya absorbe karakterine sahip olsalardı (örn. bir siyah cisim gibi) radyasyon yayılımı Planck eşitliğine (11) uygun olarak gerçekleşecekti. Bununla birlikte gerçekte yüzeyi oluşturan objelerin neredeyse tamamının bu özelliklere sahip olmamasından ötürü (11) eşitliği söz konusu obje yüzeylerinin yayılım kapasitesini belirleyen ve farklı materyallere göre değişen bir yayınlılık parametresi yardımıyla tekrar düzenlenerek (12) halini almaktadır. Yayınlılık parametresi genel olarak dalga boyuna bağımlı bir biçimde değişmektedir.

$$M_{\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 [e^{c_2/(\lambda T_b)} - 1]} \quad (11)$$

Eşitlikte; M_{λ} , spektral radyant yayılımını ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$), T_b , Siyah cisim sıcaklığını (K), $c_1=3.74151 \times 10^8$ ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^4$) ve $c_2=1.43879 \times 10^4$ (μmK) sabitleri ifade etmektedir.

Dünya yüzeyinden yayılan ve uzaktan algılama sensörleri tarafından kaydedilen termal radyasyon (L_{λ}^e) atmosferik etkiler altında üç temel bileşenden meydana gelmektedir (Şekil 8). Bu bileşenler:

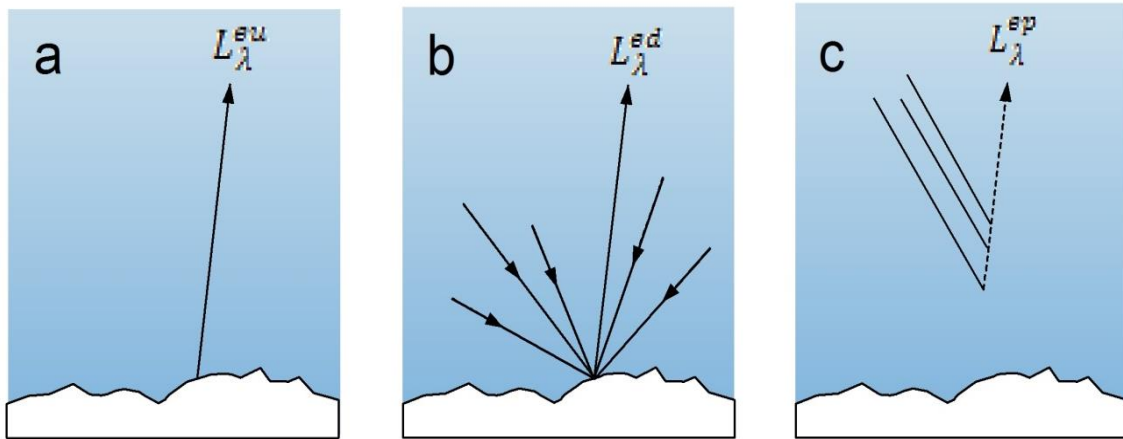
a) Yüzeyden yayılan ve sensör tarafından kaydedilen yukarı yönlü termal radyasyon bileşeni (L_{λ}^{eu}): Dünya yüzeyinde bulunan farklı materyaller aynı sıcaklık değerlerine sahip olsalar bile onlardan yayılan termal radyasyon miktarı farklı olabilmektedir. Bu farklılık objelerin ideal kara cisme ilişkin radyatif özellikler taşımamalarından ötürü dalga boyuna bağlı olarak farklı yayınlılık değerlerine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu objeler radyatif özellikleri yönüyle gri cisim olarak tanımlanabilirler. Elektromanyetik spektrumun termal bölgesinde yayınlılık parametresi, aynı sıcaklıkta herhangi bir gri cismin spektral radyant yayılım miktarının söz konusu cismin siyah cisim olması durumunda yayılacak miktara (11) oranlanması sonucu elde edilir. Bu sebeple yayınlılık parametresi 0-1 aralığında değişmekte olup birimsiz olarak ifade edilmektedir. Buradan hareketle dünya yüzeyinde herhangi bir noktadan yayılan termal radyasyon miktarı;

$$L_{\lambda}(x, y) = \varepsilon(x, y, \lambda) \frac{M_{\lambda}[T_b(x, y)]}{\pi} \quad (12)$$

eşitliğinde ifade edilmektedir. Bununla birlikte eşitlik incelendiğinde yüzeyde bulunan farklı yayınlılık değerlerine sahip materyallerin farklı sıcaklık değerlerine ve farklı spektral

Radyans yayılımlarına sahip olabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca bu etkileşimler dalga boyuna göre de farklılaşabilmektedir. Dolayısıyla objelere ilişkin spektral radyans değerleri üzerinde etkili olan sıcaklık ve yayınlılık parametrelerinin etkilerinin birbirinden ayrılması oldukça önemlidir. Gündüz ve gece periyotları için 250K - 320K civarında değişen dünya yüzey sıcaklıkları söz konusu olduğunda sıcaklık - yayınlılık ayırımına yönelik çeşitli lineer kestirim yaklaşımlarından faydalanılabilmektedir. Elektromanyetik spektrumun termal bölgesinde farklı dalga boyları (10.5 μm , 12.5 μm , 14.5 μm , vb.) için yayınlılık değerleri sabit tutularak spektral radyans değerlerinin bir fonksiyonu olan sıcaklık değerlerinde meydana gelen değişim incelendiğinde spektral radyans değerlerinin yaklaşık olarak lineer bir değişim karakterine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yüzey sıcaklıkları ve spektral radyans değerleri arasındaki bu lineer ilişki sayesinde türetilen a_λ ve b_λ lineer kestirim katsayılarının (12) eşitliğine ilave edilmesiyle; radyans, sıcaklık ve yayınlılık değerleri arasındaki etkileşim modellenenilmektedir (13). Bununla birlikte sıcaklık değerlerinin ifade edilen aralığın (250 – 320K) dışına çıkması durumunda lineer kabul durumu ortadan kalkacağından dolayı söz konusu yaklaşım yerine doğrudan (12) modelinin kullanılması daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

$$L_\lambda(x, y) = \varepsilon(x, y, \lambda) \frac{[a_\lambda T_b(x, y) + b_\lambda]}{\pi} \quad (13)$$



Şekil 8. Elektromanyetik spektrumun yayılım bölgesinde sensör tarafından kaydedilen radyasyon bileşenleri

Dünya yüzeyinde bulunan objelerden yayılan yukarı yönlü termal radyasyon sensöre ulaşınca değin atmosferik görüş yolu geçirgenliği etkisine maruz kalmaktadır (Şekil 8a). Bu durumda doğrudan yüzeyden yayılıp atmosferik geçirgenlik etkisi altında sensöre ulaşan termal radyasyon bileşeni (14) eşitliğinde ortaya koyulmuştur.

$$L_{\lambda}^{eu}(x, y) = \varepsilon(x, y, \lambda) \frac{T_v[a_{\lambda}T_b(x, y) + b_{\lambda}]}{\pi} \quad (14)$$

b) Atmosferden aşağı yönlü yayıldıktan sonra yüzeyden yansıyıp tekrar atmosferden geçerek sensör tarafından kaydedilen termal radyasyon bileşeni (L_{λ}^{ed}): Atmosferin bünyesinde bulunan çeşitli moleküller ve partiküller tarafından ortama uzun dalga boylarında aşağı yönlü termal radyasyon yayılabilmektedir (Şekil 8b). Söz konusu radyasyonun bir bölümü yüzeyde sensörün anlık görüş alanı içinden yansdıktan sonra yukarı yönde hareket ederek atmosferden geçip sensöre ulaşabilmektedir. Sensör tarafından kaydedilen termal radyasyonun bu bileşeni (15) eşitliğinde ifade edilmiştir.

$$L_{\lambda}^{ed}(x, y) = F(x, y, \lambda) \rho(x, y, \lambda) \frac{T_v(\lambda) M_{\lambda}^a}{\pi} \quad (15)$$

Eşitlikte, M_{λ} atmosferden yayılan spektral radyant miktarını ifade etmektedir. Ayrıca daha önce (9) eşitliğinde de faydalanılan $F(x, y)$ parametresi; elektromanyetik spektrumun görünür, yakın ve orta kızılötesi bölgeleri için kurulan modelde olduğu gibi yüzey topografyası sebebiyle ilgilenilen noktadaki pikselin gök yarımküresinin ne kadarını görebildiğini ifade eden fonksiyondur.

Yüzeyde bulunan objelerin geçirimsiz yapıda olduğu varsayıldığında objelere ilişkin yansıtım ve yayınlılık değerleri arasında oldukça önemli bir ilişki mevcuttur. Kirchhoff kuralı ile açıklanan bu ilişki eşitlik (16)'da ortaya koyulmuştur ve spektrumun tüm dalga boyları için geçerlidir. Ayrıca, ifade edilen koşullarda (16) eşitliği (15) eşitliğinde yerine koyularak modelde terim sayısı azaltılabilmektedir.

$$\rho(x, y, \lambda) = 1 - \varepsilon(x, y, \lambda) \quad (16)$$

c) Atmosferden yukarı yönlü yayılarak sensör tarafından kaydedilen termal radyasyon bileşeni (L_{λ}^{ep}): Planck siyah cisim kuramına göre farklı yüksekliklerde sıcaklığa bağlı olarak atmosferden yukarı yönde radyasyon yayılımı gerçekleşmektedir (Şekil 8c). Sensörün görüş yolu boyunca etkili olan bu radyasyon bileşeni, atmosferde yüksekliğe bağlı olarak değişen sıcaklık değerleri sebebiyle farklı sıcaklıklar için farklı siyah cisimlerden yayılan spektral radyant miktarlarının karışımından meydana gelmektedir. Ayrıca, atmosfer tarafından alçak irtifalarda absorbe edilen radyasyon daha yükseklerde tekrar ortama yayılmaktadır. L_{λ}^{ep} bileşenini meydana getiren bu atmosferik etkileşimler oldukça kompleks bir biçimde gerçekleşmektedir. Bununla birlikte, nadirden yaklaşık $\pm 20^{\circ}$ veya daha az bir yönelim açısı ile veri kaydeden sensörler için bu L_{λ}^{ep} bileşeninin etkisinin tüm görüntü üzerinde önemli oranda değişmediği ortaya koyulmuştur. Söz konusu etki özellikle sensörün nadirden büyük yönelim açılarıyla (yaklaşık $\pm 20^{\circ}$ den fazla) veri algılaması durumunda ve çeşitli faktörler (örn., orman yangınları gibi yakın yüzey sıcaklıklarını radikal biçimde değiştirebilen olaylar) sebebiyle yakın yüzey atmosferik sıcaklıklarının konumsal dağılımında sıra dışı farklılıkların oluşması durumunda artmaktadır (Schott, 2007).

Yukarıda ifade edilen termal radyasyon bileşenlerinin bir araya getirilmesi sayesinde sensöre ulaşan toplam radyasyon miktarı (17) eşitliğinde ortaya koyulmuştur. Termal uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalarda sensör tarafından kaydedilen radyasyon değerleri (L_{λ}^e); üzerindeki solar, atmosferik veya topografik kaynaklı etkilerin hesaplanması ve ayrıştırılması gerekmektedir. Bu süreç termal atmosferik düzeltme olarak adlandırılmakta olup yapılan işlemler sonucunda AYS değerlerine ulaşılabilir. Termal atmosferik düzeltme yapılmaksızın doğrudan sensör tarafından kaydedilen TOA (top of the atmosphere) radyans değerleri kullanılarak elde edilen TOA sıcaklık değerleri ile AYS sıcaklıkları arasında atmosferik parametrelere bağlı olarak 1-5 K düzeylerine varan farklılıklar meydana gelebileceği ortaya koyulmuştur (Prata vd., 1995). Dolayısıyla, AYS belirlenmesinde termal atmosferik düzeltme yapılması daha sağlıklı ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır (Franc ve Cracknell, 1994).

$$L_{\lambda}^e(x, y) = L_{\lambda}^{eu} + L_{\lambda}^{ed} + L_{\lambda}^{ep}$$

$$L_{\lambda}^e(x, y) = \varepsilon(x, y, \lambda) \frac{T_v(\lambda)}{\pi} [a_{\lambda} T(x, y) + b_{\lambda}] + F(x, y, \lambda) \rho(x, y, \lambda) \frac{T_v(\lambda) M_{\lambda}^a}{\pi} + L_{\lambda}^{ep} \quad (17)$$

Literatürde AYS değerlerinin elde edilmesi amacıyla genel olarak üç grup termal atmosferik düzeltme yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar ilgili sensörlerin elektromanyetik spektrumun termal kızılötesi bölgesinde bulunan bant sayısına ve bu bantların tasarımına göre farklılaşmaktadır. İlk grup termal atmosferik düzeltme teknikleri NOAA-AVHRR gibi çok termal bantlı platformlar için geliştirilmiş olan bölünmüş pencere algoritmasına dayalı metotlardan (Becker ve Li, 1990), ikinci grup teknikler MODIS ve ASTER gibi gece ve gündüz çok bantlı termal kızılötesi veri kaydedebilen platformlar için geliştirilmiş çeşitli yaklaşımlardan (Wan vd., 2002), üçüncü grup metotlar ise tek termal banda sahip platformlar için ortaya koyulmuş çeşitli yaklaşımlardan (Price, 1983) oluşmaktadır.

Landsat TM4/5 ve ETM+ gibi üçüncü grupta bulunan tek termal bantlı platformlarda termal atmosferik düzeltme süreci çok termal bantlı platformlara göre oldukça güçtür. Bu tür platformlarda termal atmosferik düzeltme yapabilmek amacıyla literatürde çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir (Qin vd., 2001; Barsi vd., 2003; Jimenez-Munoz ve Sobrino, 2003; Li vd., 2004; Cristobal vd., 2009). Geliştirilen yaklaşımlar çoğunlukla atmosferik düzeltme metodolojilerinde atmosferik in-situ verilere ihtiyaç duymaktadır. Diğer iki grupta bulunan çok termal bantlı sensörlere yönelik yaklaşımlarda ise termal atmosferik düzeltme sürecinde en önemli parametrelerden biri olan eş zamanlı yüzey yayınlılık değerleri görüntü tabanlı olarak kestirilebilmekte ve sıcaklık-yayınlılık ayrımı yapılabilir. Bu amaçla; referans kanal metodu (Kahle vd. 1980), normalize edilmiş yayınlılık metodu (Gillespie, 1986), alfa farklar metodu (Kealy ve Gabell, 1990), termal spektral indisler metodu (Becker ve Li, 1990), spektral oran metodu (Watson 1992), maksimum-minimum yayınlılık farkını kullanarak sıcaklık-yayınlılık ayırım algoritması (TES) (Gillespie vd., 1998) gibi birçok yaklaşım birçok yaklaşım geliştirilmiş ve performansları incelenmiştir (Li vd., 1999). Tek termal bantlı platformlarda ise yüzey yayınlılık değerlerinin belirlenmesine yönelik olarak bitki örtüsü indislerine dayalı çeşitli yayınlılık kestirim metotlarından faydalanılabilmektedir (Valor ve Caselles 1996).

1.8. Kentsel Isı Adası Etkisinin Modellenmesi

Yoğun kentleşme süreçleri içinde KIA olgusu ile karşı karşıya kalan kentlerde, KIA oluşum süreçlerinin doğru analiz edilebilmesi ve etkisinin azaltılmasına yönelik uygun yaklaşımların belirlenmesi amaçlandığında KIA etkisinin başarıyla modellenmesi oldukça önemlidir. Bu aşamada her kentin kendine özgü sosyo-ekonomik, iklimsel ve coğrafi özelliklerine ilişkin KIA oluşumunda potansiyel olarak etkili olabilecek birçok faktörün (Bkz. Bölüm 1.5) değerlendirilmesi ve kentte oluşmuş KIA karakteri ile bu faktörlerden etkin olanlar arasında kantitatif modeller kurulması gerekmektedir. Bu sebeple literatürde KIA olgusuna ilişkin yapılan araştırmaların önemli bir bölümünde, tespit edilen KIA etkisinin modellenmesine yönelik çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu tür araştırmalarda kentsel planlama süreçlerinde KIA etkisini de göz önünde bulundurabilecek çeşitli modeller ve metotlar üzerinde durulmaktadır. Ayrıca geliştirilen modeller sayesinde ilgili kentte KIA etkisine sebep olan faktörlere müdahale edilmesi veya edilmemesi sonucunda gerçekleşebilecek senaryolar da simule edilebilmektedir. Bu sayede KIA etkisinin azaltılmasına yönelik bir çalışmada hangi faktöre ne oranda müdahale edileceği tespit edilebilecektir. KIA etkisinin modellenmesine yönelik yaklaşımlar genel olarak; nümerik modeller ve deneysel modeller olmak üzere iki ana kategoride ifade edilebilmektedir (Oke, 1984).

1.8.1. Nümerik Modeller

Oldukça kompleks bir yapıda olan atmosferik etkileşim süreçlerini simule edebilmek amacıyla birçok nümerik model geliştirilmiştir (Pielke, 2002). Söz konusu modeller yüzey enerji dengesi kuramından hareketle; tek, iki veya üç boyutlu olarak tasarlanabilmektedir. Bu sayede yüzey ve atmosferin çeşitli katmanları arasındaki karmaşık etkileşimler modellenabilmektedir. Kentsel ortamda (yüzey ve atmosfer) meydana gelen iklimsel değişimlerin en önemli sonuçlarından birisi olan KIA etkisinin modellenmesi amaçlandığında da nümerik modellerden faydalanılmaktadır. Genel olarak nümerik KIA modelleri; birim binalara, caddelerin meydana getirdiği kanyonlara veya tüm kentsel bölgeye yönelik olarak geliştirilmektedir. Binalara ilişkin geliştirilen modellerde; bina konumu, geometrisi, inşaat tarzı, aydınlanması, ısıtma ve soğutma sistemleri gibi değişkenlerin enerji dengesi üzerindeki etkileri hesaba katılmaktadır (Kikegawa vd., 2003).

Heiple ve Sailor, 2008; Salamanca vd., 2010). Kentsel kanyon modellerinde ise tek bina yerine, caddeler ile etraflarında konumlanmış çok sayıda binanın birlikte meydana getirdiği konfigürasyon analiz edilmektedir. Bu tür numerik modellerde yüzey enerji dengesi eşitliklerinden faydalanılarak caddeler etrafındaki bina duvarları ile yolları kaplayan malzemeler arasındaki ısı transfer süreçleri ortaya koyulmaktadır. Bu amaçla; kanyon geometrisi, rüzgâr karakteri, gelen solar radyasyon miktarı ve günün çeşitli zamanlarında oluşan gölge durumu gibi parametreler hesaba katılmaktadır (Arnfield, 2003). Kentsel kanyon modelleri, değiştirilmiş kentsel yüzey materyalleri ve topografyayı bünyesinde bulunduran kentsel örtü tabakasında yoğun olarak gerçekleşen termal etkileşimleri parametrize edebilmesi yönüyle oldukça önemlidir. Dolayısıyla literatürde KIA etkisinin modellenmesi amacıyla kentsel kanyonlar için farklı parametrelere dayalı çok sayıda numerik model geliştirilmiştir (Nunez ve Oke, 1977; Arnfield, 2003). Örneğin, Johnson vd. (1991) ve Oke vd. (1991), yüzey ve yüzey altı sıcaklıklarını kestirebilen basit tek boyutlu bir kanyon modeli ortaya koymuştur. Bu modelde kullanılan formülasyon, kentsel kanyonun yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkisinin modellenmesine imkân sağlamaktadır. Geliştirilen modelin önemli iki dezavantajı ise rüzgârsız, durgun ve açık gökyüzü koşullarının gerçekleşmemesi durumunda başarılı sonuçlar üretememesi ve adveksiyon etkisini göz önünde bulundurmamasıdır. Swaid (1993) kentsel kanyon etkisini modelleyerek kanyona ilişkin boy-en oranının, yakın yüzey sıcaklıkları ve rüzgâr akışı üzerinde oldukça güçlü bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Benzer biçimde kentsel geometrinin kent iklimi üzerindeki etkilerini tespit edebilmek amacıyla da birçok model geliştirilmiştir (Barring ve Mattsson, 1985; Todhunter, 1990; Sakakibara, 1996). Ayrıca, çeşitli kentsel kanyon modellerinde KIA oluşumunun binaların enerji tüketimi üzerinde meydana getirdiği etkiler de analiz edilmiştir (Santamouris vd., 2001).

Literatürde KIA etkisinin modellenmesi amacıyla, kentsel bölge üzerinde bütüncül olarak uygulanabilen çeşitli numerik yaklaşımlar da geliştirilmiştir. Bu amaçla Tapper vd. (1984) tek boyutlu yüzey enerji dengesi modelinden (Sellers, 1969) faydalanarak KIA etkisini modellemeye çalışmıştır. Söz konusu numerik modelde; net radyasyon, hissedilir ve gizli ısı akısı gibi yüzey enerji dengesini meydana getiren bileşenlerin konumsal değişim süreci adveksiyon etkisi göz önünde bulundurulmadan ortaya koyulmuştur. Benzer bir çalışmada Bornstein (1975), kentsel yüzey ve yukarı sınır katmanlarından oluşan iki boyutlu numerik bir hidrostatik kentsel sınır tabakası (URBMET) modeli geliştirmiştir. Modelde ısı kondüksiyonu ve vortisiti adveksiyonunu ifade eden eşitlikler kullanılarak

kentsel bölge için üç farklı durum (engebeli kent, sıcak kent, engebeli ve sıcak kent) simule edilmiştir. Bu sayede ilgili kentte model yardımıyla yapılan simülasyonlarda gündüz ve gece dönemlerinde kentsel sınır tabakasının termal karakteristiğinde meydana gelen değişimler KIA etkisinin varlığı veya yokluğu durumlarına göre rüzgâr hızı değişimleri de dikkate alınarak ortaya koyulabilmektedir. KIA etkisinin modellenmesine yönelik ilk üç boyutlu numerik model Vukovich vd. (1976) tarafından geliştirilmiştir. Model formülasyonunda hidrostatik ve adiyabatik olarak öngörülen atmosferik alt sınır tabakası koşulları potansiyel sıcaklıklarla birlikte değerlendirilmekte olup yüzey enerji dengesi kuramından faydalanılmamaktadır. Benzer biçimde Yoshikado (1992) yoğun kentleşme faaliyetleri altındaki Tokyo kentinde üç boyutlu bir numerik model kullanarak deniz meltemi ve çeşitli kentsel kaynaklı sirkülasyonların KIA şiddeti üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Schayes vd. (1996) iki boyutlu URBMET modeline üç boyutlu topografya bilgisini ilave ederek URBMET/TVM modelini geliştirmişlerdir.

KIA etkisinin modellenmesine ve etki azaltıcı senaryoların geliştirilmesine yönelik olarak bölgesel iklim modellerinden de faydalanılmaktadır. Bölgesel iklim modelleri insan kaynaklı olan veya olmayan birçok faktörü meteorolojik, fiziksel ve fotokimyasal modelleme teknikleri yardımıyla modelleyerek bölgesel iklim değişimlerini simule edebilmektedir. Bu önemli kabiliyetleri sayesinde bölgesel iklim modelleri, yeterli kalitede girdi verisi olması durumunda KIA etkisine yol açan faktörlere yapılacak müdahalelerin gelecekte kent iklimi, enerji tüketimi, hava kirliliği, termal konfor gibi farklı bileşenler üzerinde meydana getireceği sonuçlar simule edilebilmektedir. Literatürde bu amaçla MM5 (Dudhia, 1993; Taha, 2008), WRF (Chen vd., 2014; Salamanca vd., 2012; Miao vd., 2009), RAMS (Tripoli ve Cotton, 1982) gibi çeşitli bölgesel iklim modellerinden faydalanılmıştır. Numerik KIA modelleme yaklaşımları ile oldukça gerçekçi analizler ve simülasyonlar yapılabilmesine karşın bu tür modelleme yaklaşımlarında gerekli girdi verilerinin yeterli kalitede derlenememesi sonuçlar üzerinde oldukça olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Bu sebeple numerik modeller, uygulanması oldukça zor ve veri edinimi yönüyle de maliyetli yöntemlerdir.

1.8.2. Deneysel Modeller

KIA etkisine yol açan faktörleri modelleyebilmek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir diğer yaklaşım deneysel modellerdir. Bu modeller; istatistiksel algoritmalar, çeşitli

parametrizasyon teknikleri, mühendislik formülleri ve çeşitli kalitatif kavramlardan meydana gelirler. Deneysel modeller, durağan ve yüksek temsil gücüne sahip eğitim verilerinden faydalanarak verilere ait temel özellikler üzerindeki çeşitli değişimleri modelleyebilmektedirler. Bu amaçla yapılan analizlerde, verilere ilişkin doğrudan gözlemlenmiş istatistiksel özelliklerden faydalanılması modelleme performansı için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Deneysel modeller içinde KIA etkisi ile bu etkiyi meydana getiren faktörler (Bkz. Bölüm 1.5) arasındaki ilişkisel modelleri kurmak için en yaygın kullanılan teknikler istatistiksel yaklaşımlardır. Bunun sebebi bu modellerin, KIA oluşumu üzerinde önemli role sahip olan çeşitli faktörlere ilişkin oldukça kullanışlı ve yüksek temsil gücüne sahip kantitatif bilgiler sağlamasıdır (Kuttler vd., 1996; Giridharan vd., 2007; Balázs vd., 2009).

Literatürde istatistiksel yaklaşımlarla hem atmosferik KIA hem de yüzey KIA etkisini modelleyebilmek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (Arnfield, 2003). Bu çalışmalarda çeşitli tekli veya çoklu regresyon modellerinden yoğun olarak faydalanılmıştır. Bu amaçla yapılan öncül araştırmalarda başta nüfus, kent geometrisi, iklim ve arazi örtüsü değişimi olmak üzere KIA oluşumunda etkin birçok faktör istatistiksel olarak modellenmiştir (Eliasson, 1996; Giridharan, 2004). Oke, 1973; Avrupa ve Kuzey Amerika ülkeleri için geliştirdiği istatistiksel modelde KIA yoğunlukları ile nüfus artış miktarlarının logaritması arasında oldukça güçlü ve neredeyse doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, kentsel geometriyi ifade eden çeşitli ölçütlerden de KIA etkisinin istatistiksel olarak modellenmesi sürecinde faydalanılmaktadır. Bu amaçla; gökyüzü görüş oranı (Barring ve Mattsson, 1985), kentsel kanyonların boy-en oranı (Goh ve Chang, 1999), bina yükseklikleri (Giridharan, 2004), vb. kent geometrisini ifade eden parametrelerden faydalanılan çeşitli çalışmalarda KIA etkisi istatistiksel olarak modellenmiştir. Oke (1981) gökyüzü görüş oranı ile KIA yoğunlukları arasında geliştirdiği istatistiksel modelde bu parametrenin KIA şiddetinde meydana gelen değişimleri açıklayabilirliği yönüyle oldukça başarılı olduğunu ifade etmiştir. Aynı çalışmada, boy-en oranı parametresinin de bu anlamda oldukça önemli olduğu ifade edilmiştir.

Günümüzde gelişen uzaktan algılama, CBS ve bilgisayar teknolojilerinden faydalanılarak yüzeyi temsil edebilirliği oldukça yüksek, yoğun ve çok boyutlu veri setleri üretilebilmektedir. KIA yoğunlukları ile bu çok boyutlu veri setleri arasındaki karmaşık ilişkiler, gelişmiş interpolasyon ve çok boyutlu lineer regresyon teknikleri kullanılarak

modellenebilmektedir (Svensson vd., 2002; Vicente-Serrano vd., 2005; Alcoforado ve Andrade, 2006; Laszlo vd., 2011). Örneğin, Sherafati vd. (2013) Tahran kenti için yapay sinir ağları ve destek vektör regresyon tekniklerini kullanarak çeşitli kentsel gelişim parametreleri ile KIA arasındaki ilişkiyi modellemiştir. Benzer biçimde Zhou vd. (2011) gece döneminde Streutker (2003) tarafından önerilen gauss tabanlı yaklaşım ile KIA etkisini karakterize etmiş ve elde ettiği KIA parametreleri ile KIA oluşumunda etkili çeşitli faktörler arasında destek vektör regresyon tekniği yardımıyla istatistiksel bir model geliştirmiştir. İfade edilen tekniklerin CBS ortamlarında konum bilgisi ile entegre bir biçimde kullanılması sayesinde, ilgili kentsel bölgede KIA etkisinin ve bu etkiyi meydana getiren faktörlerin etkileşimleri konuma bağlı nicel istatistiksel analizler ile ortaya koyulabilmektedir (Szymanowski ve Kryza, 2012). Bu amaçla uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak üretilmiş; yüksek konumsal çözünürlüklü arazi örtüsü/kullanım verileri (Carlson ve Arthur, 2000), çeşitli topografik veriler, üç boyutlu bina modelleri gibi kentsel ortamı nicel olarak karakterize edebilen birçok veri setinden CBS araçları yardımıyla faydalanılabilmektedir. Özellikle yoğun kentleşmiş bölgeler için geliştirilen KIA modellerinde yeterli konumsal çözünürlükte üç boyutlu veri kullanılması oldukça önemlidir (Unger, 2006). Son dönemlerde gelişen fotogrametri ve LiDAR teknolojileri sayesinde üretilen yüksek konumsal çözünürlüğe sahip üç boyutlu veri setleri, kentsel geometriye ilişkin karakteristik özelliklerin oldukça hızlı ve yüksek doğruluklu olarak ortaya koyulmasına olanak sağlamaktadır (Chun ve Guldman, 2014).

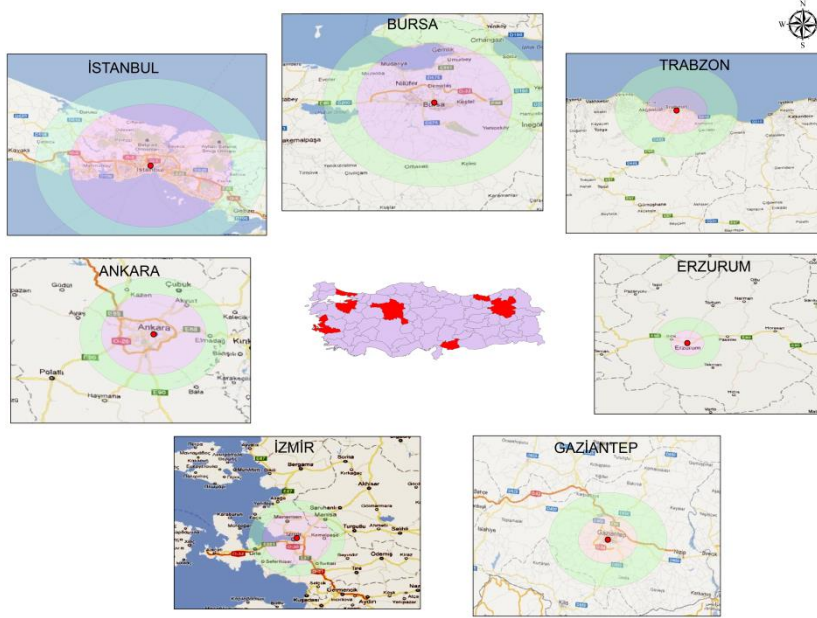
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanı

Metropol kentler kendilerine özgü ticari, ekonomik, sosyo-kültürel ve çevresel özellikleri sebebiyle önemli göç çekim merkezleridir. Küçük kentlerden veya bu kentleri çevreleyen kırsal bölgelerden başlayan göç hareketi, ilk aşamada bu bölgelere en yakın büyük kent merkezlerine doğru gerçekleşmektedir. Türkiye'nin yedi farklı coğrafi bölgeden oluşan kent dağılımı göz önünde bulundurulduğunda her bölgede uzun yıllar boyunca civar kentlerden göç alan çeşitli kent merkezleri bulunmaktadır. Sürekli göç etkisi altında olan bu kentsel bölgelerde KIA oluşumu beklenen bir durumdur. Bununla birlikte, farklı bölgelerin farklı iklimsel, coğrafi ve sosyo-ekonomik özellikleri bu kentlerde KIA karakterini farklılaştırabilmektedir. Bu çalışmada Türkiye için genel KIA karakteristiğinin yüksek oranda temsil edilebilirliği amacıyla kıyı ve iç bölgeleri kapsayan yedi farklı coğrafi bölgede birer metropol veya büyük kent merkezi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu kentler; İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Trabzon, Erzurum ve Gaziantep olarak seçilmiştir. KIA kavramı bilindiği üzere kent merkezi ile kent merkezini çevreleyen yakın kırsal alanlar için öngörülen iklimsel bir tanımlamadır. Bu sebeple seçilen kentlerde KIA yoğunluğu ve konumsal dağılımının hesaplanabilmesi amacıyla kentsel bölgeleri çevreleyen yakın kırsal bölgeler de çalışma alanlarına dahil edilmiştir (Şekil 9). Söz konusu kent merkezlerinde son yüzyılda meydana gelen hızlı nüfus artışı beraberinde kentlerin arazi örtüsü/kullanım yapısının da insan kaynaklı olarak önemli oranda değiştirilmesine sebep olmuş ve geçirimsiz yüzey miktarını önemli oranlarda artmasına yol açmıştır. Çalışma alanında bulunan kentlerin coğrafi, iklimsel ve demografik çeşitli özellikleri incelenecek olursa:

İstanbul kenti; coğrafi olarak Asya'yı Avrupa'ya bağlayan, en uzun kıyı şeridinde sahip yarımada karakterinde ve ortasından su yolu geçen deniz seviyesine kadar kazılmış penepen arazilere sahip eşsiz bir metropoldür. Kentin iklimi; Akdeniz, Karadeniz ve Balkan iklim sistemlerinin etkisi altında olup yıllık ortalama 13.5 °C sıcaklık değerine sahiptir. Yıllık yağış miktarı, 720-788 mm arasında değişmektedir. İstanbul kentinin topografyasının %4.5'ini dağlar, %69'unu plato/yamaçlar ve %9'unu taban düzlükleri/ovalar oluşturur. İstanbul kentinin nüfusu 2013 verilerine göre 14.160.467 kişi

olarak tespit edilmiştir. Buradan hareketle yüzölçümü 5313 km² olan kentin nüfus yoğunluğu 2.725 kişi/km², nüfus artış hızı %15.2 olarak hesaplanmaktadır (TUİK, 2013a).



Şekil 9. Çalışma alanı olarak seçilen kentler

Ankara kenti; coğrafi yapısı ile Kızılırmak ve Sakarya nehirlerinin kolları arasında yer alan doğu-batı yönünde uzanan ovalardan meydana gelir. Deniz seviyesinden ortalama 890m yükseklikte bulunan kent kırsal bölgeleri ile birlikte 25.437 km² yüzölçümüne sahiptir. Geniş arazisi ile bölgesel olarak farklı iklim sistemlerinde etkilenebilmekte olup yıllık ortalama sıcaklık 11.7 °C'dir. Kuzeyde Karadeniz'den gelen ılıman ve yağışlı sistemin etkileri görülebilirken güneyinde karasal step iklimi etkili olmaktadır. Yıllık ortama toplam yağış miktarı 377.6 mm civarındadır. Ankara kentinin 1923 yılında Türkiye Cumhuriyeti'nin başkenti olması sosyo-ekonomik karakterini önemli oranda değiştirerek sonra günümüze değin yoğun göç almasına, sanayi faaliyetlerinin artmasına ve metropol kent haline dönüşmesine sebep olmuştur. Türkiye'nin İstanbul'dan sonra ikinci büyük kenti olan Ankara'nın nüfusu 2013 verilerine göre 5.045.083 kişi olarak tespit edilmiştir. Buradan hareketle kentin nüfus yoğunluğu 202 kişi/km², nüfus artış hızı ise %20.6 olarak hesaplanmaktadır (TUİK, 2013b).

İzmir kenti; coğrafi yapısını Ege Bölgesi'nin doğu-batı doğrultulu ve geniş tabanlı ovaları ile onları birbirinden ayıran aynı doğrultudaki denize dik dağ sıraları oluşturur. Ege

denizi kıyısında bulunan kent oldukça girintili-çıkıntılı yapıda bir kıyı morfolojisine sahiptir. Akdeniz iklimi etkisinde olan kentte, dağların denize dik konumu ve ovaların iç kesimlere kadar sokulabilmesi denizel etkilerin iç bölgelere ulaşabilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, değişken topografik yapı yağış, sıcaklık ve güneşlenme oranı gibi çeşitli iklimsel parametrelerin bölgesel olarak farklılaşabilmesine sebep olabilmektedir. Kentte uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri 17.9 °C olup artış eğilimi göstermektedir. Yıllık ortalama toplam yağış miktarı ise 689,0 mm olarak tespit edilmiştir. İzmir, sosyo-ekonomik yönden yoğun sanayi ve ihracat potansiyeli sebebiyle hızla göç alan, yüksek kentleşme oranına sahip bir metropol kenttir. Türkiye'nin üçüncü büyük kenti olan İzmir kenti nüfusu 2013 verilerine göre 4.061.074 kişi olarak tespit edilmiştir. Buradan hareketle yüzölçümü 12.007 km² olan kentin nüfus yoğunluğu 338 kişi/km², nüfus artış hızı %12.7 olarak hesaplanmaktadır (TUİK, 2013c).

Bursa kenti, genellikle doğu-batı yönünde uzanan sıradağlar ve bunlar arasında kalan ovalardan oluşan bir coğrafi yapıdadır. Kentin alanının %17'sini ovalar oluşturmaktadır. Kentin iklimi, genel olarak Akdeniz iklim sistemi etkisinde olup bölgesel olarak Karadeniz iklimi karakteri de görülebilmektedir. Bursa kent merkezinde yıllık sıcaklık ortalaması 14.5 °C civarındadır. Yıllık ortalama toplam yağış miktarı ise 706 mm olarak gözlemlenmiştir. Türkiye'nin en kalabalık dördüncü kenti olan Bursa aynı zamanda ülkenin en yoğun sanayi faaliyetlerinin gerçekleştirildiği kent merkezlerindendir. Bu sebeple ortaya çıkan yüksek iş potansiyeli kentin yüksek oranda göç almasına neden olmaktadır. Bursa kentinin nüfusu 2013 verilerine göre 2.740.970 kişi olarak tespit edilmiştir. Buradan hareketle yüzölçümü 10.882 km² olan kentin nüfus yoğunluğu 263 kişi/km², nüfus artış hızı %16.8 olarak hesaplanmaktadır (TUİK, 2013d).

Trabzon kenti, coğrafi olarak Çoruh vadisi ile Melet çayı arasında kalan ve sahile paralel yaklaşık 325 km uzunluğundaki dağların meydana getirdiği platformun kuzey kısmını kaplamaktadır. Deniz seviyesinden itibaren güneye doğru artan yükseklik 3000 m civarına kadar ulaşabilmektedir. Oldukça sarp ve engebeli topografik özellikleri sebebiyle yerleşim yoğunluğu kent merkezinin de kurulu olduğu kıyı bölgelerdedir. Kentin kıyı kesiminde denizin etkisiyle ılıman iklim özellikleri etkilidir. Bu sebeple yaz dönemi orta kış dönemi ise ılık sıcaklık seviyelerinde geçmektedir. Ayrıca, kentin güneyinde bulunan Kafkas dağları kuzey batıdan gelen soğuk rüzgârları ve Sibirya'nın soğuk havasıyla Kuzey Doğu Anadolu'da soğuyan hava akımlarının bölgeye ulaşmasını engellemesi ılıman iklim karakterinin oluşmasında oldukça etkilidir. Trabzon kent merkezinde ve yakın kırsal

çevresinde yıllık ortalama sıcaklık 14.6 °C'dir. İklim karakterinin etkisiyle oldukça nemli ve yağışlı bir kent olan Trabzon'da yıllık ortalama toplam yağış miktarı 831.3 mm düzeyindedir. Trabzon kentinin sarp arazi yapısı büyük çaplı sanayi faaliyetlerine olanak sağlamasına rağmen; kültür, turizm, ulaşım ve tarıma dayalı belli başlı sektörlerdeki iş potansiyeli özellikle yakın illerden göç almasına sebep olmaktadır. Trabzon kentinin nüfusu 2013 verilerine göre 758.237 kişi olarak tespit edilmiştir. Buradan hareketle yüzölçümü 4.662 km² olan kentin nüfus yoğunluğu 163 kişi/km², nüfus artış hızı %11.2 olarak hesaplanmaktadır (TUIK, 2013e).

Gaziantep kenti, genel olarak dalgalı ve engebeli topografik yapısıyla güneydoğu Torosların uzantısı olan Sof Dağı ile güneyde Amanos (Nur) Dağları arasında konumlanmaktadır. Kırsal bölgesi ile birlikte kentin yaklaşık ¼'ünü de ovalar meydana getirmektedir. Denizden yüksekliği 855 m olan Gaziantep kenti hem karasal hem de Akdeniz iklimi etkisinde kalmaktadır. Bu sebeple yaz dönemi oldukça sıcak ve kurak, kış ve bahar dönemleri ise yağışlı geçmektedir. Gaziantep kent merkezinde ve yakın kırsal çevresinde yıllık ortalama sıcaklık 14.5 °C civarındadır. Kurak yaz mevsiminin etkisi ile nispeten düşük olan yıllık toplam yağış miktarı 556.2 mm düzeyinde gerçekleşmektedir. Gaziantep özellikle son yıllarda gelişen sanayi faaliyetleri ve Türkiye'nin en önemli tarımsal kalkınma projesi olan Güneydoğu Anadolu Projesinin merkezinde yer alması sebebiyle meydana getirdiği potansiyel ile çevresindeki birçok kentten hızla göç almaktadır. Kentin nüfusu 2013 verilerine göre 1.844.438 kişi olarak tespit edilmiştir. Buradan hareketle yüzölçümü 6.887 km² olan kentin nüfus yoğunluğu 270 kişi/km², nüfus artış hızı %24.1 olarak hesaplanmaktadır (TUIK, 2013f).

Erzurum kenti, deniz seviyesinden oldukça yüksek bölgelerde konumlanmıştır. Bu sebeple kentin coğrafi karakterini kuzeyinde Kuzey Anadolu Dağları ile güneyde Karasu-Aras dağları arasında bulunan çeşitli ovalar ve platolar oluşturmaktadır. Kent merkezi de Erzurum ovası kenarında 1853 m rakımda kurulmuştur. Kentin iklimi, genel olarak karasal iklim özellikleri göstermektedir. Bu sebeple kış dönemi oldukça uzun ve sert, yazları ise kısa ve ılık geçmektedir. Erzurum kent merkezinde ve yakın kırsal çevresinde yıllık ortalama sıcaklık 6.1 °C dolayındadır. Kentte kurak aylarda bile yağış görülebilmekte olup yıllık ortalama yağış 476 mm düzeyindedir. Erzurum kentinde çeşitli sanayi faaliyetleri de yapılmakla birlikte ekonomik hayatın temelini tarıma dayalı faaliyetler oluşturmaktadır. Bununla birlikte son yıllarda kırmızı et, süt ve yumurta gibi tarımsal ürünlerin üretimi ve bunlara dayalı sanayi faaliyetleri de artış göstermiştir. Kent son yıllarda göç veren bir

kimliğe bürünmesine rağmen uzun yıllar boyunca özellikle çevre kentlerden göç almış ve bulunduğu bölgenin en önemli kent merkezlerinden birisi haline gelmiştir. Kentin nüfusu 2013 verilerine göre 766.729 kişi olarak tespit edilmiştir. Buradan hareketle yüzölçümü 25.355 km² olan kentin nüfus yoğunluğu 30 kişi/km², nüfus artış hızı -%4.5 olarak hesaplanmaktadır (TUİK, 2013g). Bununla birlikte kent merkezinde nüfus yoğunluğu 136 kişi/km² civarındadır.

2.2. Veri

Bölüm 1.2’de ifade edilmiş olan çalışmanın temel amaçlarının gerçekleştirilebilmesi amacıyla, seçilen çalışma alanlarına ilişkin farklı kaynaklarca üretilmiş çeşitli veri setleri temin edilerek çalışmada kullanılmıştır. Söz konusu veri setleri:

- ✓ Çok-bantlı uydu görüntüleri
- ✓ Yersel meteorolojik veriler
- ✓ Sosyo-ekonomik veriler (Kişi Sayısı (KS), Nüfus Yoğunluğu (NY), Elektrik Enerjisi Tüketimi (EET))
- ✓ Coğrafi veriler (Arazi Örtüsü/Kullanımı, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Ortalama Bina Yüksekliği (OBY))

olmak üzere dört grupta toplanabilir.

2.2.1. Uydu Verileri

UA teknikleri kullanılarak yüzey KIA etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlerde AYS oldukça önemli bir parametredir (Voogt ve Oke, 1998; Cristobal vd., 2009). AYS yersel meteorolojik in-situ gözlemleriyle ve Termal Uzaktan Algılama (TUA) teknikleri yardımıyla elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, kentsel bölgelerde AYS değerleri kompleks ve oldukça heterojen bir dağılım göstermektedir. Bu durum geniş alanlarda eş zamanlı ve yoğun veri elde etme kabiliyeti sebebi ile TUA teknolojilerini AYS gözlemleri için güçlü bir alternatif durumuna getirmiştir. Çok sayıda uydu ve hava platformu (HCMM, Landsat TM/ETM+, AVHRR, MODIS, ASTER, TIRS, vb.) yardımıyla bu amaçla farklı spektral, konumsal ve zamansal çözünürlüklerde termal görüntü verisi temin edilebilmektedir. Ayrıca bu platformların birçoğu termal görüntü

verisi ile eşzamanlı olarak elektromanyetik spektrumun görünür, yakın ve orta kızılötesi bölgelerinde de veri elde edebilmektedir. Bu sayede özellikle KIA etkisinin modellenmesi sürecinde etkili bir diğer parametre olan arazi örtüsü/kullanımı da eşzamanlı olarak ortaya koyulabilmektedir. Arazi örtüsünü oluşturan her bir bileşen bünyesinde barındırdığı radyatif, termal, nemlilik ve aerodinamik özellikleri sayesinde eşsiz bir karakteristiğe sahiptir (Oke, 1982). Bu arazi örtüsü karakteristik özellikleri ile kentsel AYS arasında oldukça yakın bir ilişki mevcuttur (Weng vd. 2004). Yüzey KIA analizine yönelik olarak yapılacak çalışmalarda bu ilişki büyük önem taşımaktadır. Kentsel bölgelerde arazi örtüsü bileşenlerinin daha parçalı bir konumsal dağılım göstermesi sebebi ile bu ilişkinin ortaya koyulabilmesi için yeterli konumsal çözünürlüğe sahip AYS ve arazi örtüsü verisi kullanılmalıdır. Özellikle son yüzyıl içinde insan kaynaklı olarak değişen AYS değerlerinin zamansal değişimi de büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple uzun yıllar içinde meydana gelen AYS değişimlerini ortaya koyabilecek zamansal çözünürlüğe sahip görüntü verilerinin kullanılması da oldukça önemlidir.

İfade edilen uzaktan algılama platformlarının birçoğunun yüzey KIA etkisinin modellenmesi için yeterli konumsal, spektral ve zamansal çözünürlük değerlerine sahip olmamasından ötürü çalışmada Landsat TM ve ASTER platformları tarafından elde edilen veriler tercih edilmiştir. Bu aşamada Landsat TM platformunun 1984-2011 yılları arasını kapsayan yüksek zamansal çözünürlükteki veri arşivi incelenerek yüzey KIA karakteristiğinin uzun yıllar içindeki değişiminin ortaya koyulabilmesi adına en uygun görüntü periyotları belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Çalışma alanını oluşturan kent merkezlerine ilişkin görüntü verileri

Kent	Uydu/Sensör	Alındığı Tarih	Gündüz/Gece
İstanbul	Landsat TM	2011 -2009-2007-2002-1987-1984	Gündüz
	ASTER	2001-2004-2005 (2 adet)	Gece
Bursa	Landsat TM	2011 -2009-2007-2002-1995-1991-1987-1984	Gündüz
	ASTER	2011-2005	Gece
İzmir	Landsat TM	2011 -2010-2008-2006-2003-2000-1987-1984	Gündüz
	ASTER	-	-
Ankara	Landsat TM	2010 -2009-2002-1990-1987-1984	Gündüz
	ASTER	2011	Gece
Gaziantep	Landsat TM	2011 -2010-2007-2000-2002-1987-1985	Gündüz
	ASTER	2013-2012	Gece
Erzurum	Landsat TM	2011- 2009 -2007-2003-1998-1987-1984	Gündüz
	ASTER	2012-2011 (2 adet)	Gece
Trabzon	Landsat TM	2011 -2010-2007-2006-1998-1987-1984	Gündüz
	ASTER	2012-2005	Gece

Görüntü seçiminde özellikle mevsimsel etkileri minimize etmek amacıyla her kentsel bölge için kendi içinde aynı mevsimsel dönemde kaydedilmiş görüntüler tercih edilmiştir. Çalışmada 1984-2011 tarihleri arasında belirlenen periyotlarda toplam 49 adet Landsat TM görüntüsünden faydalanılmıştır. Ayrıca çalışmanın bir diğer amacı olan yüzey KIA etkisinin modellenmesi aşamasında kullanılmak üzere, çalışmada faydalanılan diğer veri türlerinin (Bölüm 2.2.2, 2.2.3 ve 2.2.4) üretim tarihleri de dikkate alınarak her kentsel çalışma alanı için uygun bir periyot belirlenmiştir. KIA modelleme sürecinde kullanılan görüntülere ilişkin seçilen bu periyotlar her kentsel bölge için Tablo 2’de koyu renkli olarak ifade edilmiştir.

Tüm kentsel çalışma bölgelerinde, kent merkezleri ve bu merkezleri kapsayan kırsal bölge tek bir Landsat görüntü çerçevesi tarafından kapsanabilmektedir. Söz konusu veri setleri; UTM projeksiyonunda, WGS84 Datumunda, WGS84 referans elipsoidi kullanılarak rektifiye edilmiş biçimde GLCF arşivlerinden temin edilmiştir. Bununla birlikte, çalışmada gece döneminde yüzey KIA etkisini ortaya koyabilmek için ASTER verilerinden de faydalanılmıştır. Bu amaçla mevcut ASTER arşivi taranmış ve 12 farklı periyotta ilgili kent merkezlerini kapsayan yakın tarihli ASTER termal görüntü verileri NIK-Sistem şirketinden temin edilmiştir (Tablo 2). Söz konusu veriler Landsat verileri ile aynı projeksiyon parametrelerine sahip olacak şekilde rektifiye edilmiştir. Çalışmada kullanılan Landsat TM ve ASTER (gece) görüntülerinin spektral bant aralıkları Tablo 3’de ifade edilmiştir. 7 spektral banttan oluşan Landsat TM görüntülerinin termal bant dışındaki

tüm bantları 30 m konumsal çözünürlük değerinde algılanmaktadır. Termal bant ise 60 m konumsal çözünürlük değerinde algılanarak yeniden örnekleme işlemi sonucunda 30 m konumsal çözünürlük düzeyine çıkarılmaktadır. 5 termal banttan oluşan ASTER gece görüntüleri ise 90 m konumsal çözünürlük değerinde algılanarak kaydedilmektedir.

Tablo 3. Landsat TM ve ASTER spektral bant aralıkları ve konumsal çözünürlük değerleri

Uydu/Sensör	Bant No	Spektral Aralık (μm)	Merkez Dalga boyu (μm)
Landsat TM	1	0.452-0.518	0.485
	2	0.529-0.609	0.569
	3	0.624-0.693	0.659
	4	0.776-0.905	0.841
	5	1.568-1.784	1.676
	6	10.42-11.66	11.040
	7	2.097-2.347	2.222
ASTER (Gece)	10	8.125-8.475	8.274
	11	8.475-8.825	8.626
	12	8.925-9.275	9.072
	13	10.25-10.95	10.654
	14	10.95-11.65	11.303

2.2.2. Yersel Meteorolojik Veriler

Çalışmanın amaçları doğrultusunda iki farklı tür yersel meteorolojik veriden faydalanılmıştır. Bunlardan ilki, seçilen kentlerde kurulu olup belirlenen periyotlarda görüntüler ile eş zamanlı veri temin edebilmiş sabit meteoroloji istasyon verileridir. Bu istasyonlarca çeşitli zamansal aralıklarda sıcaklık, nispi nem, basınç, rüzgar hızı, vb. meteorolojik veriler kaydedilebilmektedir. Çalışmada yapılan analizlerde saatlik veri setlerinden faydalanılmıştır. Söz konusu istasyonlara ilişkin meteorolojik verilerin temini amacıyla Türkiye Ulusal Meteoroloji Arşiv Sistemi (TUMAS) taranarak çalışma alanlarında bulunan istasyonlar belirlenmiş ve ifade edilen veri türleri istenilen zamansal aralık düzeyinde resmi yazı ile kurumdan temin edilmiştir. Sabit meteoroloji istasyonlarından elde edilen sıcaklık verileri Landsat TM termal görüntülerinin termal atmosferik düzeltme sürecinde kullanılmıştır. Ayrıca yüzey KIA etkisinin modellenmesine yönelik yapılan analizlerde, etki altında bulunan bölge sınırları içinde yeterli sayıda kurulu

istasyonun bulunduğu kentlerde bu istasyon verilerinden de faydalanılmıştır. Seçilen çalışma alanlarında kullanılan sabit istasyon ve elde edilen meteorolojik veri durumu Tablo 4’de özetlenmiştir.

Tablo 4. Sabit meteoroloji istasyonları

Kent	İstasyon (#)	Meteorolojik Veriler (Saatlik)			
		Basınç (hPa)	Sıcaklık (C)	Rüzgâr Hızı (m/sn)	Nispi Nem (%)
İstanbul	4	✓	✓	✓	✓
Bursa	8	✓	✓	✓	✓
İzmir	7	✓	✓	✓	✓
Ankara	7	✓	✓	✓	✓
Gaziantep	3	✓	✓	✓	✓
Erzurum	3	✓	✓	✓	✓
Trabzon	3	✓	✓	✓	✓

Çalışmada kullanılan ikinci tür yersel meteorolojik veri ise kentsel çalışma bölgelerinde Atmosferik KIA etkisinin araştırılması amacıyla mobil transekt geçiş tekniği ile ölçülen *in-situ* (sıcaklık ve nispi nem) verileridir. Bu amaçla yapılan arazi çalışmalarında T&D Şirketi tarafından üretilmiş *TR-77Ui* sıcaklık/nispi nem algılayıcı sensör ve veri kaydediciden faydalanılmıştır. Söz konusu sensör -30 ile +80 °C aralığında sıcaklık, %0-99 aralığında ise nispi nem değerlerini ölçebilmektedir. Sensörün sıcaklık ölçüm duyarlılığı $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, nispi nem ölçüm duyarlılığı ise ortam sıcaklığına bağlı olarak $\pm \%2.5$ ile 4 civarındadır. Sensörün %90 düzeyinde tepkime süresi üretici tarafından sıcaklık yaklaşık 7 dakika, nispi nem için yaklaşık 21 sn olarak tespit edilmiştir (URL-2).

2.2.3. Sosyo-Ekonomik Veriler

Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesi aşamasında kullanılmak üzere çalışma alanlarına ilişkin çeşitli sosyo-ekonomik veriler temin edilmiştir. Bu amaçla Türkiye Ulusal İstatistik Kurumu (TUIK) tarafından hazırlanmış, 2012-2013 yılları arası illere ilişkin seçilmiş göstergeleri ifade eden araştırma sonuç raporlarından faydalanılmıştır (TUIK, 2013a; 2013b; 2013c; 2013d; 2013e; 2013f; 2013g). Söz konusu raporlarda mevcut olan ilçe/belde bazında ortalama hane halkı büyüklüğü ve kişi başına toplam elektrik

enerjisi tüketimi verileri sayesinde CBS ortamında raster tabanlı veri katmanları türetilmiştir. Bu amaçla yapılan konumsal analizler ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

2.2.4. Coğrafi Veriler

Seçilen çalışma bölgelerinde yüzey KIA etkisinin belirlenmesi ve modellenmesi amacıyla; arazi örtüsü/kullanım, SYM ve ortama bina yüksekliği verilerinden faydalanılmıştır. Arazi örtüsü/kullanım verileri doğrultusunda sınıflandırma aşamasında doğrudan Landsat TM görüntüleri kullanılarak üretilmiştir. Çalışmada KIA etkisinin modellenmesi aşamasında kullanılan; SYM ve ortalama bina yüksekliği verilerinin üretilmesi amacıyla fotogrametrik yöntem ile üretilmiş güncel (2012, 2013) hâlihazır harita verilerinden faydalanılmıştır. Söz konusu hâlihazır harita verilerinin temini amacıyla kurum ziyaretleri gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte 7 pilot ilin büyükşehir belediye başkanlıkları ve imar müdürlükleri ile karşılıklı görüşmeler yapılmış ve veriler temin edilmiştir. Elde edilen hâlihazır haritaların üretiminde fotogrametrik yöntem kullanılması sayesinde bina katmanı üzerinde 3 boyutlu yükseklik bilgisi mevcuttur. Çalışmada, bu katmandan ortalama bina yüksekliği haritalarının üretilmesinde faydalanılmıştır.

2.3. Uydu Verilerinin Ön-İşlenmesi

Uzaktan algılama tekniği kullanılarak elde edilen veri setleri üzerinde; atmosferin yapısı, yüzeyde bulunan materyalin özellikleri, görüntü alım zamanı, güneşin, dünyanın ve uydunun konumu gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanan hatalar meydana gelebilmektedir. Bu etkileşim süreçleri Bölüm 1.7’de detaylı olarak ifade edilmiştir. Söz konusu etkilerin minimize edilebilmesi amacıyla uzaktan algılanmış veri setleri çeşitli ön işleme aşamalarında geçirilmelidir. Bu sebeple çalışmada KIA etkisinin karakterizasyonu ve modellenmesine yönelik olarak yapılacak tüm analizlerde kullanılacak uydu verilerine çeşitli düzeltme ve kalibrasyon işlemleri uygulanmıştır. Bu amaçla uzaktan algılanmış veri setleri; geometrik düzeltme, radyometrik kalibrasyon ve atmosferik düzeltme safhalarından geçirilerek yüzeye ilişkin en gerçekçi bilgileri taşımaları sağlanmıştır.

2.3.1. Geometrik Düzeltme

Çalışma kapsamında kullanılan Landsat TM veri setleri GLCF veritabanlarından L1T düzeyinde, UTM sisteminde ve 30 m GSD boyutunda geo-referanslandırılmış olarak temin edilmiştir (URL-3). Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesi amacıyla CBS ortamında yapılan istatistiksel analiz aşamalarında 210 m grid boyutu kullanılmıştır. Söz konusu grid boyutuna çalışmanın amaçları ve kullanılacak tüm veri setlerinin (uydu görüntüsü, coğrafi, sosyo-ekonomik, vb) konumsal çözünürlüğü değerlendirilerek karar verilmiştir. Bu sebeple çalışmada kullanılan Landsat TM verileri konumsal çözünürlük açısından yeterli olup rektifikasyon sonrası konum doğrulukları çalışmanın amaçlarının gerçekleştirecek düzeydedir (< 1 piksel). Landsat TM verileri GLCF veri tabanlarından her görüntü için kendine has yer kontrol noktalarının konumsal doğruluk düzeyini ve rektifikasyon hassasiyetini ifade eden meta verileri incelendiğinde rektifikasyon aşamasında Karesel Ortalama Hata (KOH) düzeylerinin 3-23 m aralığında olduğu görülebilmektedir. Dolayısıyla görüntülere ayrıca bir geometrik düzeltme işlemi uygulanmasına gerek duyulmamıştır. Çalışmada kullanılan bir diğer veri seti olan ASTER verileri de benzer biçimde rektifiye edilmiş olarak temin edilmiştir. Bu sebeple ASTER verilerinde de geometrik düzeltme işlemi uygulanmamıştır.

2.3.2. Radyometrik Kalibrasyon

Çalışmada kullanılan Landsat TM görüntüleri, LPGS 12.1.3 yazılımı tarafından işlenmiş ve DN formatında 8 bit radyometrik çözünürlükte Level 1G düzeyinde kaydedilmiştir. Bu aşamada kalibre edilmiş DN değerleri, her bir görüntüye ilişkin meta veriler yardımıyla elde edilen güncel kalibrasyon parametreleri ve (18) eşitliği yardımıyla TOA radyans değerlerine dönüştürülmüştür.

$$L_{\lambda} = G.Q_{Cal} + B \quad (18)$$

Eşitlikte; L_λ sensör radyansı, Q_{cal} kalibre edilmiş piksel değerini (DN), G bant için özel gain faktörünü ($W/m^2sr^1\mu m^1 /DN$) ve B ise bant için özel bias faktörünü ($W/m^2sr^1\mu m^1$) ifade etmektedir (Chander vd., 2009).

Bu işlemin ardından TOA radyans değerleri görünür, yakın ve orta kızılötesi bantlar için (19) eşitliği yardımıyla TOA yansıtım değerlerine dönüştürülmüştür. Bu sayede; farklı zamanlarda kayıt edilmiş görüntü verisi üzerinde farklı solar zenit açılarından kaynaklanan etki, spektral bant değişiminden kaynaklanan farklı solar irradyans değerlerindeki değişimler ve farklı görüntü kayıt tarihlerinde değişim gösteren dünya-güneş arası mesafelerden kaynaklı etkiler ortadan kaldırılmıştır. Özellikle çok-zamanlı ve farklı sensör verilerinin kullanılacağı uzaktan algılanmış görüntü analiz çalışmalarında bu etkiler mutlaka giderilmelidir. ASTER verileri radyometrik kalibrasyon işlemi yapılmış olarak temin edildiği için bu aşama ASTER verilerine uygulamamıştır.

$$\rho_{TOA} = \frac{\pi L_\lambda d^2}{E_\lambda^0 \cos \theta} \quad (19)$$

Eşitlikte; ρ_{TOA} TOA yansıtım değerini, d astronomik birimde dünya-güneş arası mesafeyi, E_λ^0 ortalama ekzoatmosferik solar irradyans değerini, θ solar zenit açısını ifade etmektedir.

2.3.3. Atmosferik Düzeltme

Çok-bantlı uydu görüntüleri ile yapılacak analizlerde özellikle 3 durumda atmosferik düzeltme yapılması uzaktan algılama çevrelerince önerilmektedir. Çok bantlı veri setinin farklı bantlarının matematiksel formüllerde birlikte kullanılması amaçlandığında, yüzeyde bulunan objelere ilişkin çeşitli fiziksel özellikler ile objeye ilişkin sensörce kaydedilmiş radyans değerleri arasında bir model kurulması istenildiğinde ve aynı objenin farklı zamanlarda kaydedilen radyans değerleri ile çeşitli ölçüm ve hesaplamalar yapılmak istenildiğinde atmosferik etkilerin giderilmemesi sonuçların hatalı olmasına yol açabilmektedir (Mather, 2004). Bu sebeplerden dolayı çalışmada kullanılan tüm multispektral veri setlerine atmosferik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Atmosferde meydana gelen etkileşimlerin (Bölüm 1.7) dalga boyuna bağlı olarak önemli farklılıklar göstermesi sebebiyle görünür, yakın ve orta kızılötesi bölgelerde ($0.45-2.35\mu m$) kaydedilen

bantlar için ayrı, termal kızılötesi bölgede (10.5-12.5µm) kaydedilmiş bant için ayrı olmak üzere iki aşamalı bir atmosferik düzeltme stratejisi uygulanmıştır.

ASTER verileri Atmosferik düzeltme işlemi yapılmış olarak temin edildiği için bu aşama ASTER verilerine uygulamamıştır. Elektromanyetik spektrumun termal kızılötesi bölgesinde birden fazla banda sahip olan ASTER veri setlerine tedarikçi tarafından TES algoritmasına dayalı termal atmosferik düzeltme işlemi uygulanmış ve AYS verileri üretilmiştir (Gillespie vd., 1998).

2.3.3.1. Görünür, Yakın ve Orta Kızılötesi Bölge İçin Atmosferik Düzeltme

Radyometrik kalibrasyon sonucu elde edilen TOA radyans ve yansıtım değerleri üzerinde atmosferin moleküler yapısından kaynaklanan saçılım ve emilim etkilerine bağlı hatalar mevcuttur (Bölüm 1.7.2.1). Bu etkiler giderilmeden dünya yüzeyini kesin olarak temsil edebilen yüzey yansıtım değerlerine ulaşmak mümkün değildir. Özellikle farklı atmosferik koşullar içinde kaydedilmiş görüntülerin bir arada değerlendirilmesi gerektiğinde veya yersel teknikler ile elde edilmiş veriler ile uzaktan algılama teknikleri kullanılarak üretilen sonuç ürünlerin bir arada yorumlandığı analizlerde mutlaka atmosferik etkilerden arındırılmış yüzey yansıtım değerleri kullanılmalıdır. TOA yansıtım değerleri üzerindeki atmosferik etkiler (20) eşitliğinde ifade edilmiştir.

$$\rho_{TOA} = T_g(O_3, O_2, CO_2, NO_2, CH_4) * [\rho_{R+A} + T_{R+A} T_g(H_2O) \frac{\rho_s}{1 - S_{R+A} \rho_s}] \quad (20)$$

Eşitlikte; ρ_s yüzey yansıtım değerini, T_g parantez içinde ifade edilen gazlara ilişkin geçirgenlik değerini, T_{R+A} rayligh ve aerosol kaynaklı geçirgenlik değerini, ρ_{R+A} rayligh ve aerosol kaynaklı atmosferik içsel yansıtım değerini, S_{R+A} rayligh ve aerosol kaynaklı küresel albedo değerini ifade etmektedir.

Eşitlikte bulunan; geçirgenlik, atmosferik içsel yansıtım ve küresel albedo değerleri 6S radyatif transfer kodu yardımı ile hesaplanmıştır (Kotchenova vd., 2006). Çözüm için gerekli ozon konsantrasyonları Nimbus-7, Meteor-3 ve Earth Probe platformları üzerinde bulunan TOMS (Total Ozon Mapping Spectroradiometer) verilerinden, TOMS verisi olmayan zamansal aralıklarda NOAA uydu platformu tarafından elde edilmiş TOVS ozon

verilerinden, rayleigh saçılım değerleri için sayısal topografya verisi ve NCEP yüzey basınç verilerinden faydalanılmıştır (URL-4). Çözüm esnasında aerosol optik geçirgenlik (AOT) değerleri doğrudan Kaufman vd. (1997) tarafından geliştirilmiş olan DOS metodu kullanılarak hesaplanmıştır. AOT, ozon, atmosferik basınç ve su buharı parametreleri Masek vd. (2012) tarafından geliştirilen LEDAPS yazılımı yardımı ile derlenmiş ve 6S radyatif transfer kodu kullanılarak TOA yansıtım değerlerinden yüzey yansıtım değerleri tüm görüntülerin ilgili bantları (TM Bant 1-2-3-4-5-7) için hesaplanmıştır.

2.3.3.2. Termal Atmosferik Düzeltme

Landsat TM4/5 ve ETM+ platformları bu çalışmada olduğu gibi birçok bilimsel çalışma için eşsiz bir veri kaynağı olmasına rağmen termal bant kullanılarak yapılan araştırma sayısı oldukça azdır. Bunun temel nedeni Landsat platformlarının elektromanyetik spektrumun termal bölgesinde sadece tek banda sahip olmasıdır. Bu durum termal atmosferik düzeltme sürecini birden fazla termal bant içeren Terra-ASTER, NOAA-AVHRR gibi platformlara nazaran oldukça güçleştirmektedir. Bu handikabı giderebilmek ve bu önemli veri kaynağından faydalanabilmek adına literatürde Landsat TM/ETM+ için çeşitli termal atmosferik düzeltme yaklaşımları geliştirilmiştir (Qin vd., 2001; Barsi vd., 2003; Jimenez-Munoz ve Sobrino, 2003; Li vd., 2004; Cristobal vd., 2009). Geliştirilen yaklaşımlar çoğunlukla atmosferik düzeltme metodolojilerinde atmosferik parametrelere ihtiyaç duymaktadır. TOA radyans değerleri; (i) yüzeyden yansıyan radyans bileşeni, (ii) yukarı yönlü atmosferik radyans bileşeni ve (iii) aşağı yönlü atmosferik radyans bileşeni olmak üzere üç farklı enerji bileşeninin kullanılması ile elde edilmektedir. Bu sebeple atmosferik etkileri bünyesinde barındıran TOA ve yüzey parlaklık sıcaklık değerleri arasında atmosferik parametrelere bağlı olarak 1-5 Kelvin değerlerinde farklar meydana gelebileceği ortaya koyulmuştur (Prata vd, 1995). Dolayısıyla, AYS değerlerinin termal görüntülerden elde edilmesi sürecinde atmosferik etkilerin giderilmesi daha sağlıklı ve güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır (Franc ve Cracknell, 1994). Ayrıca bu işlemin ardından son aşamada yüzey yayınlılık değerinden kaynaklanan etki de modellenmelidir. Yüzey yayınlılık değerleri arazi yüzeyinin pürüzlülük derecesine, yüzeydeki bitki örtüsü yoğunluğuna, toprağın termal özelliklerine ve nem içeriğine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Prata, 1993). Bütün termal atmosferik düzeltme metotları yüzey yayınlılık değerlerinin biliniyor

olduğunu kabul ederek çözüm yaparlar. Bu sebeple yüzey yayınlılık değerlerinin termal atmosferik düzeltme sürecinin öncesinde hesaplanması gerekmektedir. Yayınlılık değerinin kestirimi ve sensör tarafından kaydedilen termal radyasyon üzerindeki etkileri Bölüm 1.7.2.2 detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu çalışmada Qin vd. (2001) tarafından geliştirilen ve radyans değerleri üzerindeki atmosferik etkiler ile yüzeyin spektral yayınlılık etkisini radyatif transfer eşitliğinden hareketle modelleyebilen tekil pencere algoritması kullanılmıştır. Algoritmada ilk aşamada TOA radyans değerleri Planck kanunundan hareketle *siyah cisim* kabulüne göre Landsat sensörleri için (21) eşitliği yardımıyla sensör tarafından kaydedilen TOA sıcaklık değerlerine (T_b) dönüştürülmektedir (Chander ve Markham, 2003).

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda^e} + 1\right)} \quad (21)$$

Eşitlikte; T_b Siyah cisim kabulüne göre TOA parlaklık sıcaklığı, termal bölgede sensör tarafından kaydedilen L_λ^e TOA radyans değeri, Landsat TM bant 6 için $K_1 = 607.76$ Kelvin, $K_2 = 1260.56 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ olarak kullanılacaktır.

TOA parlaklık sıcaklıklarına dönüşüm aşamasının ardından; Landsat TM bant 6'ya ilişkin dalga boyu aralıklarındaki atmosferik geçirgenlik (τ_6) ve efektif ortalama atmosferik sıcaklık (T_{atm}) bilinmeyenleri, Qin vd. (2001) tarafından geliştirilen lineer kestirim denklemleri ((22), (23) ve (24)) yardımıyla belirlenmektedir. Söz konusu bilinmeyenler atmosferik su buharı içeriğine ve yakın yüzey hava sıcaklığı (T_y) değerlerine bağlı olarak ilgili atmosfer türleri için hesaplanmaktadır.

$$T_0 = [a_6(1 - C_6 - D_6) + (b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6)T_b - D_6T_{atm}] / C_6 \quad (22)$$

$$C_6 = \varepsilon * \tau_6 \quad (23)$$

$$D_6 = (1 - \tau_6)[1 + (1 - \varepsilon)\tau_6] \quad (24)$$

(22), (23) ve (24) eşitliklerinde; T_0 AYS değerini, $a_6 = 67.355351$, $b_6 = 0.458606$ sabitlerini, ε yüzeye ilişkin spektral yayınlılık değerini ifade etmektedir.

Çalışmada bu aşamada kullanılan su buharı parametresi 6S radyatif transfer kodu yardımıyla elde edilmiştir. Yakın yüzey hava sıcaklığı değeri görüntü alım tarihi ve saati için TUMAS veritabanlarından temin edilen yersel meteorolojik veriler içinde mevcuttur. Termal atmosferik düzeltme ve AYS hesaplanması sürecinde gerekli bir diğer parametre olan yüzeye ilişkin yayınlılık değerlerinin ise her piksel için görüntü üzerinden eş zamanlı olarak elde edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, Landsat platformlarının termal bölgede tek banda sahip olması kısıtlayıcılığı sebebiyle TES metodu gibi (Gillespie vd., 1998) yoğun kabul gören ve uygulanan yaklaşımların kullanılması mümkün değildir. Bu sebeple çalışmada tek termal bantlı uydular için alternatif olarak geliştirilmiş olan $NDVI$ (Normalized Difference Vegetation Index) eşikler metodundan ($NDVI^{THM}$) faydalanılmıştır (Sobrino vd. 2004). Metotta farklı $NDVI$ eşiklerine göre yayınlılık değerleri elde edilebilmektedir. Sobrino vd. (2004) ASTER spektral kütüphane verilerinden de faydalanarak Landsat için önerdiği kestirim metodunda söz konusu eşik değerlerini tespit etmiş ve uygulamıştır. Sobrino vd. (2004) aynı zamanda bu değerler yardımı ile hesaplanan yayınlılık değerlerinin doğruluk düzeyini RAYTECH ST8 radyometresi ile elde edilen *in-situ* yayınlılık verileri yardımıyla da ortaya koymuştur. Bu sebeple bu çalışmada Sobrino vd. (2004) tarafından önerilen metodoloji ve eşik değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada uygulanan termal atmosferik düzeltme yaklaşımının yayınlılık değerine karşı olan hassasiyetinin oldukça düşük olması bu sebeple ortaya çıkabilecek hata oranının kabul edilebilir seviye olmasına olanak sağlamaktadır. Bu etkinin belirlenmesi amacıyla Qin vd. (2001) tarafından yapılan analizlerde yayınlılık değerlerinden kaynaklı hata miktarının $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ düzeylerinde ortaya koyulmuştur.

$NDVI^{THM}$ metodunda; (25), (26) ve (27) eşitliklerinde ilgili eşik değerlerden faydalanılarak yüzeye ilişkin yayınlılık değerleri kestirilmektedir. Söz konusu eşitliklerde; ε_s toprak için yayınlılığı, ε_v bitki örtüsü için yayınlılığı, $d\varepsilon$ doğal yüzeylerin geometrisinden kaynaklanan etkileri ve içsel yansıtım değerini, P_v Carlson ve Ripley, (1997) tarafından önerilen yaklaşıma göre hesaplanan bitki örtüsü oranını ifade etmektedir. Yaklaşımda $d\varepsilon$ parametresi düzgün yüzeyler için önemsenmemektedir.

$$NDVI < 0.2 \text{ ise } \varepsilon = \varepsilon_s \quad (25)$$

$$NDVI > 0.5 \text{ ise } \varepsilon = \varepsilon_v \quad (26)$$

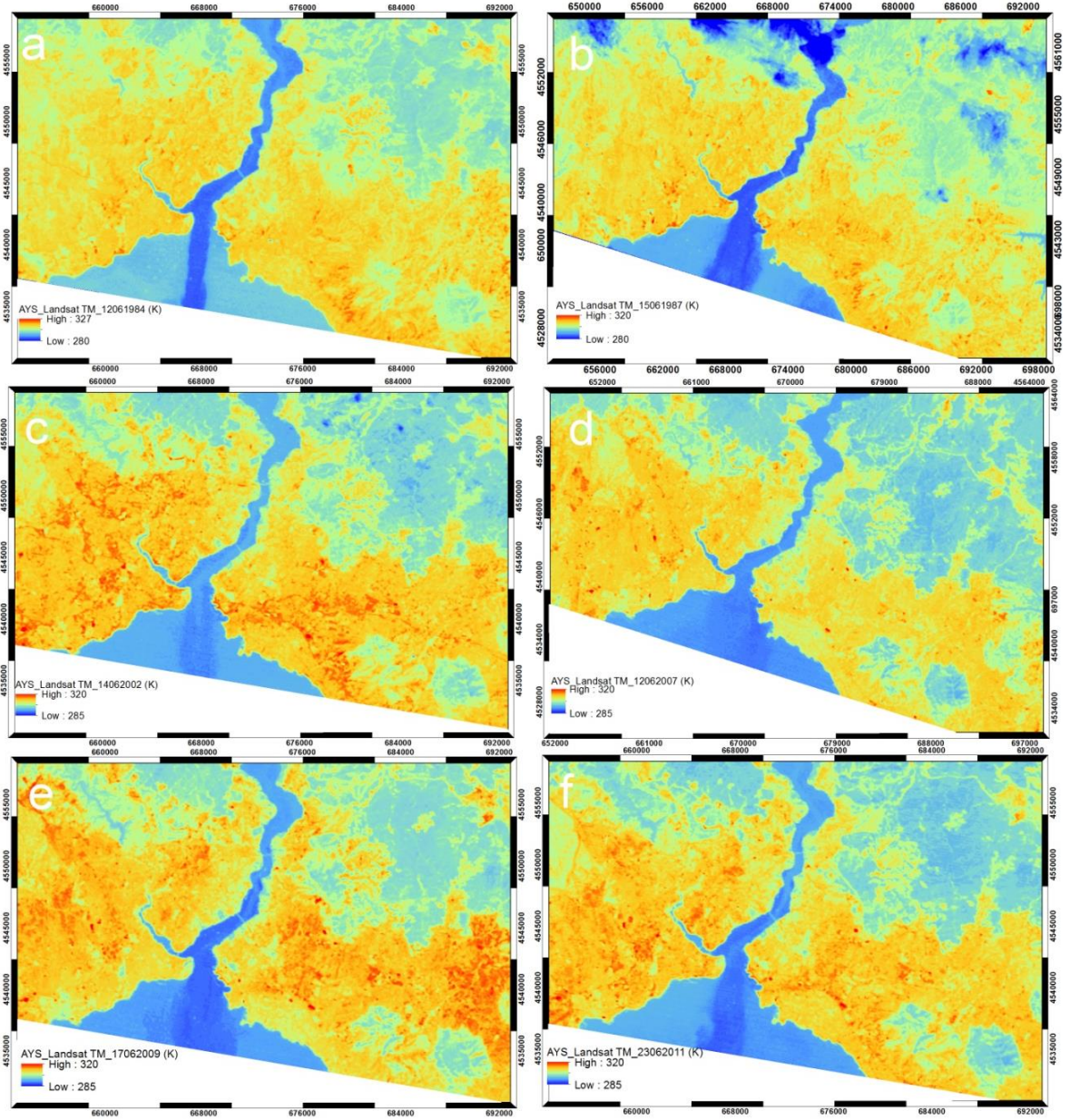
$$0.2 \leq NDVI \leq 0.5 \text{ ise } \varepsilon = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_s (1 - P_v) + d\varepsilon \quad (27)$$

Çalışmada Landsat TM bant 6 termal verilerine tekil pencere algoritması uygulanmadan önce Bölüm 2.3.3.1’de elde edilmiş olan Landsat bant 4 (ρ_{s3}) ve bant 3 (ρ_{s4}) yüzey yansıtım değerleri kullanılarak (27) eşitliği yardımıyla $NDVI$ görüntüleri elde edilmiştir. Ardından termal atmosferik düzeltme modeli (22) için gerekli parametreler (23), (24), (25), (26), (27), (28) ve (29) eşitlikleri yardımı ile hesaplanmış ve AYS değerleri çalışma alanlarına ilişkin seçilen tüm görüntülerin termal bantları için elde edilmiştir. Bu aşamada Landsat TM termal görüntüleri kullanılarak; İstanbul (Şekil 10), Ankara (Şekil 11), İzmir (Şekil 12), Bursa (Şekil 13), Trabzon (Şekil 14), Gaziantep (Şekil 15) ve Erzurum (Şekil 16) kentsel çalışma alanları için tüm periyotlarda AYS haritaları üretilmiştir.

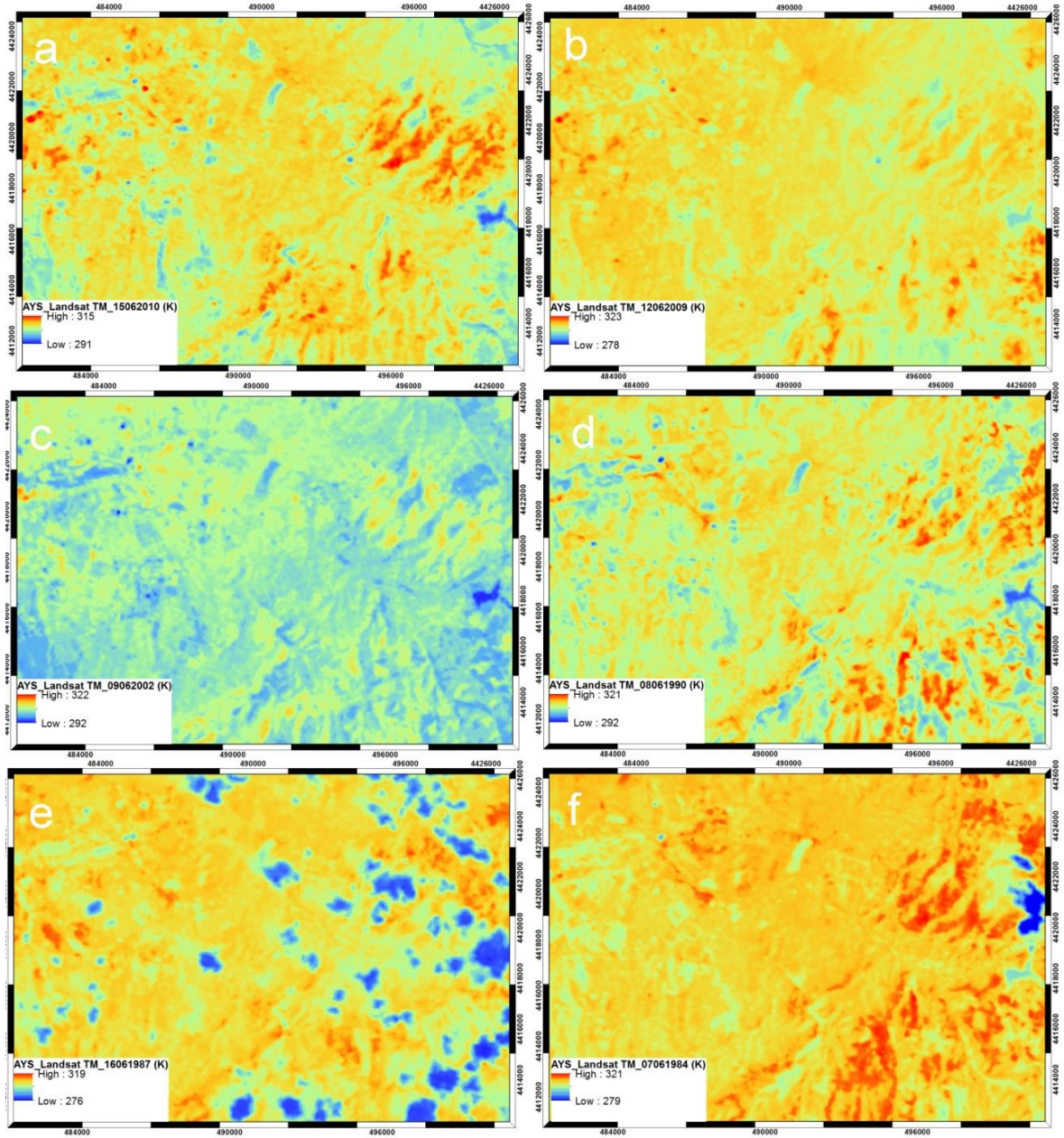
$$NDVI = \left[\frac{\rho_{s4} - \rho_{s3}}{\rho_{s4} + \rho_{s3}} \right] \quad (28)$$

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2 \quad (29)$$

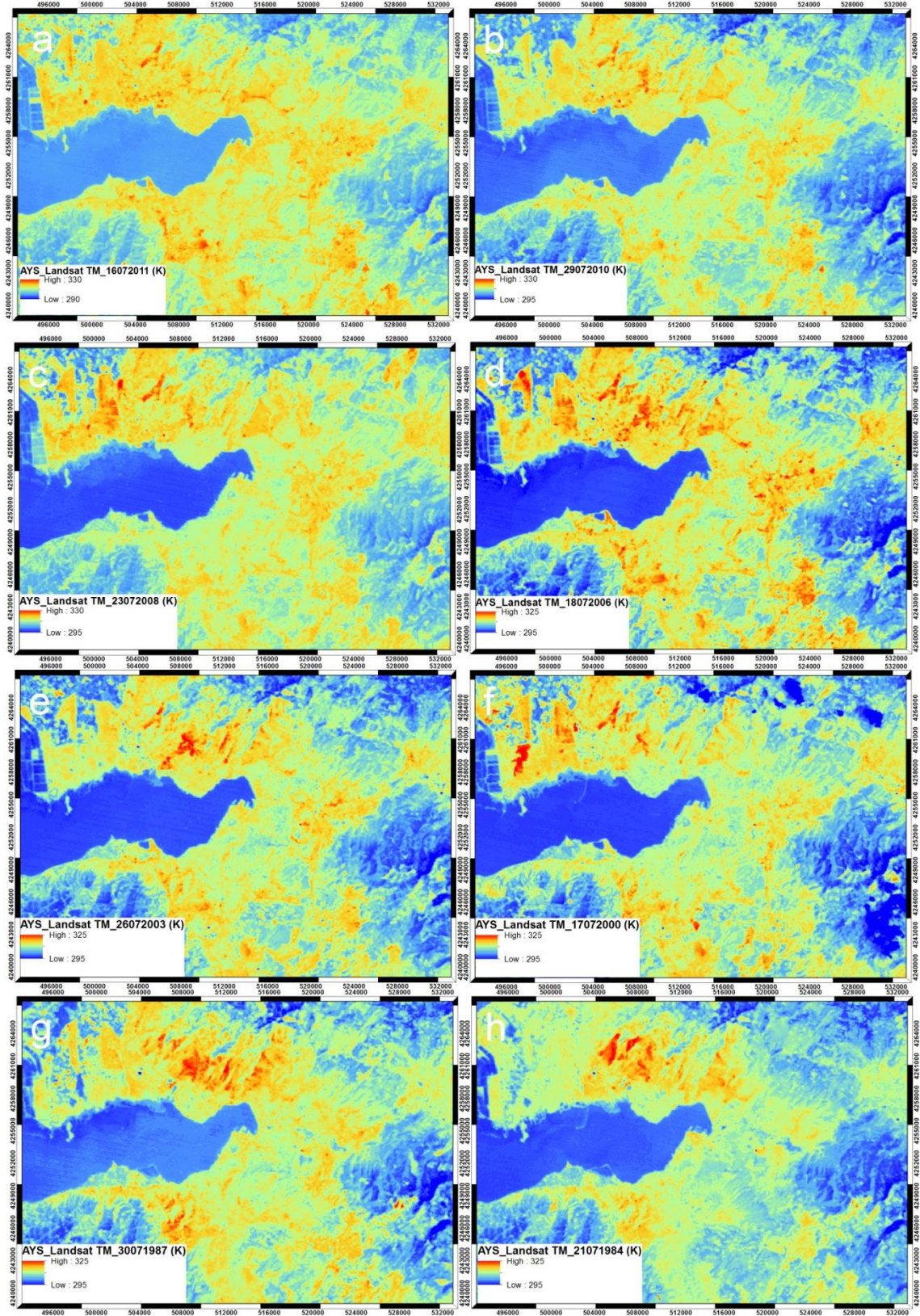
Eşitlikte; $NDVI_{\max} = 0.5$, $NDVI_{\min} = 0.2$ olarak seçilmiş, toprak ve bitki örtüsü için yayınlılık değerleri sırasıyla 0.97 ve 0.99 olarak belirlenmiştir (Sobrino vd., 2004).



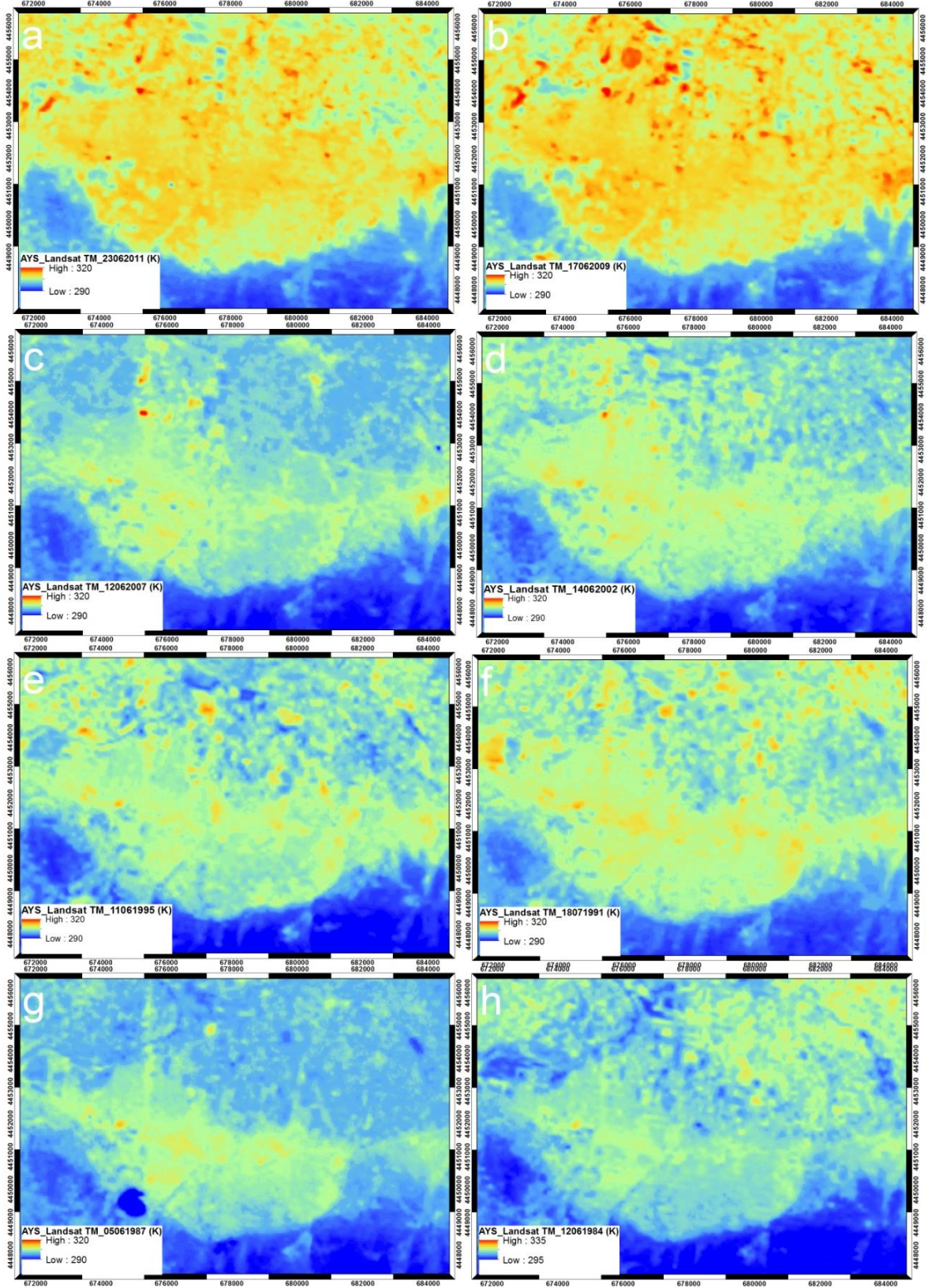
Şekil 10. İstanbul kenti için; (a) 12.06.1984, (b) 15.06.1987, (c) 14.06.2002, (d) 12.06.2007, (e) 17.06.2009 ve (f) 23.06.2011 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları



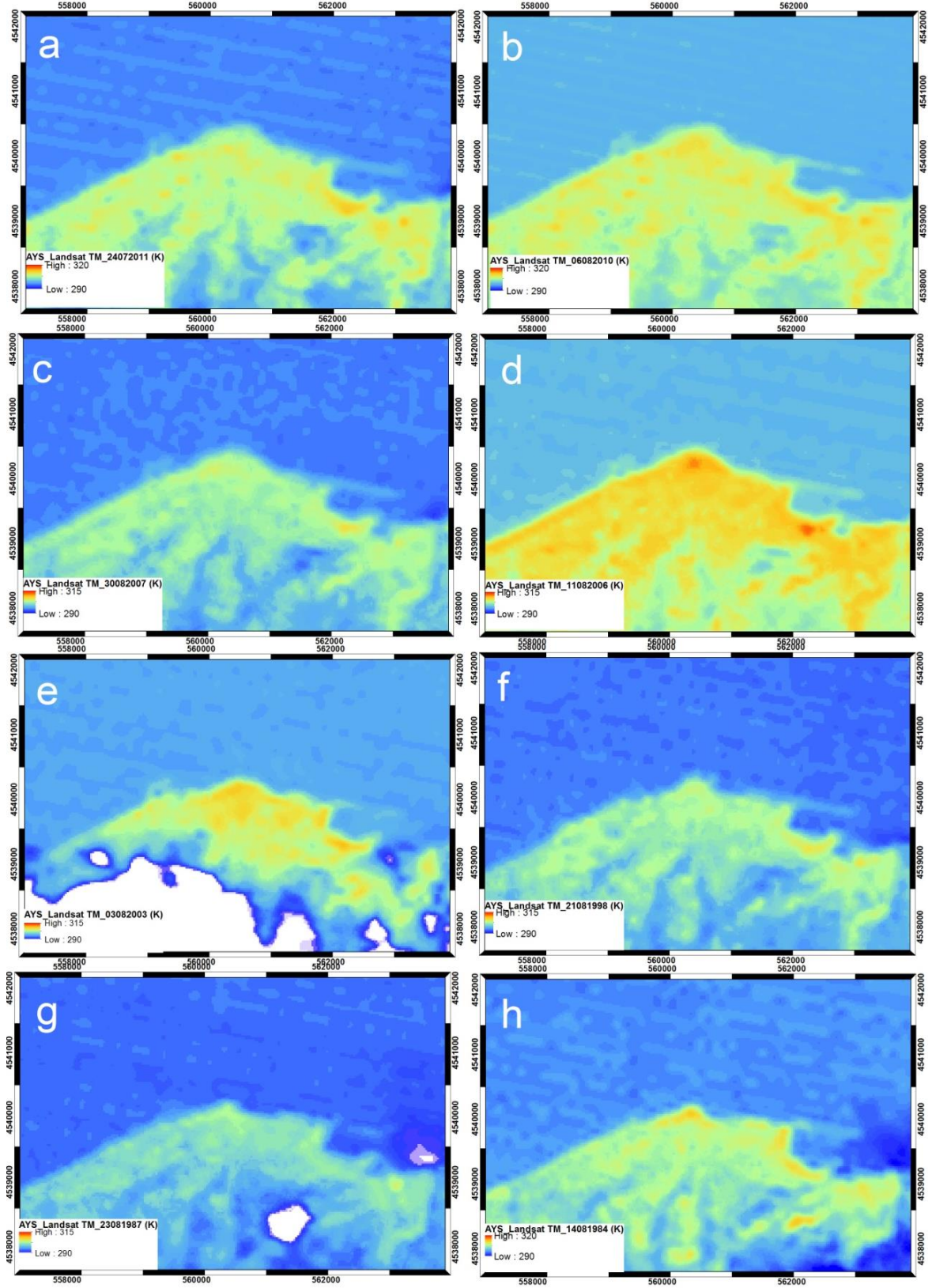
Şekil 11. Ankara kenti için; (a) 15.06.2010, (b) 12.06.2009, (c) 09.06.2002, (d) 08.06.1990, (e) 16.06.1987 ve (f) 07.06.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları



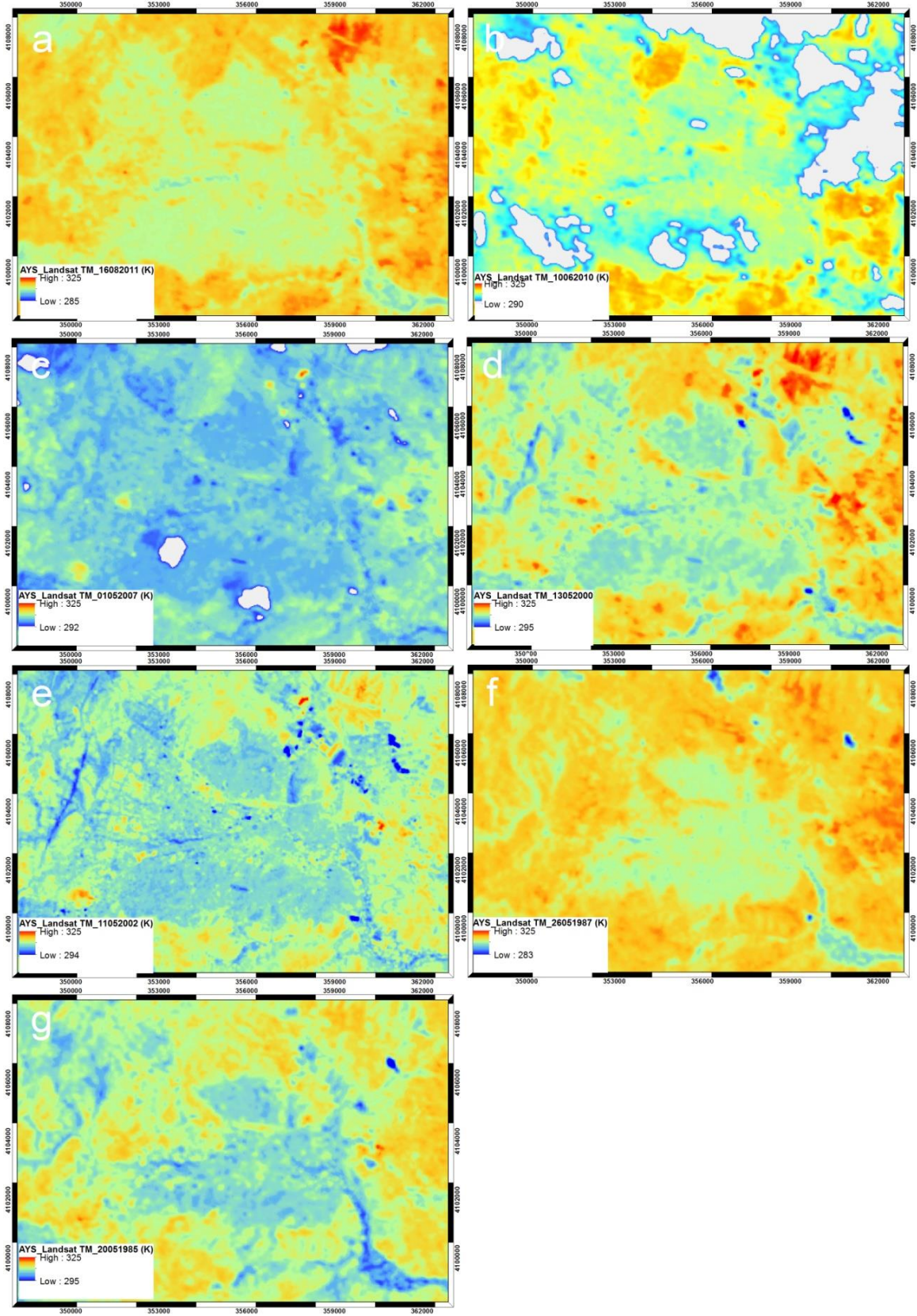
Şekil 12. İzmir kenti için; (a) 16.07.2011, (b) 29.07.2010, (c) 23.07.2008, (d) 18.07.2006, (e) 26.07.2003, (f) 17.07.2000, (g) 30.07.1987 ve (h) 21.07.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları



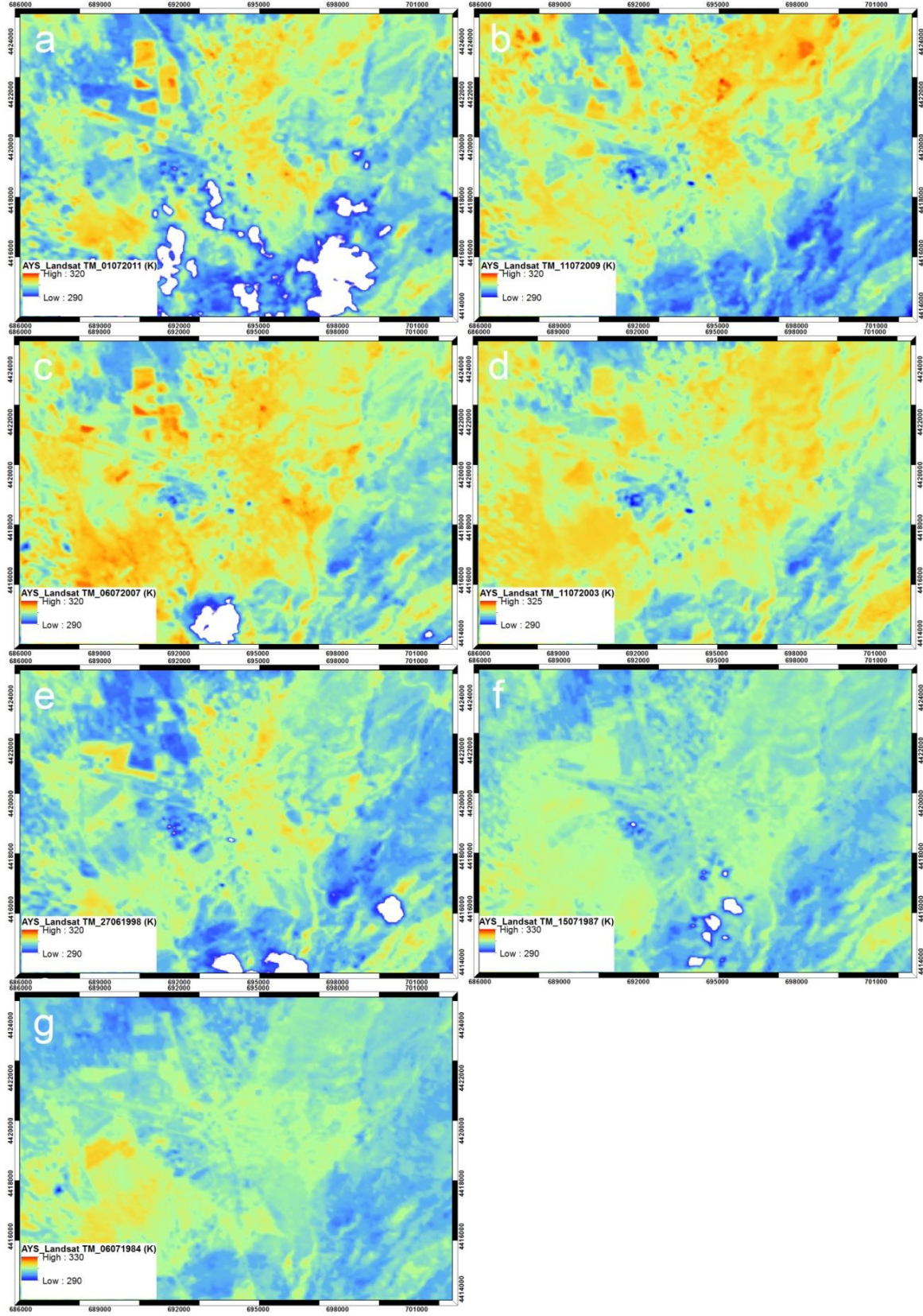
Şekil 13. Bursa kenti için; (a) 23.06.2011, (b) 17.06.2009, (c) 12.06.2007, (d) 14.06.2002, (e) 11.06.1995, (f) 18.07.1991, (g) 05.06.1987 ve (h) 12.06.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları



Şekil 14. Trabzon kenti için; (a) 24.07.2011, (b) 06.08.2010, (c) 30.08.2007, (d) 11.08.2006, (e) 03.08.2003, (f) 21.08.1998, (g) 23.08.1987 ve (h) 14.08.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları

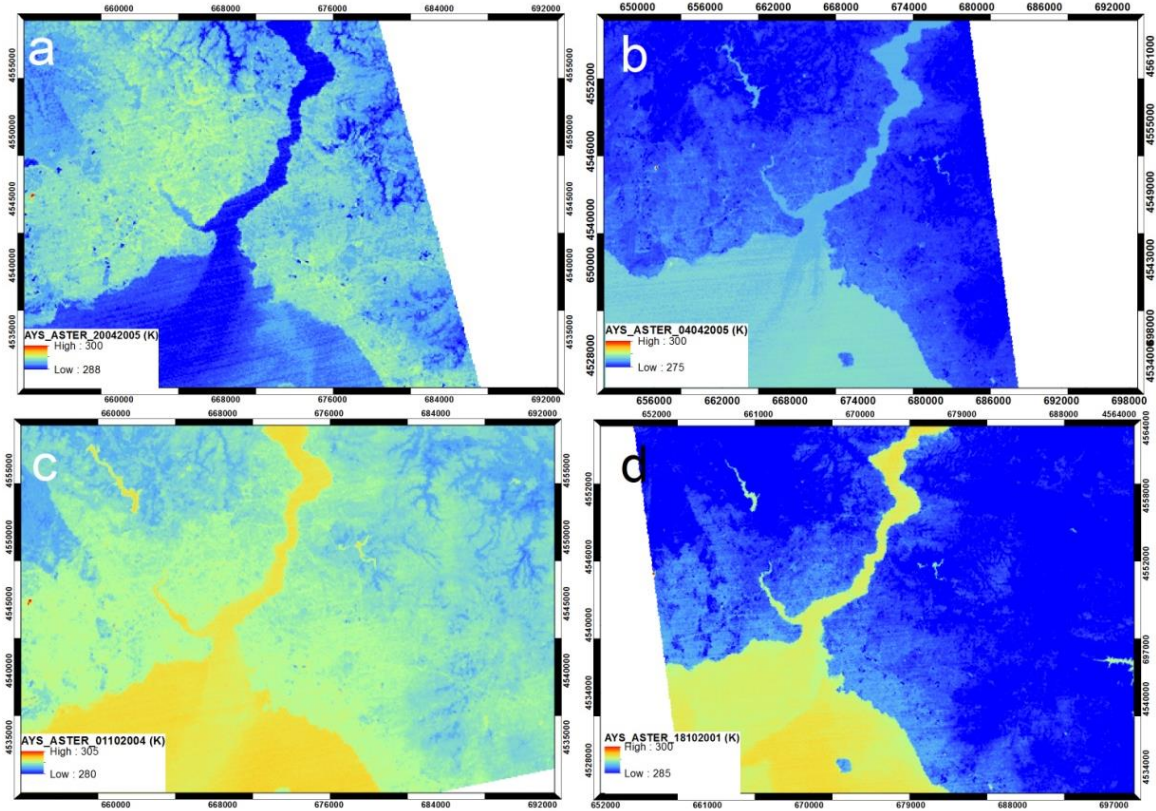


Şekil 15. Gaziantep kenti için; (a) 16.08.2011, (b) 10.06.2010, (c) 01.05.2007, (d) 13.05.2000, (e) 11.05.2002, (f) 26.05.1987 ve (g) 20.05.1985 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları

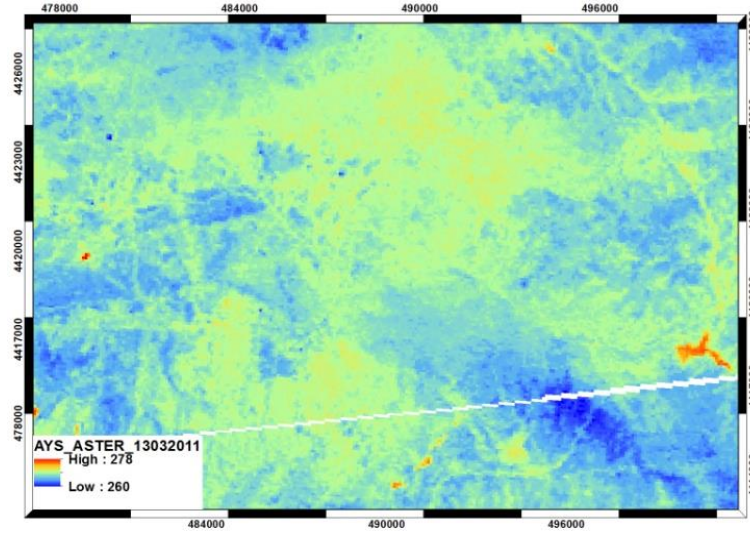


Şekil 16. Erzurum kenti için; (a) 01.07.2011, (b) 11.07.2009, (c) 06.07.2007, (d) 11.07.2003 (e) 27.06.1998, (f) 15.07.1987 ve (g) 06.07.1984 tarihlerine ilişkin üretilen Landsat TM gündüz dönemi AYS haritaları

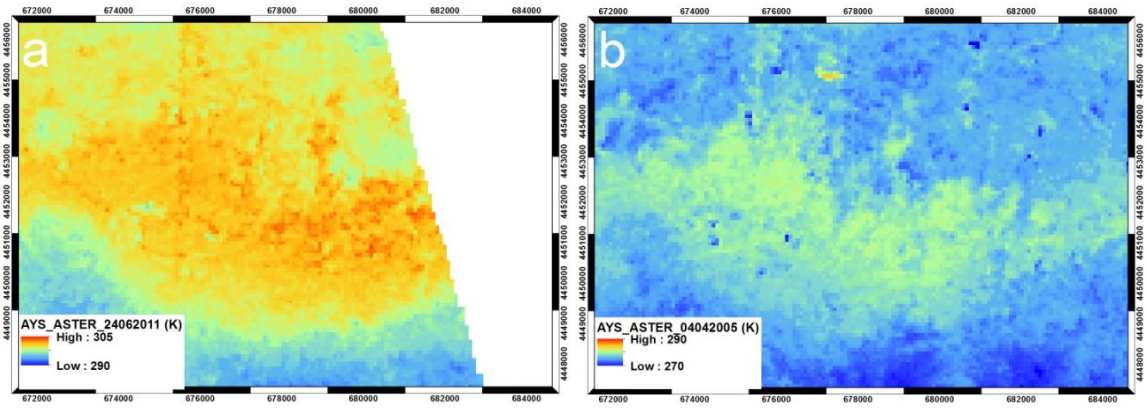
Ayrıca, TES algoritması kullanılarak atmosferik düzeltme işlemi gerçekleştirilmiş ASTER veri setlerine ilişkin belirlenen periyotlar için üretilmiş AYS haritaları İstanbul (Şekil 17), Ankara (Şekil 18), Bursa (Şekil 19), Trabzon (Şekil 20), Gaziantep (Şekil 21) ve Erzurum (Şekil 22) kentsel çalışma alanları için ortaya koyulmuştur. İzmir kenti için ASTER gece görüntüsü arşivlerde mevcut olmadığı için temin edilememiştir.



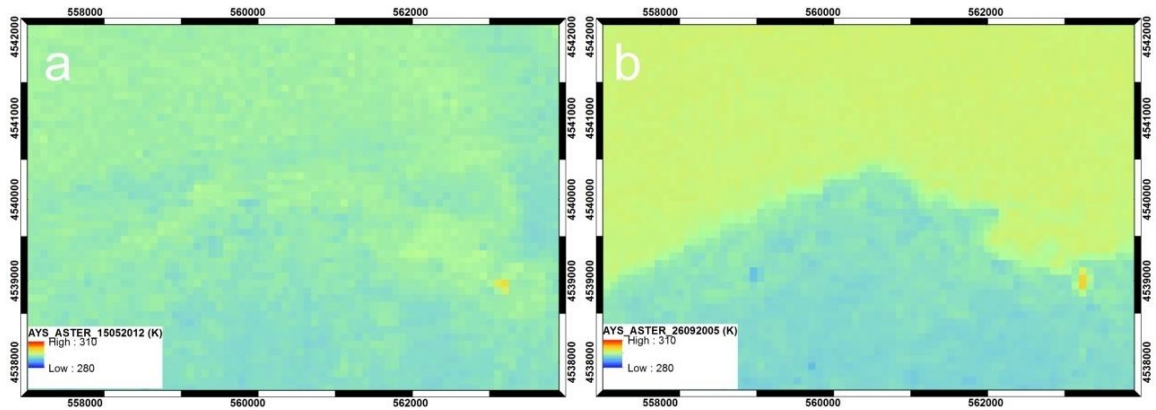
Şekil 17. İstanbul kenti için; (a) 20.04.2005; (b) 04.04.2005; (c) 01.10.2004 ve (d) 18.10.2001 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları



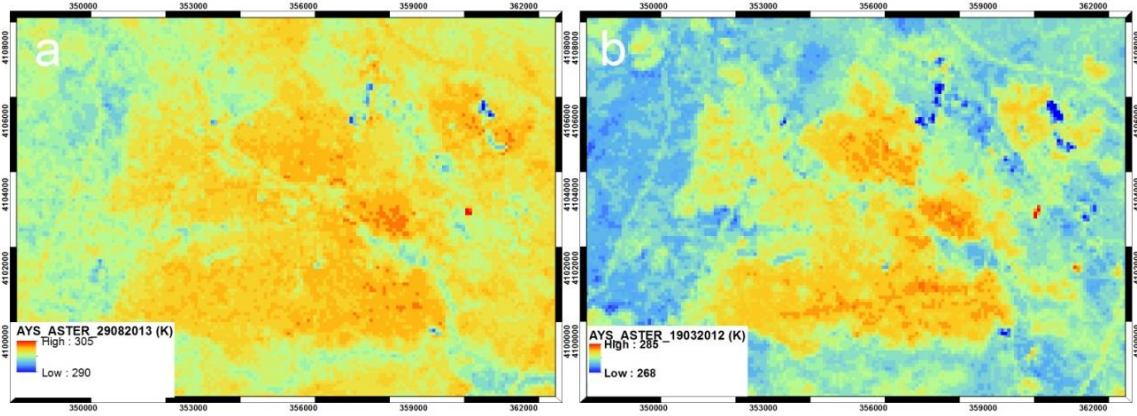
Şekil 18. Ankara kenti için; 13.03.2011 tarihine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritası



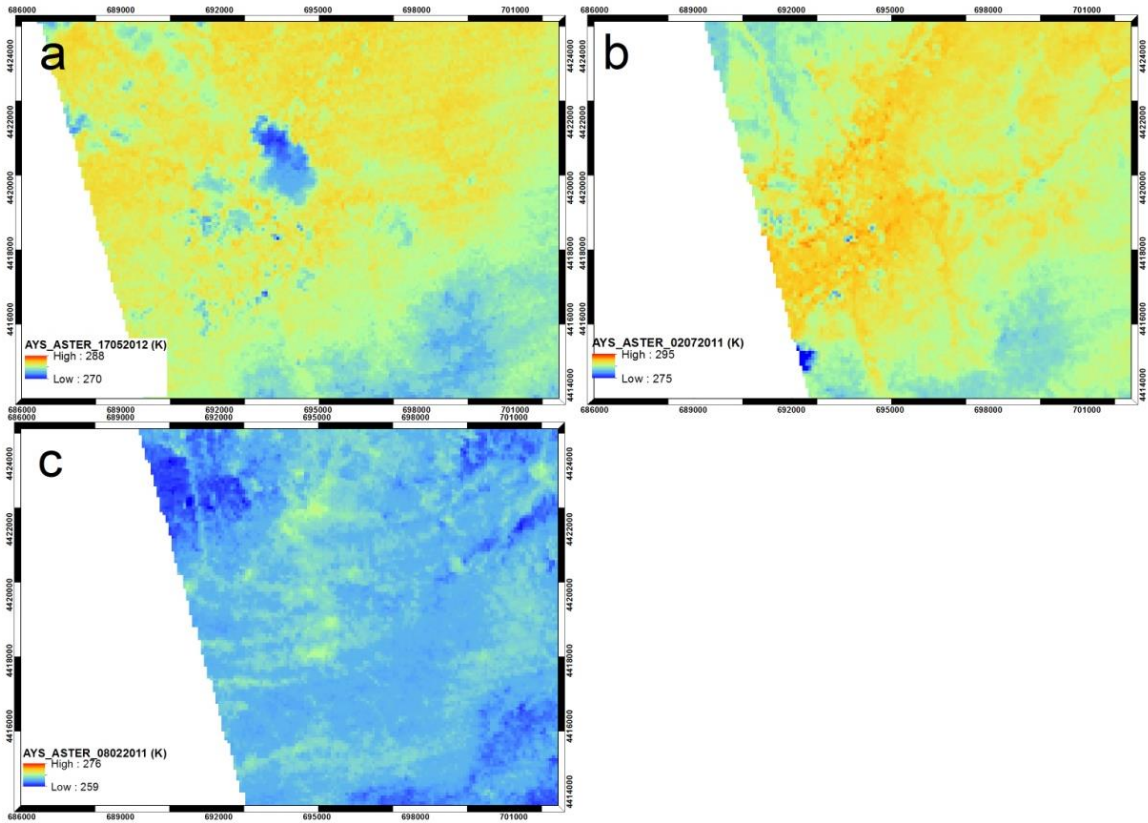
Şekil 19. Bursa kenti için; (a) 24.06.2011 ve (b) 04.04.2005 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları



Şekil 20. Trabzon kenti için; (a) 15.05.2012 ve (b) 26.09.2005 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları



Şekil 21. Gaziantep kenti için; (a) 29.08.2013 ve (b) 19.03.2012 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları



Şekil 22. Erzurum kenti için; (a) 17.05.2012, (b) 02.07.2011 ve (c) 08.02.2011 tarihlerine ilişkin üretilen ASTER gece AYS haritaları

2.4. Arazi Örtüsü/Kullanım Verilerinin Üretilmesi

Çalışmada KIA varlığının belirlenmesi ve arazi örtüsü/kullanım karakterinin KIA oluşumuna etkisinin modellenmesi aşamalarında çalışma alanlarına ilişkin arazi

örtüsü/kullanım veri setlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla söz konusu arazi örtüsü/kullanım veri setlerinin üretilmesi sürecinde CORINE tanımlamaları da dikkate alınarak; kentsel geçirimsiz yüzey (KGY), bitki örtüsü (BÖ), çıplak toprak ve tarım alanı (ÇTTA) ve su (S) olmak üzere 4 temel arazi örtüsü/kullanım sınıfı belirlenmiştir. Landsat görüntülerinin bant 6 dışındaki tüm bantları için (1-2-3-4-5-7) Bölüm 2.3.3.1’de elde edilmiş yüzey yansıtım değerinin oluşturduğu çok boyutlu veri setlerinin sınıflandırılması arazi örtüsü/kullanım veri setlerinin üretilmesi amacıyla Destek Vektör Makineleri (DVM) kontrollü sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Yakın dönemlerde DVM modelleri birçok sınıflandırma probleminin çözümünde olduğu gibi, çoğunlukla doğrusal olarak ayıramayan uzaktan algılanmış veri setlerinin sınıflandırılması amacıyla da başarıyla kullanılmaktadır (Pal ve Mather, 2005; Kavzoglu ve Colkesen, 2009; Duro vd., 2012; Dihkan vd., 2013).

2.4.1. Eğitim ve Test Veri Setlerinin Oluşturulması

Çalışmada piksel tabanlı sınıflandırma aşamasında sınıflandırıcının eğitiminde ve test aşamalarında kullanılmak üzere kümesel örneklem yaklaşımı kullanılarak sınıflara ilişkin eğitim ve test veri seti görüntü üzerinden oluşturulmuştur (Tso ve Mather, 2009). Bu aşamada auto-correlation etkisini engellemek adına 10 pikselden büyük veri kümeleri seçilmemiştir. Mather (2004) Landsat vb. multispektral veri setleri için kontrollü sınıflandırma işleminde eğitim aşamasında seçilecek minimum örnek piksel sayısının her sınıf için özellik sayısının en az 30 katı olmasının yeterli olacağını ortaya koymuştur. Bu yaklaşımdan yola çıkılarak bu çalışmada her sınıf için minimum $6 \times 30 = 180$ örnek seçilmesi gerektiği hesaplanmıştır. Çalışmada tüm bölgelerde her sınıf için 500 örnek piksel seçilmiş olup bunların %60’ı DVM algoritmasının eğitiminde, %40’ı ise test aşamasında kullanılmıştır.

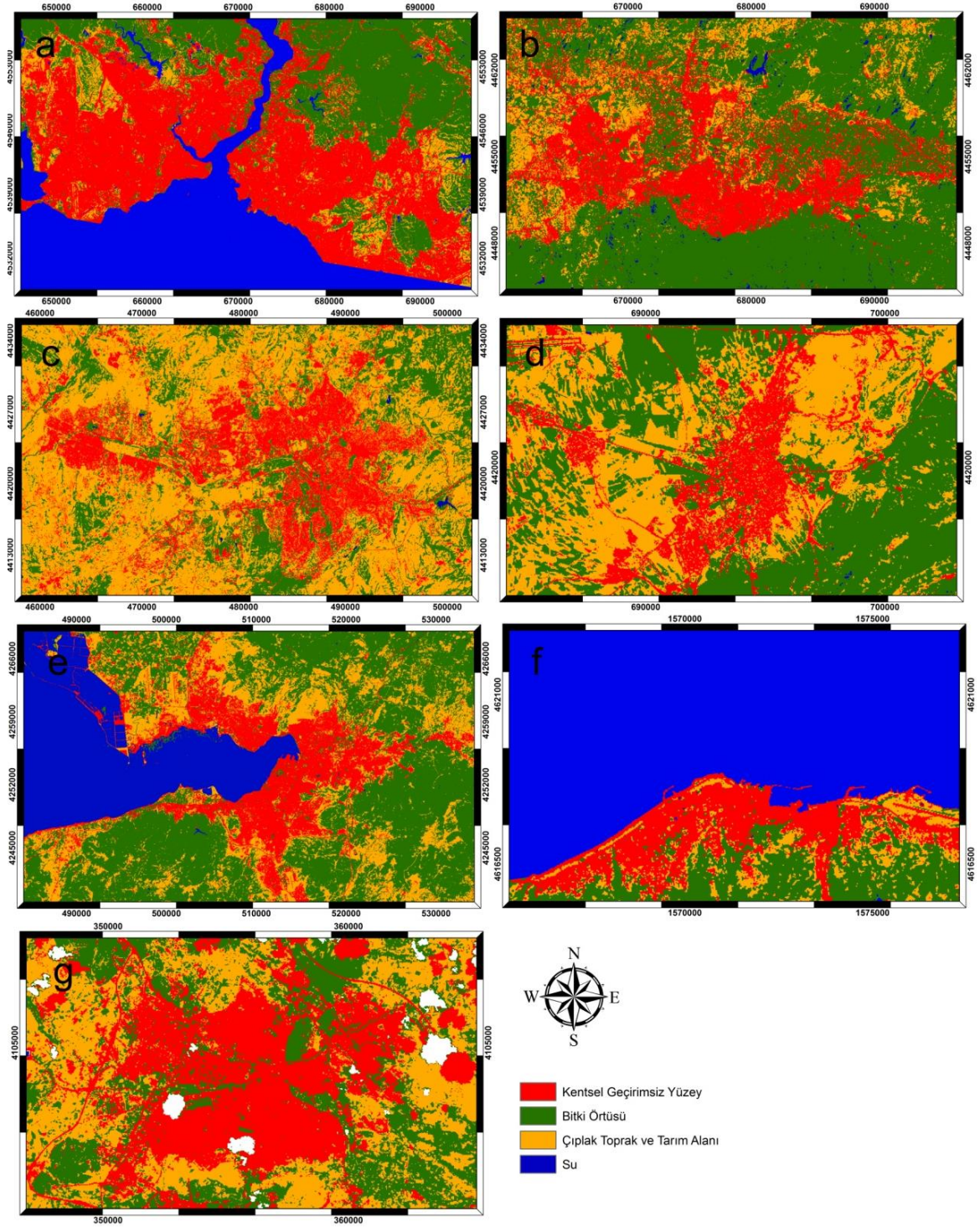
2.4.2. Görüntülerin DVM Algoritması Yardımıyla Sınıflandırılması

DVM parametrik olmayan bir kontrollü sınıflandırma algoritması olup en genel manada amacı eğitim veri seti yardımı ile sınıfları birbirinden ayıran optimum hiperdüzlemlerin belirlenmesini sağlamak ve düzlemlerin genelleştirme kabiliyetlerini

doğrulamaktır (Vapnik, 2000). Binary (iki sınıflı) bir örüntü tanıma probleminde sınıflar doğrusal olarak ayrılabiliriyorsa sınıfları ayıran çok sayıda hiperdüzlem mevcuttur. DVM bunlar arasında genelleştirme hata düzeyini minimum yapan sadece bir tanesini optimum hiperdüzlem olarak seçer. Başka bir deyişle DVM tarafından seçilen optimum hiperdüzlem, özellik uzayında iki sınıfa ait birbirine en yakın noktalara olan mesafeler toplamı maksimum olan ve sınıfları ayıran tek hiperdüzlemdir (Vapnik, 2000). Bahsedilen noktalar destek vektör, optimum hiperdüzeleme olan mesafeler toplamı da margin olarak adlandırılır. DVM modeli optimum hiperdüzlemin yerini bulabilmek ve aynı zamanda margin değerini maksimize edebilmek için optimizasyon tekniklerinden faydalanır (Vapnik, 2000). Bununla birlikte uzaktan algılanmış veri setlerinde de olduğu gibi birçok veri seti doğrusal olarak ayrılabilir değildir. Doğrusal olarak ayrılamayan veri setleri söz konusu olduğunda DVM margin değerini maksimum yapan hiperdüzlemi ararken aynı zamanda yanlış sınıflandırma hatalarının sayısına ilişkin oransal bir nicelik değerini minimize etmeye çalışır (Cortes ve Vapnik, 1995; Kavzoglu ve Colkesen, 2009). Hiperdüzlemin doğrusal eşitlikler yardımıyla tanımlanamadığı durumlarda, veri kernel fonksiyonları (Vapnik, 2000) yardımı ile daha yüksek boyutlu bir özellik uzayında projekte edilerek sınıflandırma problemi çözülür (Boser vd., 1992; Mathur ve Foody, 2008a). Bu amaçla DVM tarafından yaygın olarak lineer, polinomyal, radyal tabanlı kernel ve sigmoid kernel fonksiyon türleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte literatürde doğrusal olmayan yapıdaki uzaktan algılanmış veri setleri söz konusu olduğunda radyal tabanlı kernelin daha başarılı olduğu ortaya koyulmuştur (Foody ve Mathur, 2004; Mathur ve Foody, 2008b; Kavzoglu ve Colkesen, 2009). Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada sınıflandırma aşamasında radyal tabanlı kernel tercih edilmiştir. Bu çalışmadaki gibi çok sınıflı sınıflandırma problemlerin çözümü söz konusu olduğunda iki sınıfa göre tasarlanmış DVM algoritması literatürde bu amaçla önerilen one-against-all (Vapnik, 2000) ve one-against-one (Knerr vd., 1990) gibi çözüm yaklaşımları kullanılarak çok sınıflı problemlere uyarlanabilmektedir. Bu çalışmada DVM sınıflandırıcısı Vapnik (2000) tarafından önerilen one-against-all yaklaşımı ile kullanılmaktadır.

Çalışmada tüm görüntüler için oluşturulan eğitim veri setleri kullanılarak DVM sınıflandırıcısı eğitilmiş ve Landsat TM görüntülerinin 1-2-3-4-5-7 spektral bantlarına ilişkin evvelce hesaplanmış yüzey reflektanslarının oluşturduğu 6 boyutlu veri setleri sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda bir sonraki adımda yüzey KIA yoğunluklarının hesaplanmasında kullanılacak kentsel geçirimsiz yüzey sınıfı ve diğer

arazi örtüsü sınıfları seçilmiş olan 49 görüntü için üretilmiştir. Yüzey KIA etkisinin modellenmesi amacıyla seçilen periyotlara ilişkin; İstanbul (2011), Bursa (2011), Ankara (2010), Erzurum (2009), İzmir (2011), Trabzon (2011) ve Gaziantep (2011) çalışma alanları için üretilmiş arazi örtüsü/kullanım verileri Şekil 23a-f’de görülmektedir.



Şekil 23. Çalışma alanını oluşturan; (a) İstanbul, (b) Bursa, (c) Ankara, (d) Gaziantep, (e) İzmir, (f) Trabzon ve (g) Erzurum kentsel bölgeleri için üretilen arazi örtüsü/kullanım haritaları

2.4.3. Doğruluk Analizi

Çalışmada sınıflandırılma sonucunda elde edilen arazi örtüsü/kullanım verileri ile evvelce seçilmiş test veri setleri kullanılarak hata matrisleri oluşturulmuştur. Her çalışma bölgesinde KIA modelle sürecinde kullanılan (Şekil 23a-g) sınıflandırılmış verilere ilişkin hata matrisleri Tablo 2’de ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte hata matrisleri üzerinden *Genel Doğruluk (Gd)*, *Kappa*, *Kullanıcı (Kd)* ve *Üretici Doğruluğu (Üd)* gibi metrikler hesaplanmış ve Tablo 5’de ifade edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde yapılan sınıflandırma işleminin çalışma için yeterli doğruluk düzeyinde başarıyla tamamlandığı görülmektedir.

Tablo 5. Yüzey KIA modellemesine yönelik seçilen görüntülere ilişkin hata matrisi ve test verilerine göre DVM sınıflandırma doğruluk düzeyleri

DVM Sınıflandırma Sonuçları					
İstanbul					
Sınıflar (%)	KGy	BÖ	ÇTTA	S	Üd
KGy	97.88	0.50	18.43	0.00	97.88
BÖ	0.00	99.00	0.00	0.00	99.00
ÇTTA	0.71	0.50	81.57	0.00	81.57
S	1.41	0.00	0.00	100.00	100.00
Kd	84.38	100.00	98.52	98.54	94.62
Gd: 94.62					Kappa: 0.93
Ankara					
Sınıflar (%)	KGy	BÖ	ÇTTA	S	Üd
KGy	95.50	0.00	8.46	0.00	95.50
BÖ	0.00	99.50	0.00	0.00	99.50
ÇTTA	4.50	0.50	91.54	0.00	91.54
S	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Kd	91.83	100.00	94.85	100.00	96.63
Gd: 96.63					Kappa: 0.95
İzmir					
Sınıflar (%)	KGy	BÖ	ÇTTA	S	Üd
KGy	99.50	0.00	0.00	0.00	100.00
BÖ	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
ÇTTA	0.50	0.00	100.00	0.00	99.50
S	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Kd	99.50	100.00	100.00	100.00	99.87
Gd: 99.87					Kappa: 0.99

Tablo 5'in devamı

Bursa					
Sınıflar (%)	KGY	BÖ	ÇTTA	S	Üd
KGY	93.52	0.00	5.00	0.00	93.52
BÖ	0.00	99.54	0.00	0.46	99.54
ÇTTA	6.48	0.00	95.00	0.00	95.00
S	0.00	0.46	0.00	99.54	99.54
Kd	95.28	99.54	93.14	99.54	96.93
				Gd: 96.93	Kappa: 0.96
Trabzon					
Sınıflar (%)	KGY	BÖ	ÇTTA	S	Üd
KGY	94.50	0.00	3.48	0.00	94.50
BÖ	0.00	98.51	2.99	0.00	98.51
ÇTTA	5.50	1.49	93.53	0.00	93.53
S	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Kd	96.43	97.07	93.07	100.00	96.93
				Gd: 96.65	Kappa: 0.96
Gaziantep					
Sınıflar (%)	KGY	BÖ	ÇTTA	S	Üd
KGY	99.00	0.00	0.50	0.00	99.00
BÖ	0.00	99.50	0.50	0.00	99.50
ÇTTA	1.00	0.50	99.00	0.00	99.00
S	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Kd	99.50	99.50	98.51	100.00	99.37
				Gd: 99.37	Kappa: 0.99
Erzurum (01.07.2011)					
Sınıflar (%)	KGY	BÖ	ÇTTA	S	Üd
KGY	94.06	0.00	4.50	0.00	94.06
BÖ	0.00	99.00	0.00	0.00	99.00
ÇTTA	5.94	1.00	95.50	0.00	95.50
S	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
Kd	95.48	100.00	93.17	100.00	97.14
				Gd: 97.14	Kappa: 0.96

2.5. Yüzey KIA Tespiti ve Karakterizasyonu

Her kentin kendine has yerleşim tarzı, coğrafi konumu, jeolojik yapısı, iklim durumu, konumsal yayılımı ve değişken arazi örtüsü/kullanım karakteristiği gibi özellikleri sebebiyle, literatürde KIA tespit ve karakterizasyonuna yönelik önerilen yaklaşımların birçoğunun farklı bölgelere ait farklı zamanlı veri setlerine uygulanması oldukça güç olup genelleştirilebilme kabiliyetleri düşüktür. Dolayısıyla az sayıda çalışmada bu tür çözüm yaklaşımları önerilmiş ve bir kentin yüzey KIA karakteristiğini tanımlayan; KIA konumu, kapsama alanı ve şiddeti gibi konumsal dağılım parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır

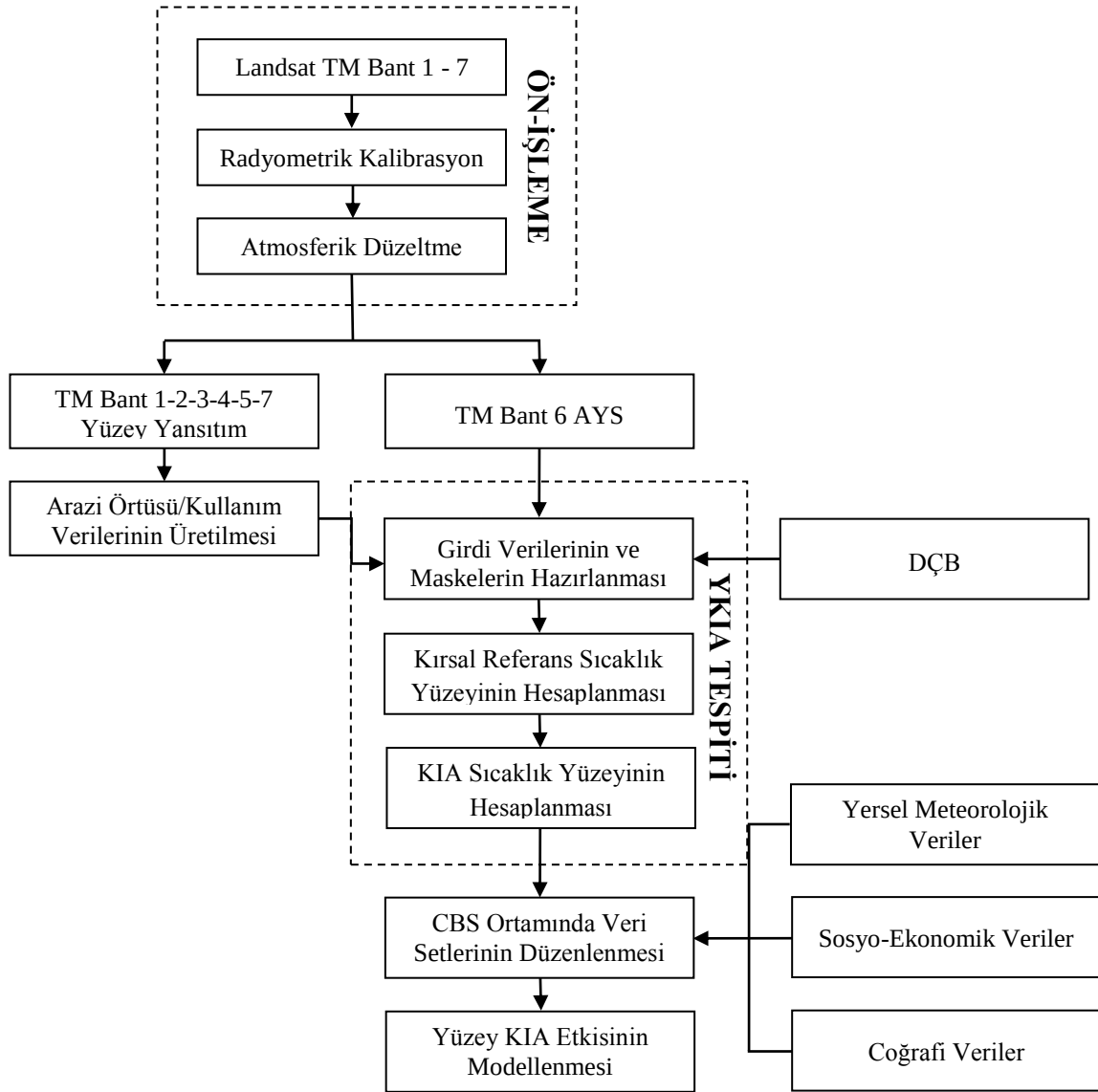
(Streutker, 2003; Rajasekar ve Weng, 2009; Anniballe vd., 2014). KIA etkisi altındaki bir kentte kentsel bölge ve onu sarmalayan kırsal bölge arasında sıcaklık farklılığı mevcut olup bu farklılık konuma bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte, bu farklılığın ve konuma dayalı değişiminin KIA varlığını temsil edebilmesi için belli bir karakteristik yapıda olması gereklidir. Bu aşamada KIA etkisinin doğası gereği kırsaldan kentsel bölgeye doğru konuma bağlı AYS değişiminin gauss fonksiyonu ile temsil edilmesi beklenmektedir (Streutker, 2002). Buradan hareketle kentsel ortam AYS (T_0) bileşenleri Streutker (2003) tarafından matematiksel olarak (1) eşitliğinde ifade edilmiştir. Eşitlikte KIA etkisi altındaki bir kentte AYS, kırsal referans sıcaklık yüzeyi $T_{KIRSAL}(x,y)$ ve yüzey KIA sıcaklık yüzeyinin $T_{YKIA}(x,y)$ kendisi olmak üzere iki temel bileşene ayrılmaktadır. Söz konusu bileşenlerin hesaplanması sonucunda kente ilişkin yüzey KIA etkisi karakterize edilebilmektedir.

$$T_0(x,y) = T_{KIRSAL}(x,y) + T_{YKIA}(x,y) \quad (30)$$

Bu çalışmada çözüm için önerilen yaklaşım; girdi verilerinin ve maskelerin hazırlanması, kırsal referans sıcaklık yüzeyinin hesaplanması ve KIA sıcaklık yüzeyinin hesaplanması olmak üzere 3 ana bölümde ifade edilecektir (Şekil 24).

2.5.1. Girdi Verilerinin ve Maskelerin Hazırlanması

Çalışmada önerilen yaklaşımda öncelikle girdi verisi olarak termal bant dışındaki tüm spektral bantları içeren 6 boyutlu Landsat TM yüzey yansıtım değerlerini içeren veri seti, AYS verisi, sınıflandırma aşamasında üretilmiş kentsel geçirimsiz yüzey sınıfına ilişkin binary görüntü verisi ve çalışma alanının en dış sınırlarını tanımlayan dörtgensel çalışma bölgesi (DÇB) UTM köşe koordinatlarını içeren meta veri kullanılmaktadır. Her kentsel çalışma bölgesine has DÇB kent ve yakın kırsal bölgenin en güncel haline göre oluşturulmuş olup ilgili kentte tüm periyotlarda aynı DÇB verisi kullanılmaktadır. Algoritmada girdi olan raster tabanlı veri setleri GeoTIFF formatında, DÇB verileri ise ASCII formunda düzenlenmiş ve kaydedilmiştir.



Şekil 24. Genel akış diyagramı

Çalışmada yüzey KIA etkisinin tespiti, karakterizasyonu ve konumsal yayılım parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla önerilen yaklaşımda ilk aşamada çalışma alanı içinde kalan kırsal/kentsel bölgelere ait pikseller dışındaki bulutlar ve su kitlelerine ait bölgeler maskelenmektedir. Bu amaçla bulutlu alanlar Irish vd. (2006) tarafından geliştirilmiş olan ACCA (Automatic Cloud Cover Assessment) algoritmasının genel yüzey KIA tespit algoritması içine entegre edilmesi sayesinde otomatik olarak tespit edilmekte ve ilgili piksel konumlarını ifade eden bulut maskesi üretilmektedir. Ardından benzer biçimde su kitlelerinin maskelenmesi amacıyla Karsli vd. (2011) tarafından önerilen NDWI (Normalize Edilmiş Su İndeksi) tabanlı otomatik su-kara ayırım algoritmasından

faaydalanılmaktadır. Algoritmada NDWI indeks görüntüsü üzerinden otomatik olarak belirlenen eşik değeri ile su ve kara bölgeleri segmente edilebilmektedir. Yaklaşımın genel algoritma içine eklenmesi sayesinde su-kara ayırım maskesi binary görüntü formatında otomatik olarak üretilmektedir.

Önerilen yaklaşımda üretilen bir diğer önemli maske de Kentsel Bölge Maskesi (KBM)'dir. Algoritmada KBM, sınıflandırma aşaması sonrasında elde edilmiş kentsel geçirimsiz yüzey görüntüsünden faydalanılarak otomatik olarak oluşturulmaktadır. Bu aşamada binary görüntü formatındaki kentsel geçirimsiz yüzey görüntüsüne disk biçiminde bir yapısal eleman yardımı ile çeşitli morfolojik operasyonlar uygulanmakta ve kentsel bölge içinde bir veya birkaç pikselden oluşan boşluklar doldurularak bütüncül yapıda bir kentsel bölge maskesi otomatik olarak üretilmektedir. Bu maske, su-kara ve bulut maskeleri ile kombine edilerek bulutlardan arındırılmış ve sadece karasal bölgeye ait piksel konumlarını ifade eden Kombinasyon Maskesi (KM) I  retilmektedir. Bu maske algoritmanın girdi verilerinden birisi olan AYS görüntüsüne uygulanmakta ve piksel değerlerine ait histogram yardımıyla ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmaktadır. Ortalamadan negatif yönde 2 standart sapma (2σ) değerinden fazla uzaklaşan pikseller var ise bu pikseller maskeleme işleminin ardından kalabilen bulut çekirdeklerine ait aşırı soğuk bölgeleri ifade etmektedir. Bu değerler hesaplama katılmamalıdır. Bu sebeple ilgili piksel konumlarının da ilave edilmesi sonrasında KM I maskesi yeniden düzenlenerek nihai haline getirilmektedir. Bu işlemin ardından KM I ile KBM'nin kombine edilmesi sonucu kentsel bölgenin geçici olarak maskelendiği ve sadece kırsal bölgelerde kalan piksel konumlarını ifade eden KM II maskesi üretilmektedir.

Bu bölümde ifade edilen tüm maskeler çalışmada kullanılan yaklaşım yardımıyla benzer metodolojiye sahip Streutker (2002) ve (2003)  alı malarındaki yetersizliklerin giderilmesi amacıyla tamamen farklı bir biçimde otomatik olarak üretilmektedir. Streutker (2002) ve (2003)  alı malarında ilgili kent için evvelce üretilmiş çeşitli harita verilerinden faydalanılmaktadır. Bu verilerin bulunmadığı veya yetersiz olduğu bölgelerde yaklaşım uygulanamayacaktır. Ek olarak ifade edilen çalışmalarda kent için çok sayıda farklı zamanlara ait görüntü verisi analiz edilmesine karşın farklı kaynaklardan öncül olarak elde edilmiş sadece tek bir kentsel bölge maskesi kullanılmaktadır. Bu eksiklikler yaklaşımın genel olarak uygulanabilirliğini g  le tirmekte ve performansını olumsuz yönde etkilemekte olduğundan dolayı bu çalışmada Streutker (2002) ve (2003)  alı malarının bu eksikliklerini ortadan kaldıran farklı bir yaklaşım önerilmektedir.

2.5.2. Kırsal Referans Sıcaklık Yüzeyinin Hesaplanması

Önerilen KIA karakterizasyon modelinin genel olarak uygulanabilir olması ve en doğru KIA yoğunluklarının hesaplanmasında kırsal bölge için elde edilecek referans sıcaklık değerlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Geçmişte yapılmış birçok araştırmada sadece belli sayıda kırsal noktadan elde edilmiş noktasal sıcaklık verileri veya çalışma alanının konumsal büyüklüğüne oranla oldukça küçük alanlardan elde edilmiş kırsal sıcaklık değerleri veya bu değerlerin ortalamaları referans sıcaklık olarak kabul edilmiş ve yüzey KIA varlığı araştırılmıştır. Özellikle büyük kentsel bölgeleri saran kırsal çalışma alanlarının farklı topografik, klimatolojik, jeolojik ve arazi örtüsü karakterinde olması durumunda bu şekilde bir örneklem ile kırsal referans sıcaklık belirlenmesi yüzey KIA yoğunluklarının hatalı tespitine sebep olabilmektedir. Bu sebeple referans sıcaklık değerleri için sabit bir referans değer seçimi yerine lineer olarak değişen bir matematiksel yüzeyin kullanılması mutlak suretle gereklidir. Bu sürekli lineer fonksiyon ile tanımlı yüzey belirlenirken termal görüntü üzerinde çeşitli sebeplerden dolayı meydana gelen ani lokal sıcaklık değişimlerinin gürültü etkisi de ortadan kaldırılmalıdır. Bu amaçla çalışmada, Streutker (2002) ve (2003) çalışmaları ile benzer biçimde lineer bir referans sıcaklık yüzeyi en küçük kareler tekniği yardımıyla Bölüm 2.5.1 de üretilmiş olan KM II maskesi ile elde edilmiş sadece kırsal bölgeyi kapsayan AYS değerleri üzerine fit edilmiştir. Söz konusu kırsal referans sıcaklık yüzeyi (31) eşitliğinde ifade edilmektedir.

$$T_{Kırsal}(x, y) = T_{k0} + a_1x + a_2y \quad (31)$$

Eşitlikte; T_{k0} kırsal bölge için ortalama yüzey sıcaklığını a_1 ve a_2 ise yüzeyin konumsal sıcaklık değişimlerini ifade etmektedir. Bu parametreler sayesinde kırsal bölge sıcaklıklarının konuma dayalı lineer değişimleri de modellenebilmektedir.

2.5.3. KIA sıcaklık yüzeyinin hesaplanması

Önerilen yaklaşımda (30) genel eşitliğinde T_{YKIA} bileşeni, Gauss yüzey modeli (32) ile temsil edilen yüzey KIA etkisini ifade etmektedir.

$$T_{YKIA}(x, y) = a_0 \exp \left[-\frac{((x - x_0) \cos \phi + (y - y_0) \sin \phi)^2}{0.5a_x^2} - \frac{((y - y_0) \cos \phi - (x - x_0) \sin \phi)^2}{0.5a_y^2} \right] \quad (32)$$

Eşitlikte kentsel ısı adasına ilişkin; a_0 genlik değerini, x_0 ve y_0 merkez konumunu, a_x ve a_y x ve y yönünde konumsal yayılımını, ϕ yönelim açısını ifade etmektedir.

Algoritmada ilk aşamada $NT = T - T_{Kırsal}$ ifadesi yardımı ile sıcaklık anomalileri hesaplanmaktadır. NT değerlerine Gauss yüzeyinin en küçük kareler algoritmasına göre fit edilmesi sonucunda KIA oluşumuna yönelik tüm parametreler elde edilebilmektedir. Bu aşamada NT yüzeyinin Gauss yüzey modeline uygunluk düzeyi (R^2) aynı zamanda kentteki yüzey KIA etkisinin varlığının, konumsal kapsamının ve şiddetinin tespitinde önemli oranda etkilidir. Kentsel bölgeler karmaşık heterojen arazi örtüleri sebebi ile gerçekçi olmayan ve sürekli bir yapıda temsil edilemeyen lokal, geçici aşırı yüksek NT değerlerine sahip olabilmektedir. Bu gürültüler fit işlemini olumsuz yönde etkilemekte ve R^2 değerini düşürmektedir. Oysaki yüzey KIA karakteristiği; kırsaldan kentsel ve daha yoğun kentsel bölgelere doğru gauss modelinde süreklilik ifade eden bir yapıda olmalıdır. Bu aşamada Streutker (2003) bu etkileri göz önünde bulundurmadan doğrudan fit işlemini uygulamıştır. Bu elde edilen KIA parametrelerinin temsil gücünü azaltmaktadır. Önerilen yaklaşımda bu olumsuzluğun önüne geçmek için NT yüzeyine σ ve R^2 değerlerine bağlı olarak iteratif gauss alçak geçirgen konumsal filtre ile yumuşatma ve eş zamanlı en küçük kareler yüzey fit işlemi uygulanmaktadır. Bu aşamada algoritmada iterasyon öncesinde NT yüzeyine (32) modeli fit edilmekte ve R^2 düzeyi incelenmektedir. 0.7 R^2 değerinden küçük eşleşme düzeyi var ise iterasyon süreci başlamaktadır. İterasyona başlamadan başlangıç değeri olarak NT için σ hesaplanmakta ve bu değere bağlı $s=4\sigma$ olacak şekilde uygulanacak simetrik Gauss alçak geçirgen konumsal filtre parametreleri türetilmektedir. Buradan hareketle gauss kernel fonksiyonu $[2s \times 2s]$ boyutunda ve s standart sapma değeri ile oluşturulmakta ve NT yüzeyine konvole edilmektedir. Konumsal filtre yardımıyla yumuşatılmış NT yüzeyi için tekrar σ değeri hesaplanmakta ve bu yüzeye en küçük kareler tekniği ile (32) modeli fit edilmektedir. Elde edilen yeni R^2 değeri 0.7 değerine eşit veya büyükse ve aynı zamanda filtrelenmiş yüzey için yeniden hesaplanan σ değeri 0.5 değerinden küçükse iterasyon bitirilmekte ve nihai yüzey KIA modeli elde edilmektedir. Bu şartlar sağlanmadığı takdirde iki R^2 değeri arası fark pozitif ve 0.01 değerinden büyük olduğu sürece $s=1.5s$ olarak revize edilerek iterasyon süreci optimum durum sağlanıncaya

kadar devam etmektedir. Bu sayede gauss yüzey modeline uygun olarak yüzey KIA varlığı irdelenebilmekte ve konumsal parametreleri tespit edilebilmektedir. Bu aşamada elde edilmiş olan Gauss yüzeyi 1 K eşiğine göre değerlendirilerek yüzey KIA etkisi altındaki bölgenin dış sınırları elde edilmiştir. Bu aşamada kullanılan 1K eşiği metodu Streutker (2002), (2003) ve Anniballe vd., (2014) tarafından önerilmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Bu işlemin ardından yüzey KIA etkisi altındaki bölgeyi ifade eden yüzey KIA maskesi otomatik olarak üretilmekte ve bu bölgedeki *NT* yüzey KIA yoğunluk değerleri ile birlikte kaydedilmektedir. Ayrıca eş zamanlı olarak tespit edilen yüzey KIA parametreleri de meta veri olarak kaydedilmektedir. Çalışmada ifade edilen KIA tespit ve karakterizasyon yaklaşımının Matlab ortamında geliştirilen yazılım yardımıyla kentsel çalışma bölgelerinde tüm periyotlarda uygulanması sonucunda yüzey KIA etkisinin varlığı araştırılmış ve etki altındaki kentsel bölgelerde yüzey KIA parametreleri ortaya koyulmuştur.

Çalışmada kentsel çalışma bölgelerinde gece yüzey KIA etkisini araştırmak amacıyla ASTER verileri kullanılarak üretilmiş gece dönemi *AYS* değerlerinden faydalanılmıştır. Bununla birlikte, ASTER platformunun gece döneminde elektromanyetik spektrumun sadece termal bölgesinde veri kaydedebilmesinden ötürü önerilen yaklaşımda yüzey KIA tespiti ve karakterizasyonu için gerekli olan arazi örtüsü/kullanım verisi sadece ASTER verileri kullanılarak üretilmemektedir. Bu sebeple yüzey KIA analizinde daha önce Landsat TM verileri yardımı ile üretilmiş arazi örtüsü/kullanım veri setlerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla önerilen yaklaşımda her ASTER verisi kendisine en yakın tarihli arazi örtüsü/kullanım verileri ile konumsal olarak kombine edilerek gece döneminde yüzey KIA etkisi ortaya koyulmuştur. Bu aşamada her kentsel çalışma bölgesi için Bölüm 2.5.1’de oluşturulmuş DÇB bilgisinden de faydalanılmıştır. İzmir kentine ilişkin gece dönemi ASTER verisi temin edilemediğinden dolayı bu kentte gece dönemine ilişkin KIA etkisi irdelenememiştir.

2.6. CBS Ortamında Veri Setlerinin Düzenlenmesi ve Veritabanlarına Entegre Edilmesi

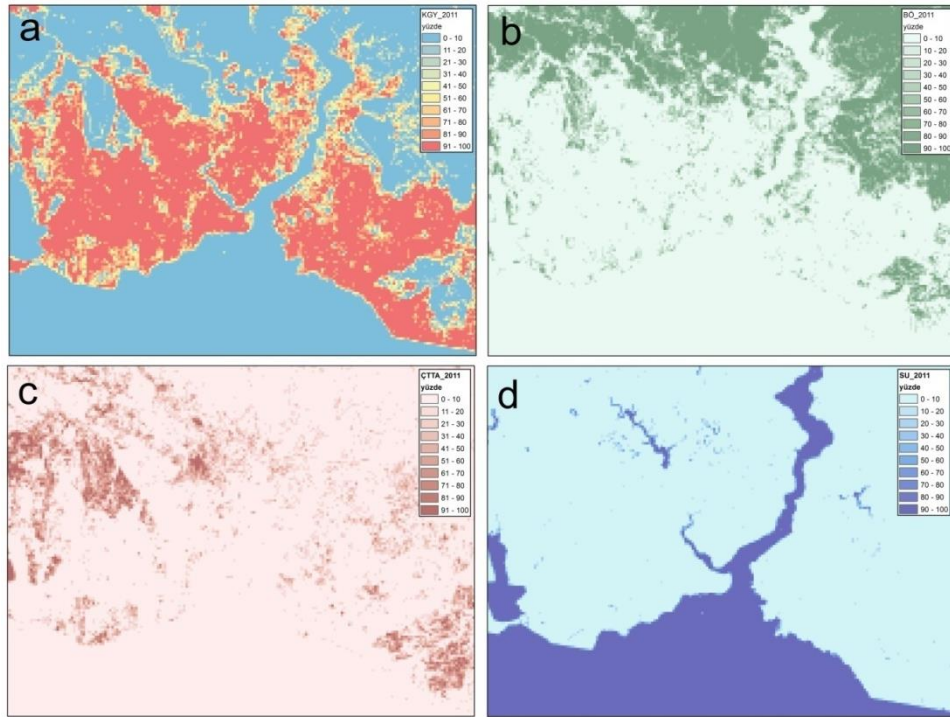
Çalışmada özellikle yüzey KIA etkisinin modellenmesi aşamasında farklı türden çok sayıda veri seti bir arada değerlendirilmiştir. Bu sebeple söz konusu yoğun veri kitlesinin senkronizasyonu, yönetimi, konumsal bilgi ile ilişkilendirilmesi ve çeşitli konumsal analizlerin yapılması amacıyla her kentsel çalışma bölgesi için CBS ortamında bir

konumsal veritabanı (geo-database) oluşturulmuştur. Kullanılan tüm veri setleri için UTM projeksiyon sistemi tercih edilmiş olduğundan derlenen veya üretilen veri setlerinden farklı projeksiyon sisteminde olanlar gerekli projeksiyon tanımlama işlemleri yapıldıktan sonra veritabanlarına dahil edilmiştir.

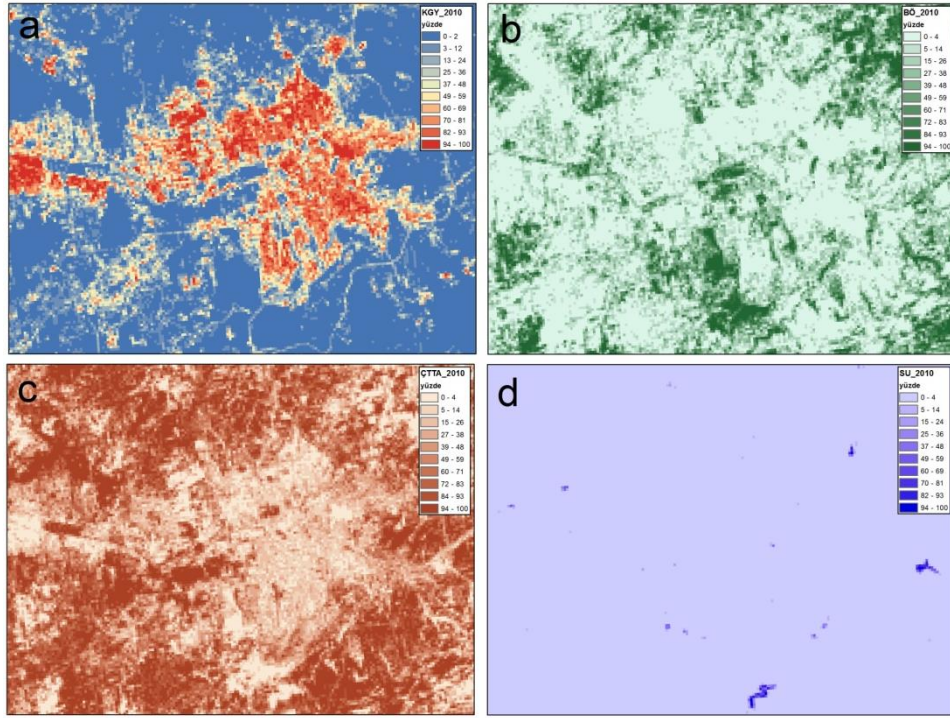
Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesi sürecinde Bölüm 2.2.1’de de ifade edildiği üzere her kentsel çalışma bölgesinde Landsat TM veri setleri için uygun bir periyot belirlenmiştir (Tablo 2 koyu renkli gösterim). Söz konusu periyotlar için çalışmanın önceki aşamalarında üretilmiş; yüzey KIA yoğunlukları, yüzey KIA etkisi altındaki bölgeyi ifade eden KIA maskesi ve arazi örtüsü/kullanım veri setleri gibi uydu verilerinden türetilen veriler 30 m grid boyutunda raster formda veritabanlarına eklenmiştir. Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesine yönelik yapılan istatistiksel analizler; kullanılacak tüm veri türlerinin konumsal çözünürlüğü ve yüzey KIA yayılım karakteri dikkate alınarak belirlenen 210 m grid boyutu ile raster veri formunda gerçekleştirilmiştir. Buradan hareketle tüm veri setleri 210 m grid boyutuna çıkarılıp tüm gridler birebir örtüşecek biçimde birleştirilerek (KIA yoğunluk katmanı konumsal referans alınarak) her bir kentsel çalışma bölgesine ilişkin çok boyutlu veri setleri oluşturulmuştur. Bu aşamada farklı veri katmanları için farklı genelleştirme metodolojileri uygulanmıştır. İlk olarak yüzey KIA yoğunluk katmanı için 7 adet komşu grid (30 m) değerinin ortalamasının hesaplanıp merkez grid değerine atanması yoluyla nihai KIA yoğunluk katmanları üretilmiş ve veritabanlarına eklenmiştir. Ardından her bir çalışma bölgesine ilişkin arazi örtüsü/kullanım veri seti için genelleştirme sürecinde; kentsel geçirimsiz yüzey (KGY), bitki örtüsü (BÖ), çıplak toprak & tarım alanı (ÇTTA) ve su (S) olmak üzere 4 ayrı katman üretilmiş ve her biri için 210x210 m grid alanı içindeki 30 m piksel sayıları yardımı ile yüzdelik birimde yoğunluk indeksleri oluşturulmuştur. Bu aşamada CBS ortamında; İstanbul (Şekil 25), Ankara (Şekil 26), İzmir (Şekil 27), Bursa (Şekil 28), Trabzon (Şekil 29), Gaziantep (Şekil 30) ve Erzurum (Şekil 31) kentsel çalışma alanları için Tablo 6’da ifade edilen istatistiksel analiz periyotlarında arazi örtüsü/kullanımı yoğunluk haritaları üretilmiştir.

Tablo 6. İstatistiksel analizlerde kullanılan arazi örtüsü/kullanım yoğunlukları metaverisi

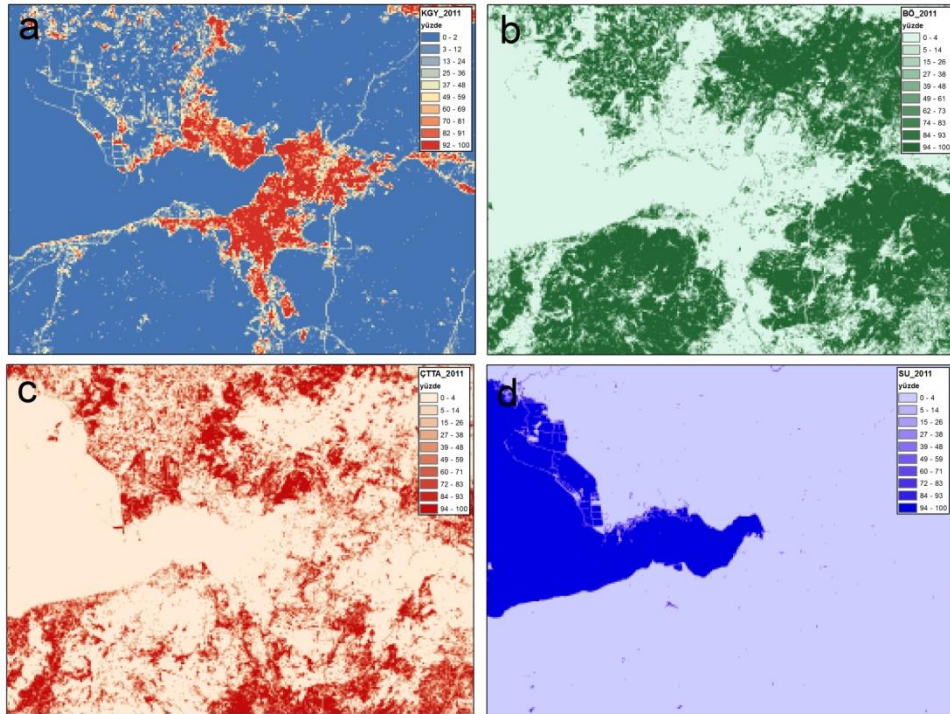
	Periyot	KGY	BÖ	ÇTTA	S
İstanbul	2011	✓	✓	✓	✓
Bursa	2011	✓	✓	✓	✓
İzmir	2011	✓	✓	✓	✓
Ankara	2010	✓	✓	✓	✓
Gaziantep	2011	✓	✓	✓	✓
Erzurum	2009	✓	✓	✓	✓
Trabzon	2011	✓	✓	✓	✓



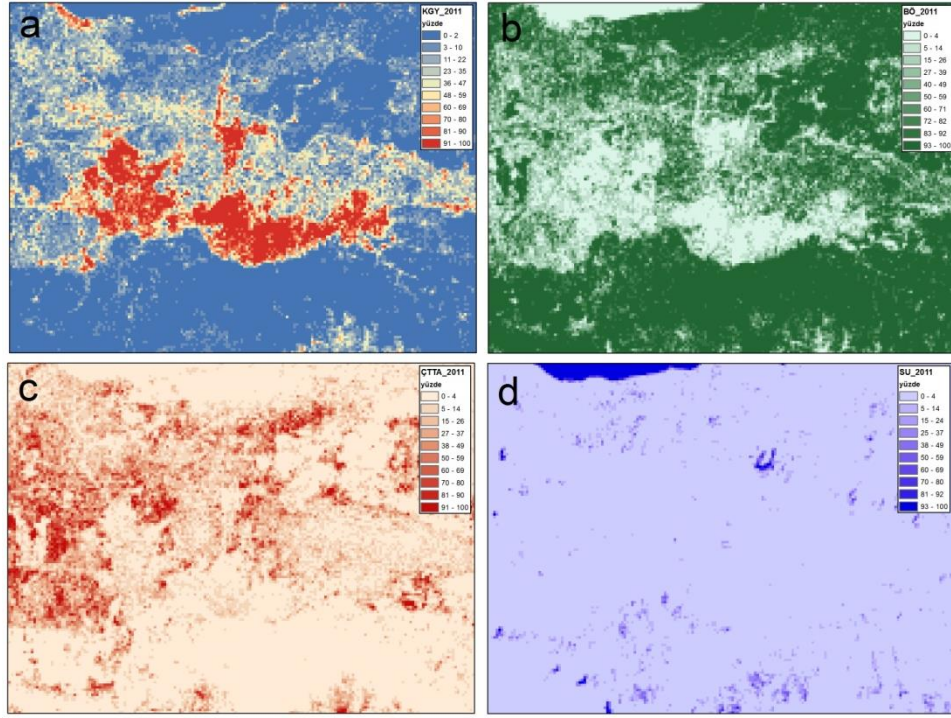
Şekil 25. İstanbul kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S



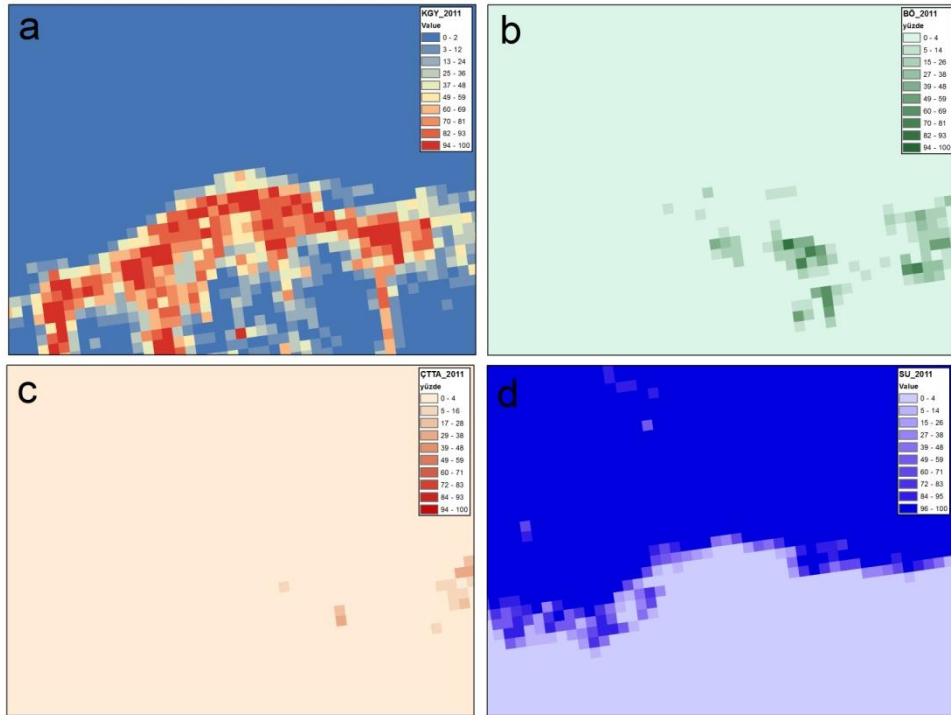
Şekil 26. Ankara kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S



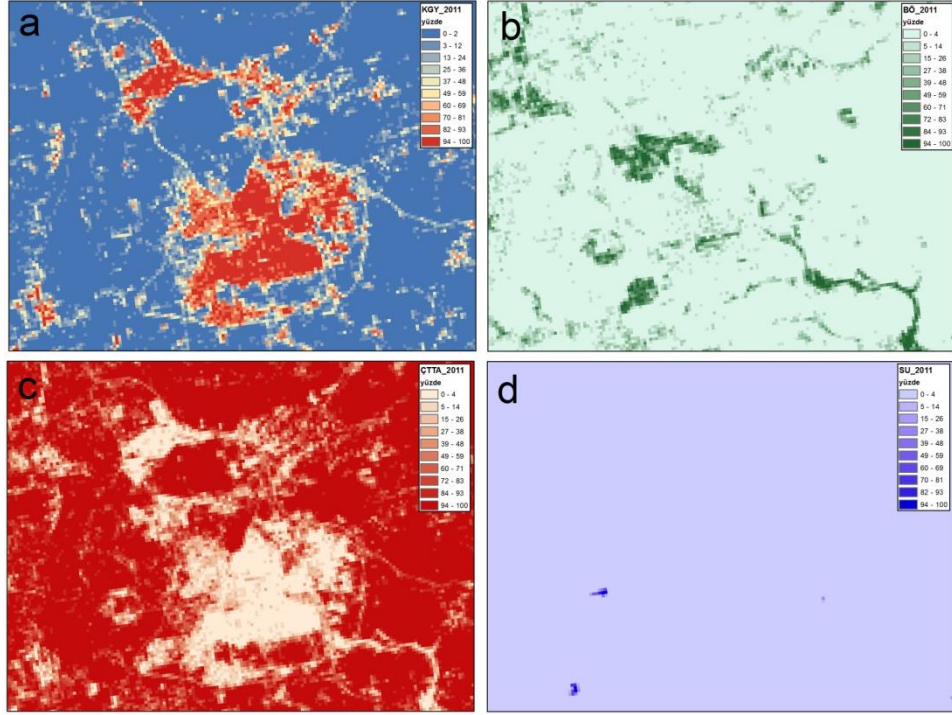
Şekil 27. İzmir kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S



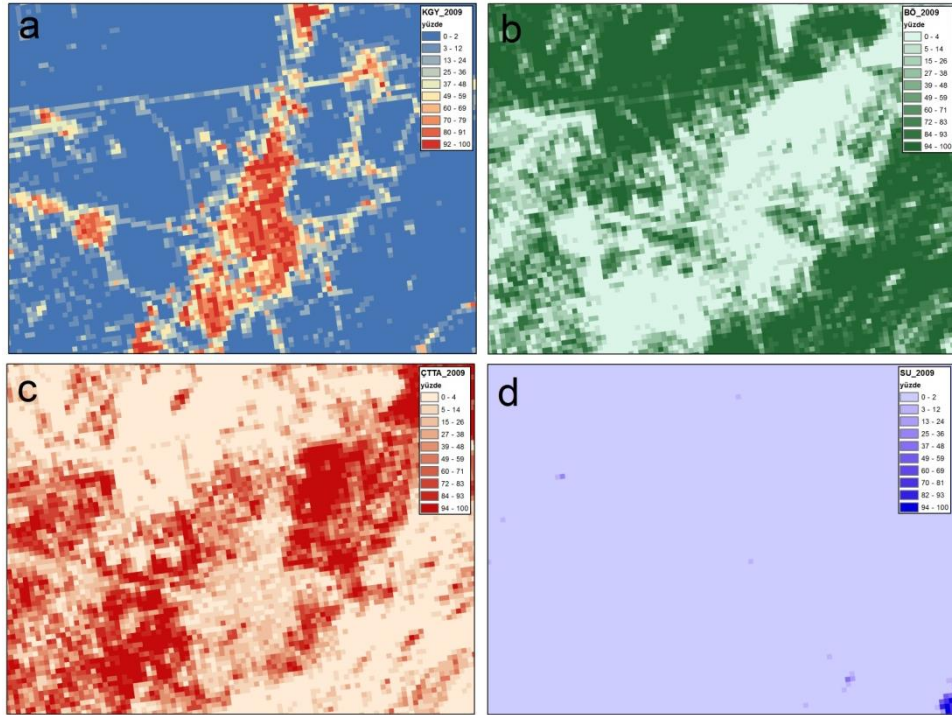
Şekil 28. Bursa kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S



Şekil 29. Trabzon kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S

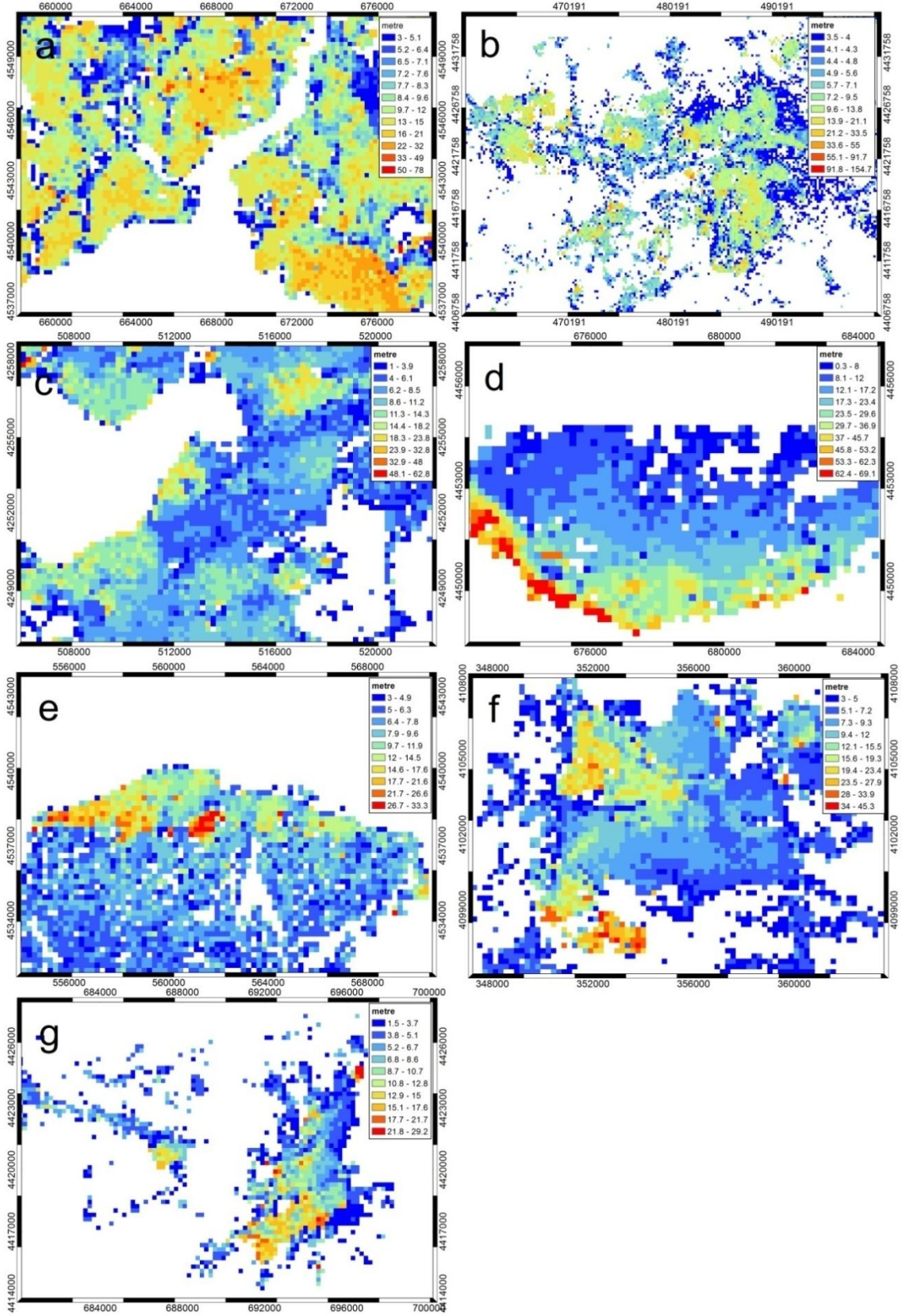


Şekil 30. Gaziantep kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S



Şekil 31. Erzurum kentine ilişkin arazi örtüsü/kullanım yoğunluk haritaları; (a) KGY, (b) BÖ, (c) ÇTTA, (d) S

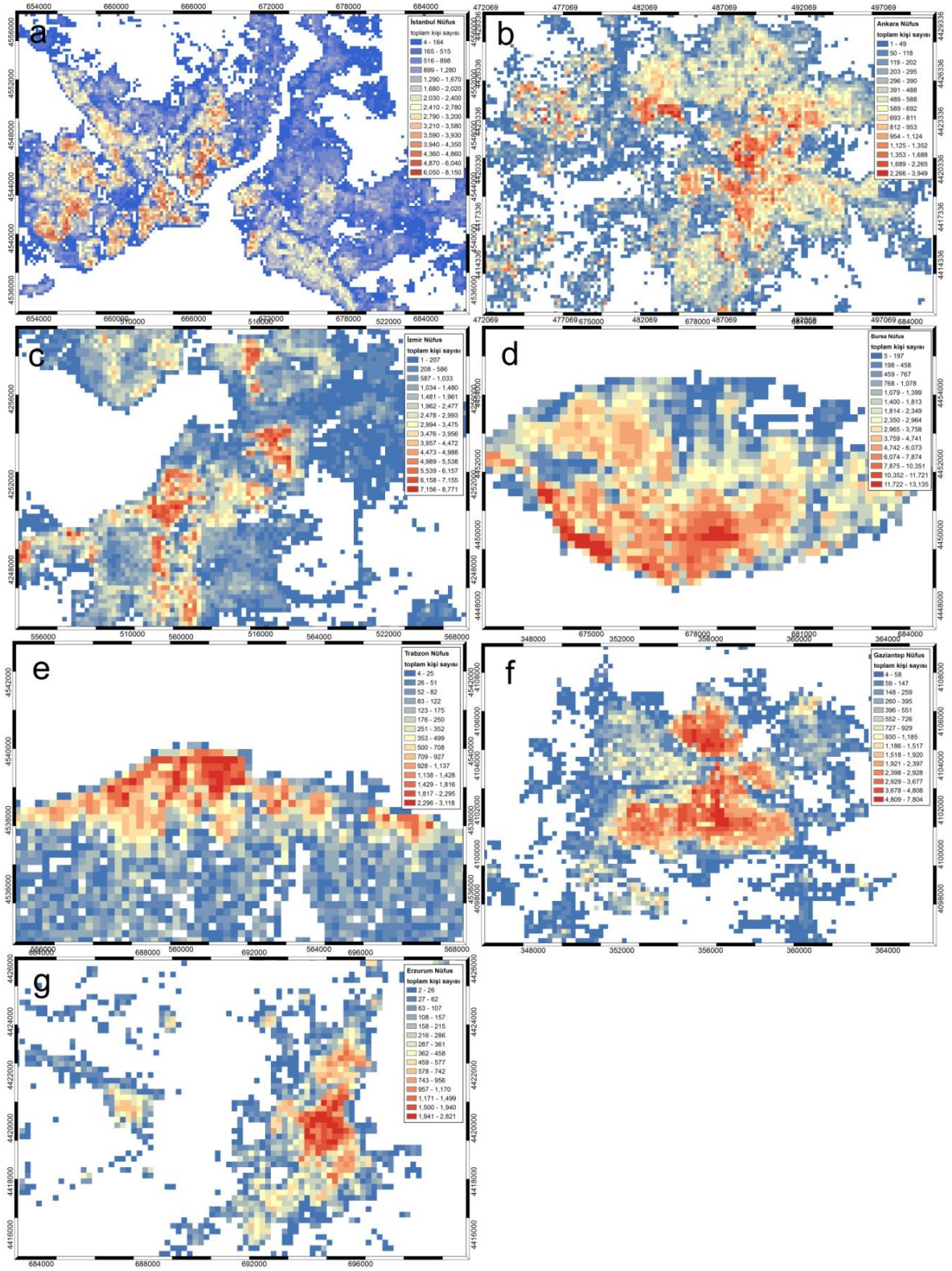
Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesi sürecinde kullanılacak bir diğer veri katmanı olan SYM üretimi için fotogrametrik veya jeodezik yöntemlerle üretilmiş vektör tabanlı hâlihazır harita verilerinden faydalanılmıştır. Bu aşamada tüm kentsel çalışma bölgeleri için eş yükseklik eğrileri kullanılarak 210 m grid boyutunda SYM verisi üretilmiş ve veri tabanlarında çok boyutlu veri setine eklenmiştir. Benzer biçimde ortalama bina yüksekliği katmanı için yine fotogrametrik teknik ile üretilmiş hâlihazır haritalardan veya ilgili belediyelerin CBS veritabanlarında mevcut bina katmanlarından faydalanılmıştır. Bu aşamada öncelikle CBS ortamında vektör bina verisi 5 m piksel boyutu ile rasterize edilmiştir. Bu işlemin ardından 210x210 m grid bölge içindeki binalara ilişkin yükseklik değerlerinin ortalaması hesaplanmış ve raster formda elde edilen ortalama bina yüksekliği katmanı veri tabanına ilave edilmiştir. Bu işlem tüm kentsel çalışma bölgelerinde tekrarlanmış ve ortalama bina yüksekliği katmanları üretilerek CBS veri tabanlarındaki çok boyutlu veri setlerine eklenmiştir (Şekil 32).



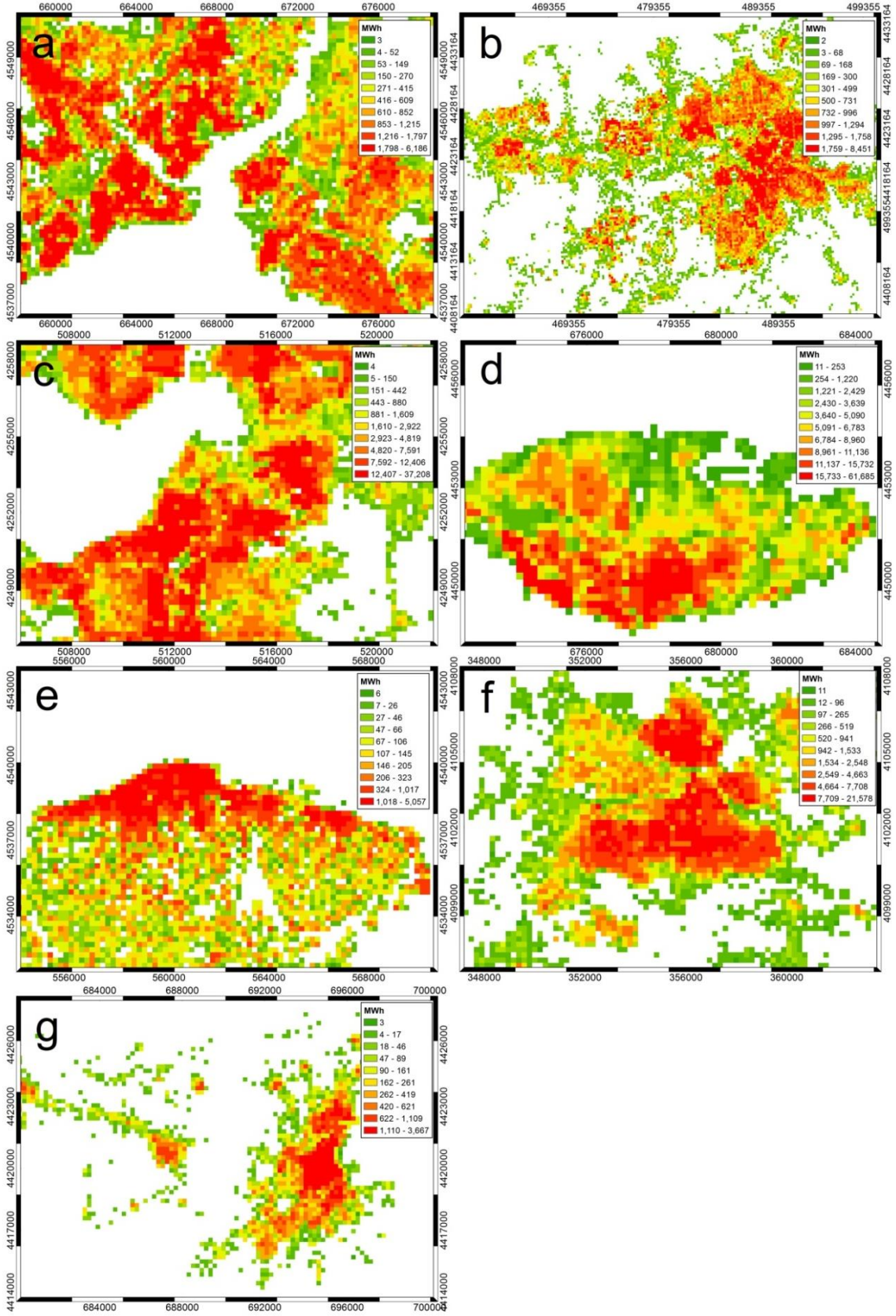
Şekil 32. Çalışma alanını oluşturan; (a) İstanbul, (b) Ankara, (c) İzmir, (d) Bursa, (e) Trabzon, (f) Gaziantep ve (g) Erzurum kentsel bölgeleri için üretilen ortama bina yüksekliği haritaları

Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesi sürecinde nüfus verilerinden de faydalanılmıştır. Söz konusu nüfus yoğunluk katmanları, kentsel çalışma bölgeleri için TUIK tarafından yayınlanmış istatistik raporlarında ifade edilen ilçe ve belde bazında ortalama birim hane halkı büyüklüklerinden yararlanılarak üretilmiştir. Buradan hareketle her bir 210m grid alanına düşen toplam nüfus değeri hesaplanarak ilgili grid değeri olarak atanmıştır. Bu aşamada tüm kentsel çalışma bölgeleri için nüfus yoğunluk haritaları 210 m grid boyutunda üretilmiş ve veri tabanlarında çok boyutlu veri setlerine entegre edilmiştir (Şekil 33). Benzer biçimde her bir kentsel çalışma bölgesi için kişi başına düşen toplam elektrik tüketim miktarı (kw) TUIK tarafından yayınlanmış istatistik raporlarından elde edilmiştir. Buradan hareketle CBS ortamında birim grid başına düşen toplam elektrik tüketim miktarları MW cinsinden hesaplanmış ve tüm kentler için elektrik tüketim haritaları üretilmiştir (Şekil 34).

Yüzey KIA etkisinin modellenmesine yönelik olarak kullanılması düşünülen bir diğer veri seti de yersel meteorolojik verilerdir. Bu amaçla söz konusu verilerin alındığı yersel sabit istasyonlara ilişkin coğrafi konum bilgisi TUMAS ortamından elde edilerek her bir kentsel çalışma bölgesinde bulunan istasyonlar için CBS ortamında nokta katmanı oluşturulmuştur. Söz konusu istasyonlarca modelleme süreci için belirlenen periyotlar ile eşzamanlı olarak algılanmış; nem, basınç, rüzgar hızı gibi çeşitli meteorolojik veriler tabular veri olarak oluşturulan katmanlara girildikten sonra ve bu katmanlar ilgili veritabanlarına entegre edilmiştir. Veritabanlarında her sabit meteoroloji istasyonu tek grid üzerine düşmektedir. Bu aşamada kentsel çalışma bölgelerinde bulunan sabit istasyon sayısının oldukça az oluşu nedeniyle mevcut istasyonlardan yüzey KIA etkisi altında kalan bölgelerde konumlanmış olup eş zamanlı veri temin edebilenlerin sayısının maksimum 1 adet olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple kentsel çalışma bölgelerinin hiç birinde yüzey KIA etkisinin modellenmesi sürecinde uygulanan çoklu regresyon analizlerinde sabit meteoroloji istasyonlarca elde edilmiş verilerden faydalanılamamıştır.



Şekil 33. Çalışma alanını oluşturan; (a) İstanbul, (b) Ankara, (c) İzmir, (d) Bursa, (e) Trabzon, (f) Gaziantep ve (g) Erzurum kentsel bölgeleri için üretilen nüfus yoğunluk haritaları



Şekil 34. Çalışma alanını oluşturan; (a) İstanbul, (b) Ankara, (c) İzmir, (d) Bursa, (e) Trabzon, (f) Gaziantep ve (g) Erzurum kentsel bölgeleri için üretilen elektrik tüketim haritaları

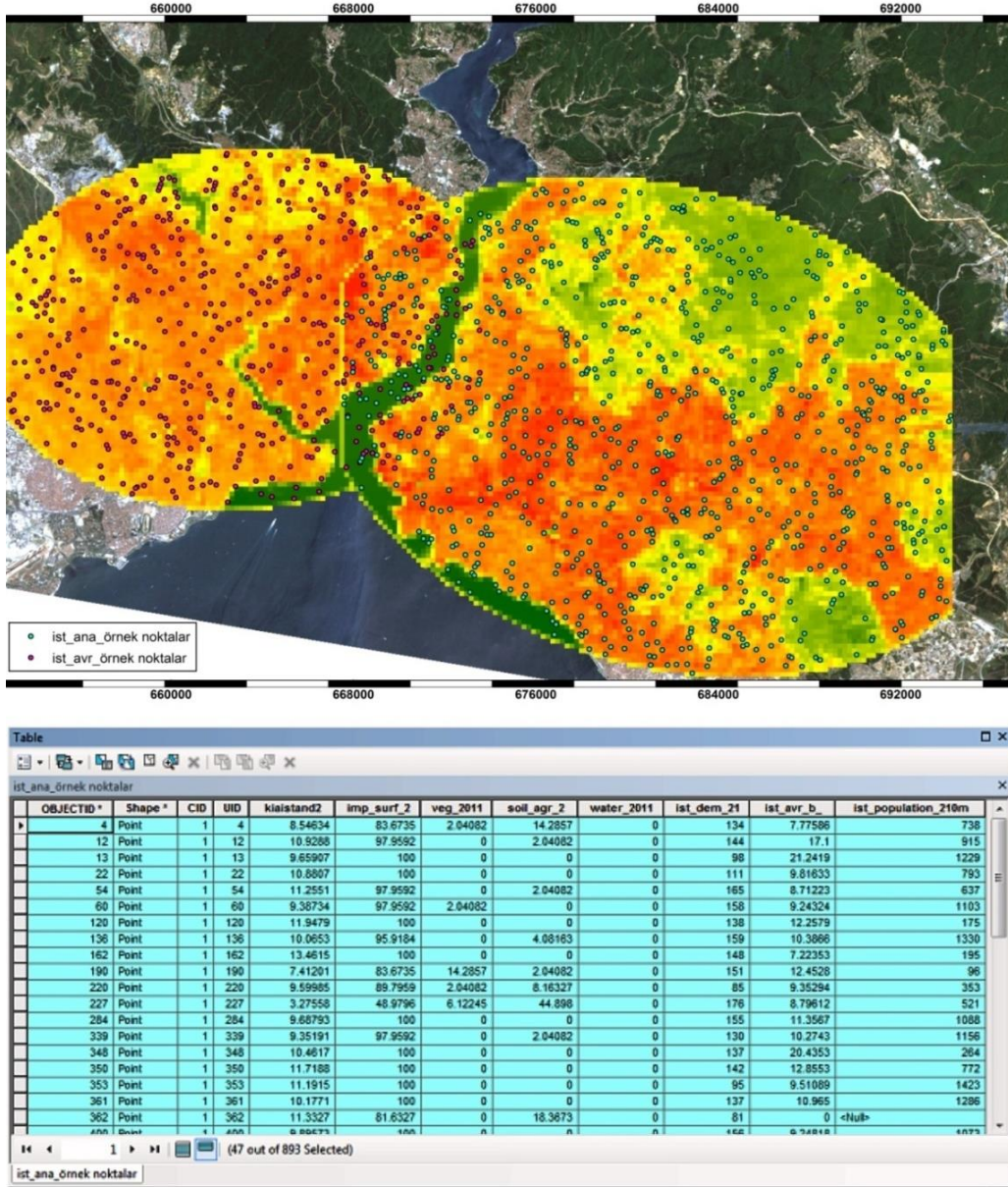
2.7. Yüzey KIA Etkisinin Modellenmesi

Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesi aşamasında istatistiksel bir yaklaşım olan OLS (Ordinary Least Squares) çoklu regresyon tekniğinden faydalanılmıştır. OLS regresyon tekniğine ilişkin matematiksel model (33) eşitliğinde ifade edilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \delta \quad (33)$$

Eşitlikte; Y bağımlı değişkeni, $x_1, x_2, \dots, x_n$ bağımsız değişkenleri, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ regresyon katsayılarını, δ ise rastgele hata terimini ifade etmektedir (Wooldridge, 2003).

Modelleme aşamasında öncelikle CBS ortamında her bir kentsel çalışma bölgesi için 210 m grid boyutunda ve raster formda hazırlanmış çok-boyutlu veri setleri üzerinden örnekleme işlemi yapılmıştır. Bu aşamada Bölüm 2.5.3’de üretilmiş, yüzey KIA etkisi altındaki bölge sınırlarını ifade eden yüzey KIA maskesi yardımıyla etki altındaki gridlerin %8’i konumsal rastgele örneklem metodu kullanılarak CBS ortamında seçilmiş ve nokta veri formunda veritabanına aktarılmıştır (Şekil 35). Ardından yapılan konumsal analizler ile seçilen her bir örnek noktaya bulunduğu konumdaki çok-boyutlu gridlere ilişkin; yüzey KIA yoğunluğu, arazi örtüsü/kullanım yoğunlukları, SYM yüksekliği, nüfus yoğunluğu, ortalama bina yüksekliği ve toplam elektrik enerjisi tüketim miktarı değerlerinden oluşan veriler tabular bilgi olarak aktarılmıştır. Bu sayede her örnek gridi temsil eden nokta veritabanında; regresyon modelinde kullanılmak üzere 9 farklı parametre bir araya getirilmiş olup bu parametrelerden yüzey KIA yoğunluğu bağımlı değişken, diğerleri ise bağımsız değişken olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 35. İstanbul kenti yüzey KIA etkisi altında bulunan bölgelerde örnek noktalar ve veritabanı görünümü

OLS çoklu regresyon analizlerinde her bir kentsel çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA etkisini başarıyla açıklayabilen parametrelerin tespit edilebilmesi ve sadece anlamlı parametreler kullanılarak regresyon modellerinin kurulabilmesi amacıyla iki aşamalı bir istatistiksel analiz süreci gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ilk aşamada yapılan öncül OLS regresyon analizlerinde iteratif bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu aşamada bağımsız değişken sayısı 8'den 1'e aşamalı olarak azaltılırken diğer yandan da her azalışta değişkenler ile oluşturulabilecek farklı OLS model kombinasyonları; minimum R^2 düzeyi, maksimum VIF (Varyans Etkileşim Faktörü) değeri, maksimum p olasılık parametresi (her bir bağımsız

değişkene ilişkin (34) modelinde hesaplanan katsayıların kurulan model için belli bir güven aralığında anlamlılık düzeyini ifade eder), Moran's-I konumsal oto-korelasyon değeri (regresyon residuallerinin konumsal olarak rastgele dağılım durumunu ifade eder) gibi istatistiksel kriterler yardımıyla modelin ve değişkenlerin performansı kritize edilerek en uygun bağımsız değişken kombinasyonuna karar verilmiştir. İkinci aşamada ise her bir kentsel çalışma bölgesi için yüzey KIA yoğunluğu bağımlı değişkeni ile seçilen bağımsız değişkenler arasında OLS çoklu regresyon modeli kurulmuştur (URL-5).

2.8. Atmosferik KIA Tespiti

Çalışmada seçilen kentsel bölgelerde bir diğer KIA türü olan Atmosferik KIA etkisinin varlığı da araştırılmıştır. Bu amaçla mobil transekt geçişler tekniği kullanılmıştır. Söz konusu teknikte araç üzerine yerleştirilmiş olan düzenek yardımıyla; kırsal bölgeden kentsel bölgeye ve tekrar kırsal bölgeye ulaşıncaya değin seçilen yol güzergâhlarında belli aralıklarla atmosferik yakın yüzey sıcaklıkları ölçülerek kaydedilmektedir. Çalışmada bu amaçla T&D Şirketi tarafından üretilmiş *TR-77Ui* sıcaklık/nispi nem algılayıcı sensör ve veri kaydediciden faydalanılmıştır. Söz konusu sensör yaklaşık 1.5 m yükseklikte araç üzerine monte edilmiştir. Ayrıca, eşzamanlı olarak GPS (Global Positioning System) yardımıyla güzergâh üzerinde ölçüm yapılan her bir istasyon noktasına ilişkin konum verisi de kaydedilmektedir.

Her bir kentsel çalışma bölgesine ilişkin Kuzey-Güney (KG)/Güney-Kuzey (GK) ve Doğu-Batı (DB)/Batı-Doğu (BD) yönlerinde oluşturulan yol güzergâhları navigasyon sistemi yardımıyla önceden tasarlanarak kaydedilmiştir. Arazide ölçüm işlemleri; sürücü, GPS/navigasyon sistemleri yönetim elemanı ve yersel meteorolojik veri kayıt sistemi yönetim elemanı olmak üzere 3 kişilik arazi ekibi tarafından gerçekleştirilmektedir. Arazi çalışması esnasında; GPS/navigasyon sistemleri yönetim elemanı tanımlanmış güzergâha ilişkin yönlendirmeleri yapmakta, güzergâh üzerinde belli aralıklarla (min. 2 km - maks. 5 km) durulacak istasyon noktalarının konumları belirlenmektedir. Yersel meteorolojik veri kayıt sistemi yönetim elemanı ise; istasyon noktasında araç durduktan sonra sensörün minimum fiks zamanlamasını dikkate alarak ölçü kayıt başlangıç - bitiş zamanlarını belirlemekte ve kaydetmekte, istenilen ölçü kayıt aralığında (çalışma 2 sn olarak seçilmiştir) veri kaydını gerçekleştirmekte ve GPS/navigasyon sistemleri yönetim elemanı tarafından belirlenen istasyon noktasına ilişkin GPS konum bilgisini kaydetmektedir.

Güzergâh üzerinde veri kaydı yapılan her bir istasyon noktasında sensörün ve GPS alıcısının fiks olabilmesi adına araç ile noktaya varıldığında belli bir süre (min. 5 dk) beklendikten sonra ölçüme başlanmaktadır. Ölçüm işlemi 1 dk boyunca sürdürülmekte olup 2 sn aralıklı ölçüm yapılamakta ve tüm veri seti kaydedilmektedir. Kaydedilen veri setinin ortalaması alınarak her bir istasyon noktasında ilgili zaman aralığına ilişkin ortalama sıcaklık ve nispi nem hesaplanmaktadır. Çalışmada mobil transekt geçiş yönteminde başlangıç ve bitiş zamanlarından kaynaklanabilen sıcaklık değişiminin meydana getirebileceği hatayı minimize edebilmek adına her bir transekt güzergâh için toplam ölçüm süresinin 1 saati geçmemesine dikkat edilmiştir. Bununla birlikte arazi çalışmaları atmosferik KIA etkisinin maksimum seviyeye ulaştığı gece saatlerinde gerçekleştirilmiştir.

Son aşamada ise her bir kentsel çalışma bölgesinde ilgili periyot için arazi çalışmaları sonrasında elde edilen veri setleri değerlendirilmiş ve atmosferik KIA etkisinin belirlenmiştir. Bu amaçla her bir güzergâh için kırsal ve kentsel istasyon noktalarında 2sn zaman aralığıyla kaydedilmiş 30 ölçüm değerinin ortalaması hesaplanarak yakın yüzey sıcaklığı ve nispi nem değeri belirlenmiştir. Ardından, tüm kırsal noktalara ilişkin hesaplanmış olan yakın yüzey sıcaklıklarının ortalaması hesaplanarak kırsal referans yakın yüzey sıcaklık değeri elde edilmiştir. Bu işlem sonrasında her bir güzergâh için tüm istasyonlara ait sıcaklık değerlerinden kırsal referans yakın yüzey sıcaklık değeri çıkarılarak tüm istasyon noktalarına ilişkin atmosferik KIA yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak tüm kentsel çalışma bölgelerinde her bir güzergâh için atmosferik KIA etkisi ortaya koyulmuştur.

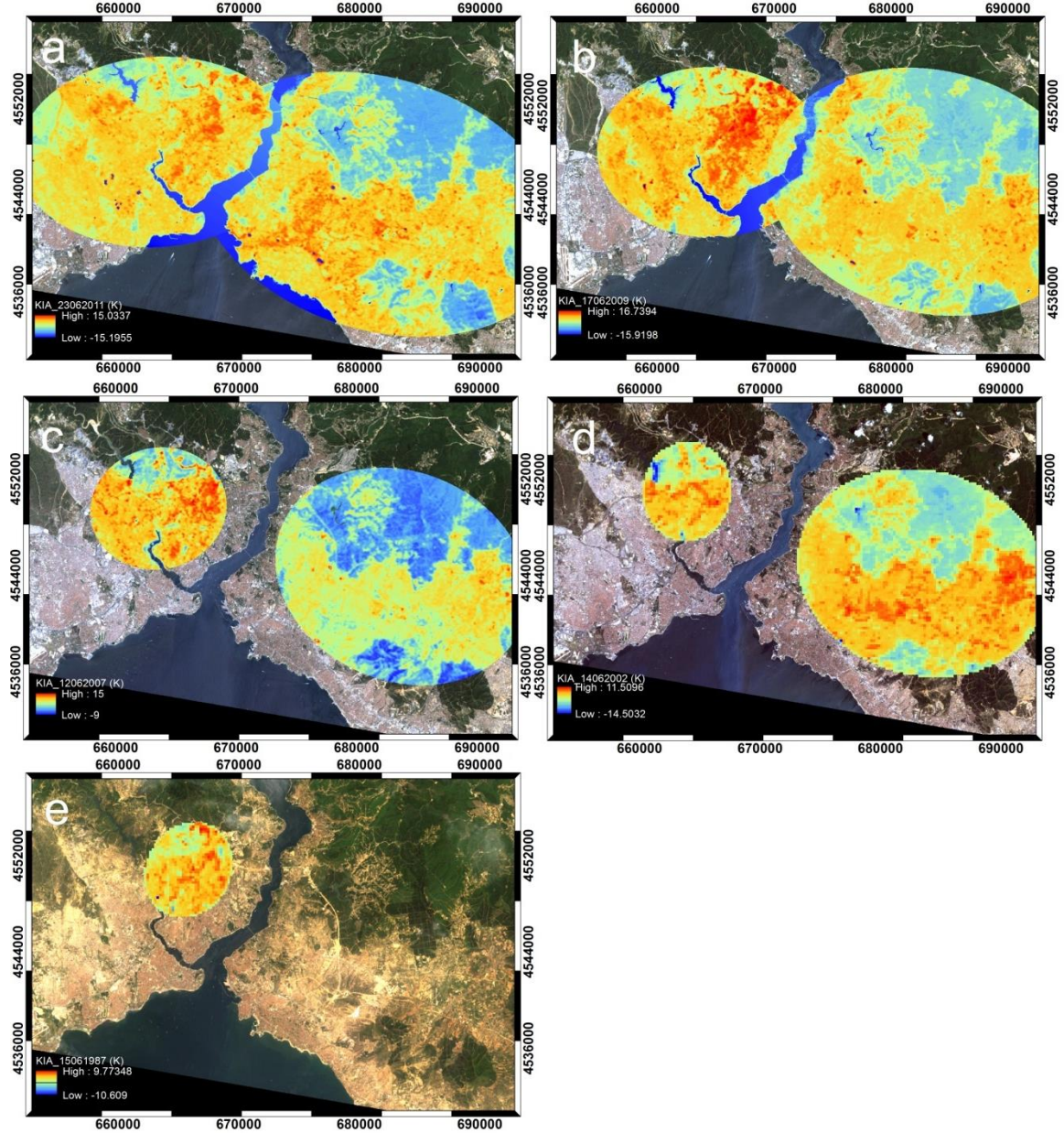
3. BULGULAR VE İRDELEME

Çalışmanın amaçları doğrultusunda üç aşamalı bir metodoloji takip edilmiştir. İlk aşamada kentsel çalışma bölgelerinde, seçilen tüm periyotlar için yüzey KIA etkisinin varlığı araştırılmıştır. İkinci aşamada ise her bir kentsel çalışma bölgesinde seçilen periyotta yüzey KIA etkisinin modellenmesine yönelik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında ise tüm kentsel çalışma bölgelerinde atmosferik KIA etkisi araştırılmıştır. Buradan hareketle 3 temel başlık altında çalışmada elde edilen bulgular ifade edilecek ve irdelenecektir.

3.1. Yüzey KIA Etkisinin Tespiti ve Karakterizasyonu Sürecinde Elde Edilen Bulgular

Çalışmada seçilen her bir kentsel çalışma bölgesinde; yüzey KIA etkisinin tespiti, karakterizasyonu ve zamansal değişim sürecinin irdelenebilmesine yönelik olarak Bölüm 2.5’de önerilen yaklaşım tüm kentsel bölgelerde tüm periyotlar için uygulanmış ve yüzey KIA varlığı denetlenmiştir. Ayrıca ASTER gece verilerinin mevcut olduğu kentsel çalışma bölgelerinde önerilen yaklaşım yardımıyla gece dönemi yüzey KIA varlığı araştırılmıştır. Bu aşamalarda yapılan yüzey KIA analizleri sonucu elde edilen bulgular aşağıda her bir kentsel çalışma bölgesi için ifade edilmiştir.

İstanbul kentsel çalışma bölgesinin boğaz geçişinden kaynaklanan kendine has coğrafi karakteristiği ve yoğunluğu sebebi ile bölge, İstanbul 1-Asya ve 2-Avrupa olmak üzere iki alt bölgeye ayrılarak yüzey KIA analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda yüzey KIA etkisinin tespit edildiği periyotlarda etki altındaki bölgede her bir grid değeri için yüzey KIA yoğunluk değerleri hesaplanarak tematik yüzey KIA yoğunluk ve dağılım haritaları üretilmiştir (Şekil 36).



Şekil 36. İstanbul kenti için; (a) 23.06.2011, (b) 17.06.2009, (c) 12.06.2007, (d) 14.06.2002 ve (e) 15.06.1987 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları

Şekil 36 incelendiğinde özellikle son yıllarda İstanbul kentsel çalışma bölgesinin önemli bir bölümünün yüzey KIA etkisi altında kaldığı ve yüzey KIA etkisinin yayılımının konumsal olarak çeperlere doğru genişleme gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca yüzey KIA yoğunluklarının 2009 (Şekil 36a ve b) ve 2011 periyotları gibi nispeten yakın dönemlere doğru gidildikçe artış eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, İstanbul kenti için hesaplanan yüzey KIA yoğunlukları incelendiğinde, İstanbul 2-Avrupa alt bölgesinde İstanbul 1-Asya bölgesine oranla daha yüksek değerlere sahip olduğu Şekil 36'dan

gözlemlenebilmektedir. Bununla birlikte yüzey KIA varlığının tespit edildiği periyotlara ilişkin elde edilen yüzey KIA parametreleri; İstanbul 1-Asya kentsel çalışma bölgesi için Tablo 7’de, İstanbul 2-Avrupa kentsel çalışma bölgesi için ise Tablo 8’de ortaya koyulmuştur.

Tablo 7. İstanbul 1-Asya alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri

Bölge	İSTANBUL 1 ASYA (GÜNDÜZ)					
Periyot	12.06.1984	05.06.1987	14.06.2002	12.06.2007	17.06.2009	23.06.2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	---	---	3.70	3.77	4.77	5.37
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	---	---	683480, 4544267	683771, 4543914	683421, 4544600	681630, 4543000
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	---	---	15.8499	23.2059	13.51	17.2469
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	---	---	21170, 16900	21942, 17591	28615, 20899	30991, 21298
R^2	---	---	0.64	0.65	0.55	0.53

Tablo 8. İstanbul 2-Avrupa alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri

Bölge	İSTANBUL 2 AVRUPA (GÜNDÜZ)					
Periyot	12.06.1984	05.06.1987	14.06.2002	12.06.2007	17.06.2009	23.06.2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	---	2.88	2.90	3.12	4.18	4.96
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	---	665850, 4550808	663938, 4551019	663563, 4549553	664588, 4548025	663132, 4547598
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	---	29.9344	6.4650	76.59	2.7948	15.8499
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	---	7052, 8148	7303, 8231	11584, 10323	19748, 14764	23676, 16094
R^2	---	0.64	0.65	0.63	0.59	0.57

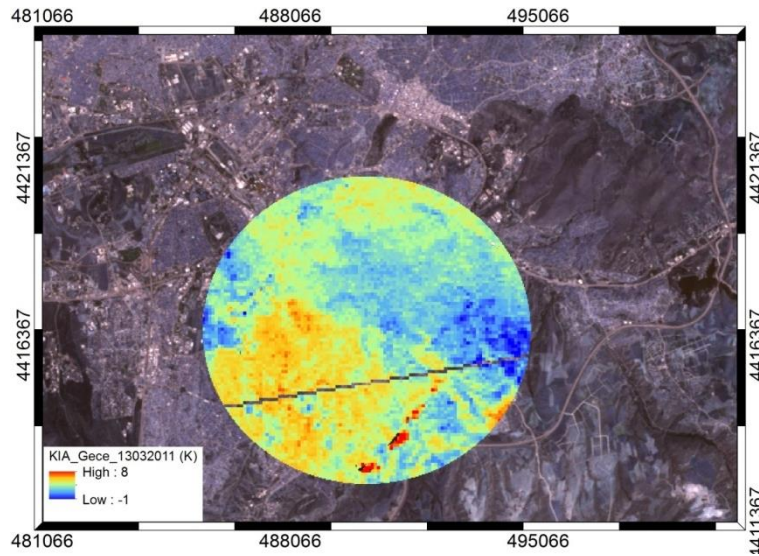
Tablo 7 ve 8 incelendiğinde 1984-2011 yılları arasında yüzey KIA şiddetinde önemli oranda artış meydana geldiği görülmektedir. Bununla birlikte 1984 periyodunda her iki bölgede de yüzey KIA varlığı tespit edilemezken 1987 periyodunda sadece İstanbul 2-Avrupa bölgesinde yüzey KIA varlığı tespit edilmiştir (Tablo 8). Bunlar dışında geriye kalan tüm periyotlarda yüzey KIA varlığı tespit edilmiş olup, konumsal ve istatistiksel

parametreleri ortaya koyulmuştur (Tablo 7 ve 8). Tablo 7 ve 8’de yüzey KIA etkisi tespit edilen periyotlar incelendiğinde; genel olarak İstanbul 1-Asya bölgesinde yüzey KIA şiddetinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Benzer biçimde konumsal kapsam parametresi incelendiğinde yine Asya bölgesinde etki altında kalan alanın tüm periyotlarda daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

İstanbul kentsel çalışma bölgesinde gece yüzey KIA etkisini araştırabilmek amacıyla; 20.04.2005, 04.04.2005, 01.10.2004 ve 18.10.2001 periyotlarına ilişkin ASTER kaynaklı AYS verilerinden faydalanılmıştır. Bu aşamada önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizler sonucunda İstanbul kentinde 1-Asya ve 2-Avrupa alt bölgelerinde söz konusu periyotlarda gece yüzey KIA etkisi tespit edilememiştir.

Ankara kentsel çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım kullanılarak gündüz dönemine ilişkin belirlenen tüm periyotlarda yüzey KIA etkisinin varlığı araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda Ankara kentine ilişkin hiçbir gündüz periyodunda 1 K eşiğini aşan yüzey KIA etkisi tespit edilememiştir.

Bununla birlikte ASTER kaynaklı gece AYS verileri kullanılarak yapılan analizlerde 13.03.2011 periyoduna ilişkin gece dönemi yüzey KIA etkisinin varlığı tespit edilmiştir. Söz konusu periyot için yapılan hesaplamalar sonucunda etki altındaki bölgede her bir grid için yüzey KIA yoğunluk değerleri hesaplanarak tematik yüzey KIA yoğunluk ve dağılım haritası üretilmiştir (Şekil 37).



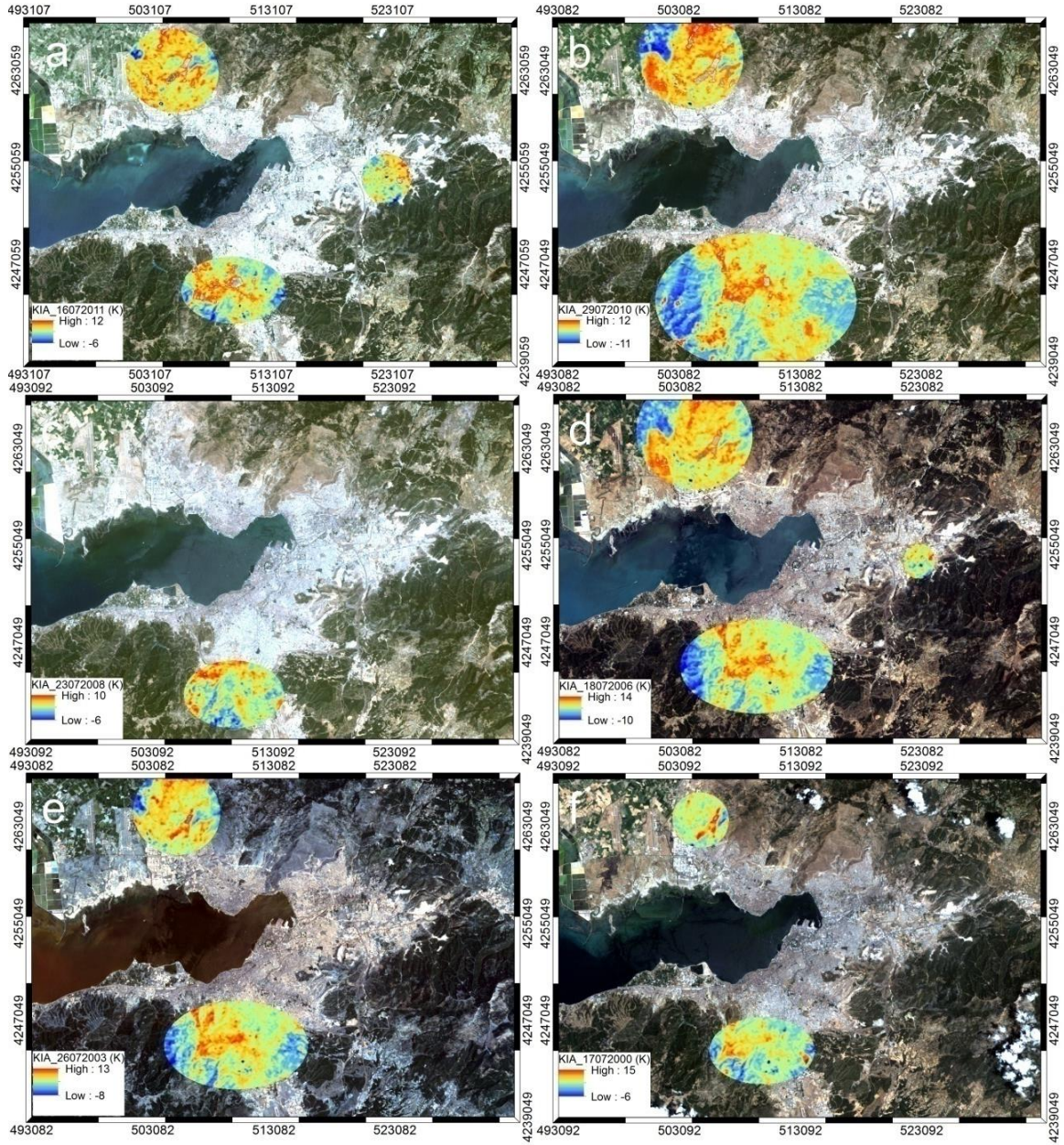
Şekil 37. Ankara kenti için; 13.03.2011 periyoduna ilişkin üretilen gece dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritası

Şekil 37 incelendiğinde Ankara kentsel çalışma bölgesinin güneyinde gece yüzey KIA etkisinin olduğu gözlemlenebilmektedir. Söz konusu yüzey KIA etkisinin karakterizasyonuna yönelik yapılan analizlerde gauss yüzey modeli ile $R^2 = 0.64$ düzeyinde fit performansı sağlanmış ve elde edilen KIA parametreleri Tablo 9’da ortaya koyulmuştur. Tablo 9’dan Ankara kentsel çalışma bölgesinde gece dönemi yüzey KIA etkisinin konumsal yayılımının çok fazla olmamakla birlikte şiddetinin önemli bir düzeyde olduğu anlaşılabilmektedir.

Tablo 9. Ankara kentsel çalışma bölgesine ilişkin gece yüzey KIA parametreleri

Bölge	ANKARA (GECE)
Periyot	13.03.2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	3.09
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	678370, 4451369
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	89.81
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	4220, 2437
R^2	0.64

İzmir körfezinin etrafında konumlanmış olan İzmir kentsel bölgesinin coğrafi karakteristiği ve kendine has yerleşim tarzı sebebiyle bölge İstanbul kenti ile benzer biçimde; İzmir 1 Güney, İzmir 2 Kuzey ve İzmir 3 Doğu olmak üzere üç alt bölgeye ayrılarak yüzey KIA analizleri gerçekleştirilmiştir. Söz konusu alt çalışma bölgelerinde önerilen yüzey KIA tespit ve karakterizasyon yaklaşımı kullanılarak yapılan analizler sonucunda gündüz döneminde yüzey KIA etkisinin tespit edildiği periyotlara ilişkin yüzey KIA yoğunluk haritaları üretilmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. İzmir kenti için; (a) 16.07.2011, (b) 29.07.2010, (c) 23.07.2008, (d) 18.07.2006, (e) 26.07.2003 ve (f) 17.07.2000 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları

KIA oluşum süreci, doğal ve insan kaynaklı birçok faktör tarafından belirlenen dinamik karakteri sebebiyle belirli bir kentsel bölgede aynı zaman dilimlerinde sürekli gözlemlenemeyebilmektedir. Benzer sebeplerden dolayı İzmir kentine ilişkin alt çalışma bölgelerinde geçmişten günümüze gelirken bazı ara periyotlarda gündüz döneminde yüzey KIA etkisi gözlemlenememiştir (Şekil 38b, c, e ve f). İzmir 1 Güney alt çalışma bölgesi için hesaplanan yüzey KIA yoğunlukları irdelendiğinde 2000-2010 tarihleri arasındaki tüm

periyotlarda yüzey KIA etkisinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Söz konusu periyotlarda yüzey KIA konumsal yayılımında farklılıklar olabilmekle birlikte, yüzey KIA yoğunluklarının artış eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, İzmir 1 Güney kentsel alt çalışma bölgesi için 2000-2011 zaman aralığında yüzey KIA konumsal yayılımının 29.07.2010 periyodunda maksimum düzeye ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 38b). Benzer biçimde İzmir 2 Kuzey alt çalışma bölgesi için 2000-2011 tarihleri arasında 23.06.2008 dışındaki tüm periyotlarda yüzey KIA etkisi belirlenmiş olup; 18.07.2006, 29.07.2010 ve 16.07.2011 periyotlarında maksimum yoğunluk düzeyine ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 38a, b ve d). İzmir 3-Doğu alt bölgesinde ise diğer iki alt çalışma bölgesine nazaran daha düşük yoğunluklarda yüzey KIA etkisinin var olduğu ortaya koyulmuştur. Söz konusu alt çalışma bölgesinde 18.07.2006 ve 16.07.2011 periyotlarında yüzey KIA varlığı belirlenmiş olup konumsal yayılımının ve yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 38a ve d). İzmir kentine ilişkin tüm alt çalışma bölgelerinde önerilen yaklaşıma göre 1K yoğunluk eşiğini aşan yüzey KIA varlığı tespit edilememiştir (Şekil 38).

İzmir 1-Güney, 2-Kuzey ve 3-Doğu alt çalışma bölgelerinde yüzey KIA varlığının belirlendiği periyotlara ilişkin yüzey KIA parametreleri sırasıyla; Tablo 10, 11 ve 12’de ortaya koyulmuştur. Söz konusu parametrelere göre 2000-2011 arası tüm periyotlarda yüzey KIA etkisi gözlemlenen İzmir 1 Güney alt çalışma bölgesinde maksimum yüzey KIA şiddeti ve etkilenen alan büyüklüğü 29.07.2010 periyodu için hesaplanmıştır.

Tablo 10. İzmir 1-Güney alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri

Bölge	İZMİR 1-GÜNEY (GÜNDÜZ)							
Periyot	21.07.1984	30.07.1987	17.07.2000	26.07.2003	18.07.2006	23.07.2008	29.07.2010	16.07.2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	---	---	3.06	3.10	3.15	2.90	3.52	2.91
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	---	---	505068, 4264219	509965, 4244977	509421, 4244983	509848, 4242755	509447, 4244029	509952, 4244953
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	---	---	32.30	0.02	0.10	0.07	0.09	0.04
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	---	---	8694, 5467	11886, 7265	12656, 7704	8292, 5576	16619, 11189	8619, 5519
R^2	---	---	0.63	0.70	0.67	0.60	0.63	0.65

İzmir 2 Kuzey alt çalışma bölgesinde yüzey KIA etkisi tespit edilen periyotlar için hesaplanan konumsal ve istatistiksel parametreler Tablo 11’de ifade edilmiştir. Tablo 11 incelendiğinde bölgede maksimum yüzey KIA şiddetinin ve konumsal yayılımının 18.07.2006 periyodunda meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Tablo 11. İzmir 2-Kuzey alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri

Bölge	İZMİR 2-KUZEY (GÜNDÜZ)							
Periyot	21.07. 1984	30.07. 1987	17.07. 2000	26.07. 2003	18.07. 2006	23.07. 2008	29.07. 2010	16.07. 2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	---	---	2.86	3.06	3.35	---	3.22	3.10
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	---	---	504847, 4263598	505068, 4264219	504294, 4264241	---	504077, 4264191	504927, 4263055
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	---	---	21.84	32.30	26.34	---	29.51	15.42
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	---	---	4679, 4518	7287, 6998	9700, 8909	---	8772, 8169	7638, 6884
R^2	---	---	0.62	0.63	0.69	---	0.65	0.66

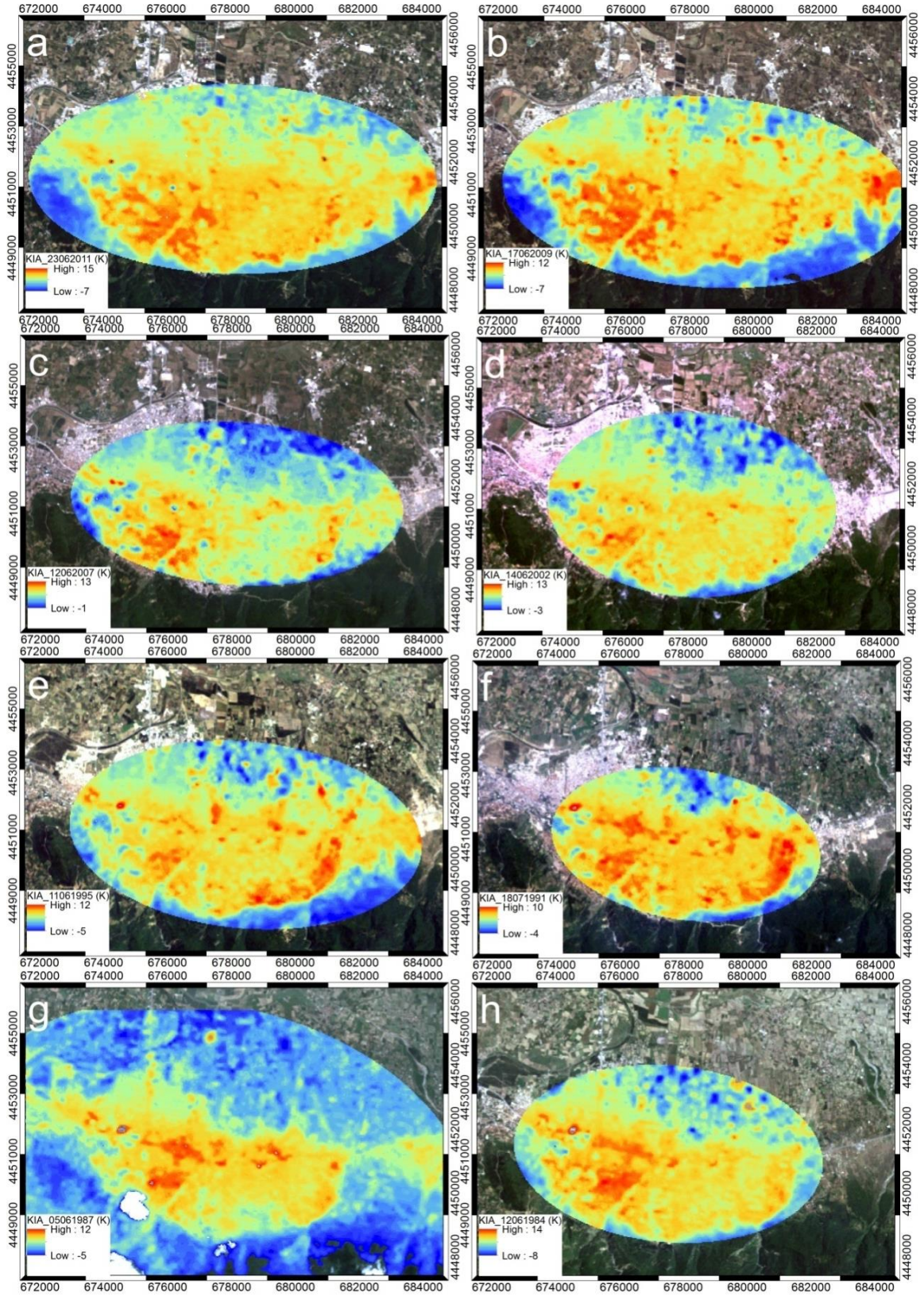
İzmir 3-Doğu alt çalışma bölgesinde yüzey KIA varlığı tespit edilen 18.07.2006 ve 16.07.2011 periyotları için hesaplanan parametreler Tablo 12’de ortaya koyulmuştur. Söz parametreler incelendiğinde; yüzey KIA konumsal kapsamının oldukça arttığı, şiddetinin ise yaklaşık olarak aynı seviyelerde kaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 12. İzmir 3-Doğu alt çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri

Bölge	İZMİR 3 DOĞU (GÜNDÜZ)							
Periyot	21.07. 1984	30.07. 1987	17.07. 2000	26.07. 2003	18.07. 2006	23.07. 2008	29.07. 2010	16.07. 2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	---	---	---	---	2.76	---	---	2.84
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	---	---	---	---	522844, 4253681	---	---	522585, 4254140
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	---	---	---	---	1.35	---	---	67.85
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	---	---	---	---	2577, 2798	---	---	4159, 4002
R^2	---	---	---	---	0.66	---	---	0.67

İzmir kentsel çalışma bölgesinde ASTER platformuna ilişkin gece döneminde kaydedilmiş veri seti mevcut olmadığından dolayı gece yüzey KIA etkisi araştırılamamıştır.

Çalışmada Bursa kentsel çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizler sonucunda gündüz döneminde yüzey KIA etkisi altındaki periyotlar belirlenmiş ve yoğunluk haritaları üretilmiştir (Şekil 39). Haritalar incelendiğinde tüm periyotlarda yüzey KIA etkisinin mevcut olduğu anlaşılmaktadır. 1984'den 2011'e zamansal periyotlar incelendiğinde genel olarak yüzey KIA yoğunluklarının ve konumsal yayılımının artış eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir. 23.06.2011 ve 17.06.2009 periyotlarında yüzey KIA yoğunluklarının maksimum seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 39a ve b).



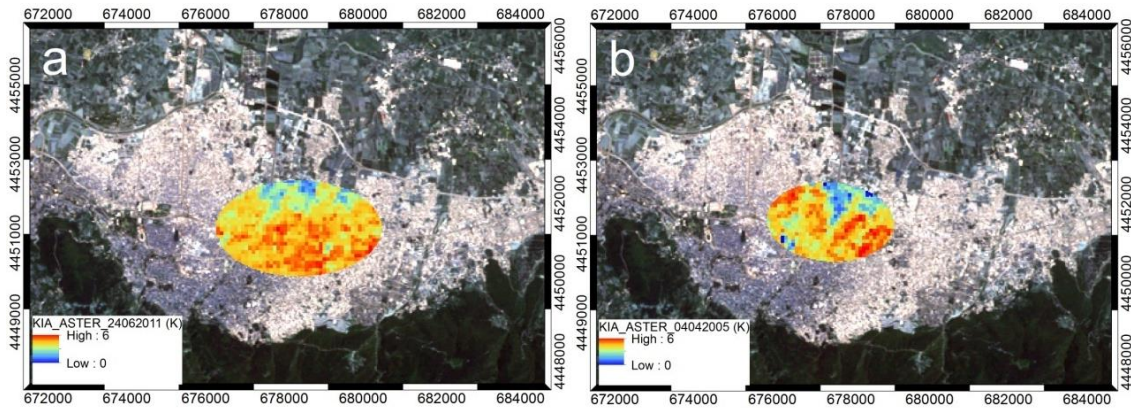
Şekil 39. Bursa kenti için; (a) 23.06.2011, (b) 17.06.2009, (c) 12.06.2007, (d) 14.06.2002, (e) 11.06.1995, (f) 18.07.1991, (g) 05.06.1987 ve (h) 12.06.1984 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları

Bursa kentsel çalışma bölgesinde analiz edilen tüm periyotlara ilişkin yüzey KIA parametreleri Tablo 13’de ortaya koyulmuştur. Bölgede yüzey KIA etkisinin karakterizasyonu sonucunda elde edilen bu konumsal ve istatistiksel parametreler incelendiğinde 1984 ile 2011 tarihleri arasında yüzey KIA şiddetinin önemli oranda arttığı tespit edilebilmektedir.

Tablo 13. Bursa kentsel çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri

Bölge	BURSA (GÜNDÜZ)							
Periyot	12.06.1984	05.06.1987	18.07.1991	11.06.1995	14.06.2002	12.06.2007	17.06.2009	23.06.2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	3.92	2.60	3.59	4.58	4.93	4.52	5.00	7.19
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	677537, 4451233	677500, 4450729	678066, 4450838	678449, 4451057	678123, 4451353	678149, 4451315	678505, 4451088	678075, 4551468
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	5.36	13.01	8.48	5.39	93.36	3.86	3.84	1.26
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	9719, 5540	15936, 9835	8486, 4759	11056, 5852	9050, 5756	10425, 5131	12842, 5947	13154, 6142
R^2	0.70	0.60	0.63	0.69	0.67	0.63	0.61	0.67

Çalışmada Bursa kentsel çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım yardımıyla 24.06.2011 ve 04.04.2005 periyotlarına ilişkin gece yüzey KIA etkisi araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda her iki periyotta da gece yüzey KIA varlığı tespit edilmiş olup yüzey KIA yoğunlukları hesaplanarak haritalandırılmıştır (Şekil 40).



Şekil 40. Bursa kenti için; (a) 24.06.2011 ve (b) 04.04.2005 periyotlarına ilişkin üretilen gece dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları

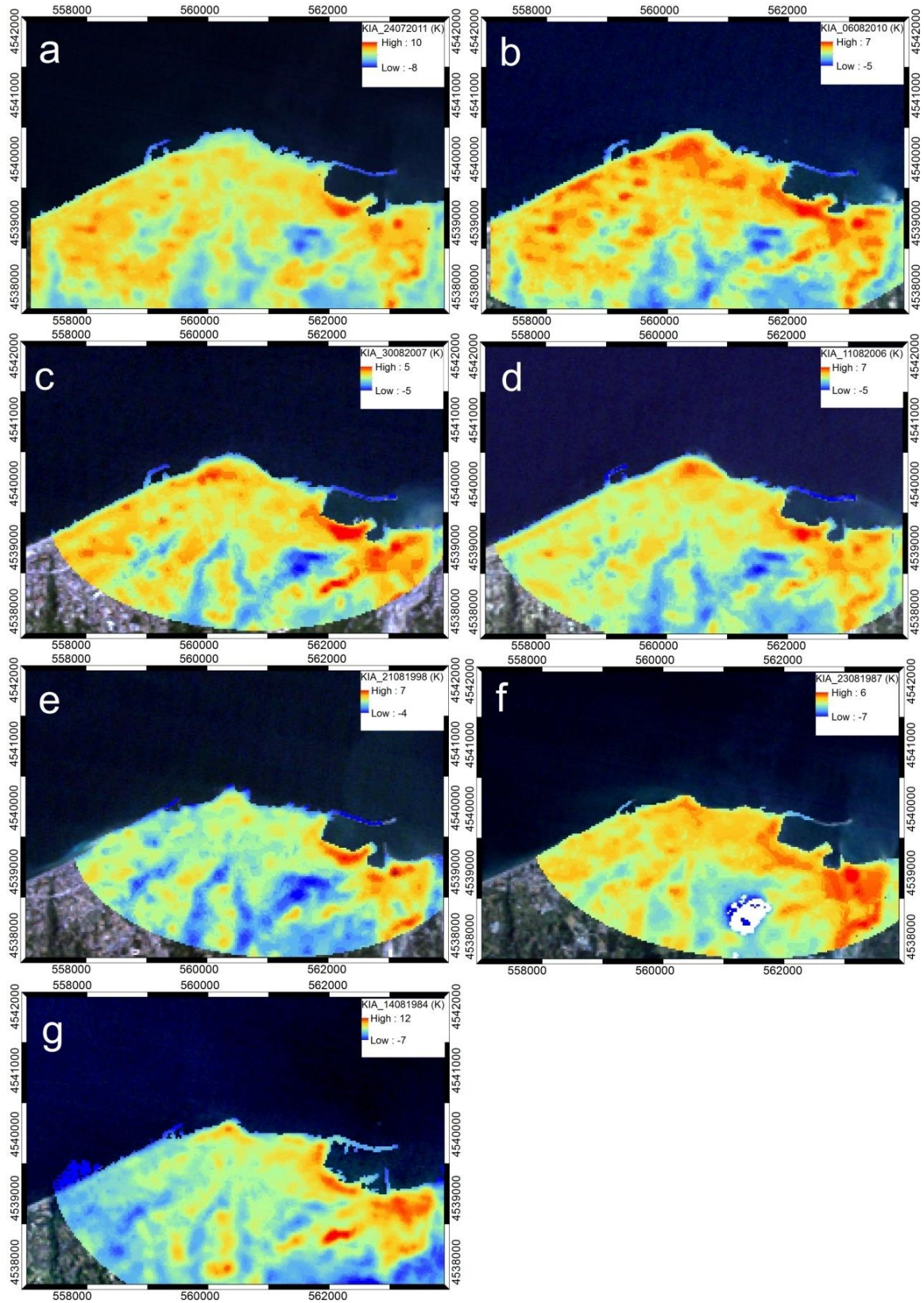
Bursa kentsel çalışma bölgesinde söz konusu periyotlara ilişkin gece yüzey KIA parametreleri Tablo 14’de ortaya koyulmuştur. Parametreler incelendiğinde, geçen zaman zarfında yüzey KIA şiddetinin ve konumsal yayılımının gündüz dönemi ile benzer şekilde artış eğiliminde olduğu tespit edilebilmektedir.

Tablo 14. Bursa kentsel çalışma bölgesine ilişkin gece yüzey KIA parametreleri

Bölge	BURSA (GECE)	
Periyot	04.04.2005	24.06.2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	2.93	3.09
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	677479, 4451556	678370, 4451369
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	93.60	89.81
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	3234, 2012	4220, 2437
R^2	0.53	0.64

Trabzon kentsel çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizler sonucunda tüm periyotlarda gündüz döneminde yüzey KIA etkisi tespit edilmiştir. Söz konusu periyotlarda etki altındaki alanlarda her bir grid için yüzey KIA yoğunluk değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin konumsal dağılımını ifade eden tematik yoğunluk haritaları üretilmiştir (Şekil 41). Haritalar incelendiğinde, Trabzon kentinin yoğun yeşil ve kıyısız alanlar arasında kalan konumuna rağmen 14.08.1984 periyodundan 24.07.2011 periyoduna değin tedrici olarak yüzey KIA yoğunluğu ve konumsal kapsamında artış meydana geldiği gözlemlenebilmektedir. Ayrıca bu süreçte geçmişte daha düşük yüzey KIA yoğunluk değerlerine sahip olan kentin batı bölgelerinde geçen zaman zarfında doğu bölgelerinde önemli oranda artış meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Trabzon kentsel çalışma bölgesinde gece yüzey KIA etkisini araştırabilmek amacıyla; 26.09.2005 ve 15.05.2012 periyotlarına ilişkin ASTER kaynaklı AYS verilerinden faydalanılmıştır. Önerilen yaklaşım yardımıyla yapılan analizler sonucunda söz konusu periyotlarda gece yüzey KIA etkisi tespit edilememiştir.



Şekil 41. Trabzon kenti için; (a) 24.07.2011, (b) 06.08.2010, (c) 30.08.2007, (d) 11.08.2006, (e) 21.08.1998, (f) 23.08.1987 ve (g) 14.08.1984 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları

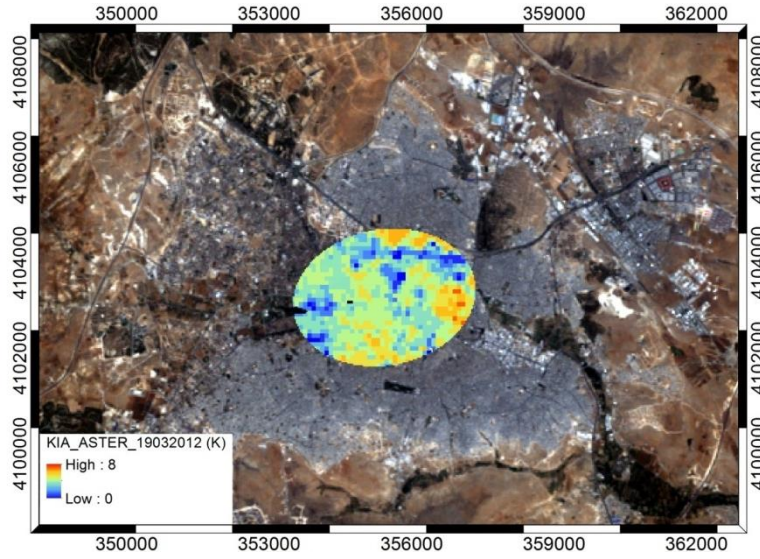
Trabzon kentsel çalışma bölgesinde analiz edilen periyotlara ilişkin yüzey KIA parametreleri Tablo 15’de ortaya koyulmuştur. Söz konusu konumsal ve istatistiksel parametreler incelendiğinde 1984 ile 2011 tarihleri arasında yüzey KIA konumsal kapsamının önemli oranda arttığı tespit edilebilmektedir.

Tablo 15. Trabzon kentsel çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri

Bölge	TRABZON (GÜNDÜZ)						
Periyot	14.08. 1984	23.08. 1987	21.08. 1998	11.08. 2006	30.08. 2007	06.08. 2010	24.07. 2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	2.07	1.55	1.53	1.74	1.56	2.13	2.32
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	561692, 4538884	561200, 4539378	561109, 4539339	560906, 4539304	560799, 4539411	560410, 4539215	560419, 4538959
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	189.44	5.79	2.72	1.97	1.63	0.03	0.07
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	6771, 4154	6376, 3400	6263, 3220	7087, 3501	6302, 3209	7353, 4175	10126, 4279
R^2	0.68	0.32	0.11	0.36	0.24	0.58	0.58

Gaziantep kentsel çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım kullanılarak gündüz dönemine ilişkin tüm periyotlarda yüzey KIA etkisinin varlığı araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda hiçbir periyotta 1K yoğunluk eşiğini aşan yüzey KIA etkisi tespit edilememiştir.

Bununla birlikte Gaziantep kentsel çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım yardımıyla 19.03.2012 ve 29.08.2013 periyotlarında gece dönemi yüzey KIA etkisi araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda 19.03.2012 periyodunda gece yüzey KIA varlığı tespit edilmiş olup yüzey KIA yoğunlukları hesaplanarak haritalandırılmıştır (Şekil 42).



Şekil 42. Gaziantep kenti için; 19.03.2012 periyoduna ilişkin üretilen gece dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritası

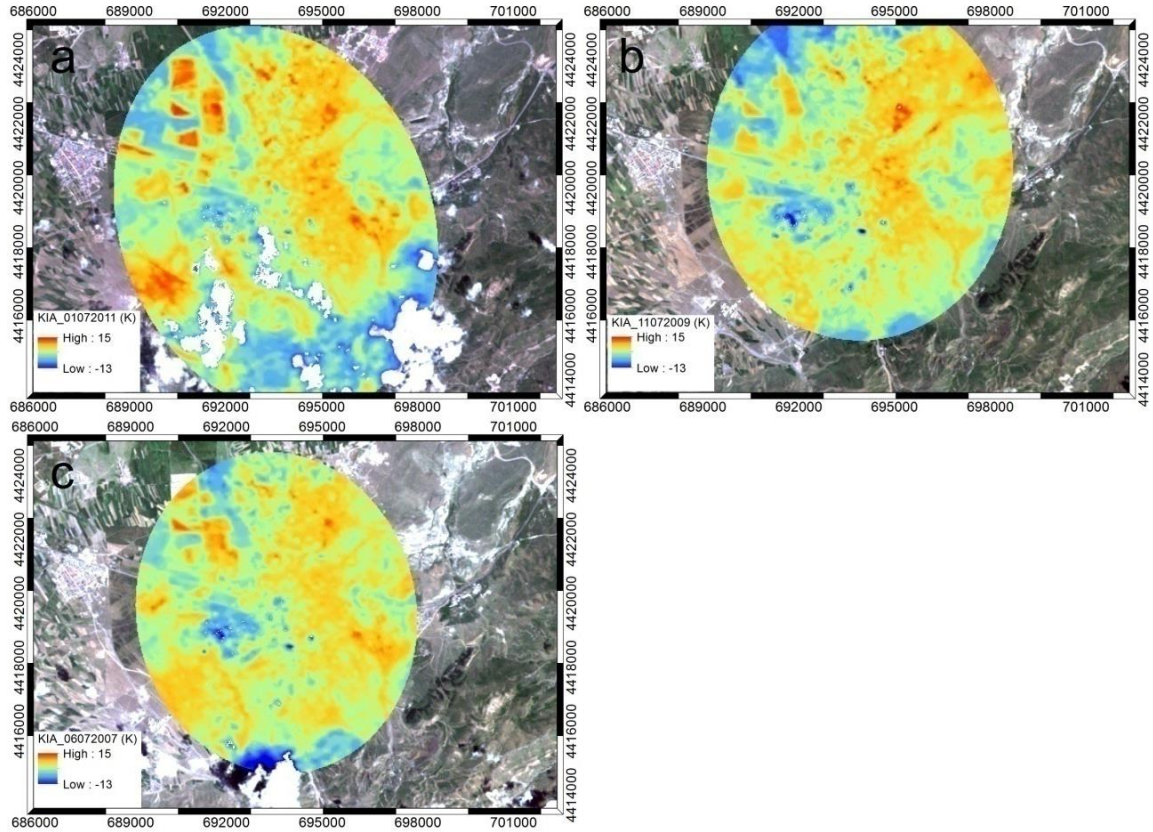
Şekil 42 incelendiğinde Gaziantep kentine ilişkin gece yüzey KIA etkisinin konumsal olarak kentin merkezine yakın bir bölgede meydana geldiği gözlemlenebilmektedir. Söz konusu yüzey KIA etkisinin karakterizasyonuna yönelik yapılan analizlerde gauss yüzey modeli ile $R^2=0.61$ düzeyinde fit performansı sağlanmış ve elde edilen yüzey KIA parametreleri Tablo 16’da ortaya koyulmuştur.

Tablo 16. Gaziantep kentsel çalışma bölgesine ilişkin gece yüzey KIA parametreleri

Bölge	GAZİANTEP (GECE)
Periyot	19.03.2012
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	2.96
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	355425, 4103273
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	79.83
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_x, a_y) m	3836, 2831
R^2	0.61

Erzurum kentsel çalışma bölgesinde seçilen 7 periyotta gerçekleştirilen analizler sonucunda; 06.07.2007, 11.07.2009 ve 01.07.2011 periyotlarında gündüz dönemi yüzey KIA etkisinin varlığı tespit edilmiştir. Söz konusu periyotlara ilişkin yüzey KIA yoğunluk

değerleri hesaplanarak haritalandırılmıştır (Şekil 43). Haritalar incelendiğinde 06.07.2007 periyodundan itibaren kentin yoğun yüzey KIA etkisi altında kaldığı gözlemlenebilmektedir. Ayrıca oluşan yüzey KIA etkisinin konumsal yayılımın, merkez konumu çok fazla değişmemekle birlikte çeperlere doğru genişleme eğilimi gösterdiği tespit edilebilmektedir.



Şekil 43. Erzurum kenti için; (a) 01.07.2011, (b) 11.07.2009 ve (c) 06.07.2007 tarihlerine ilişkin üretilen gündüz dönemi yüzey KIA yoğunluk ve konumsal dağılım haritaları

Erzurum kentsel çalışma bölgesinde analiz edilen periyotlara ilişkin yüzey KIA parametreleri Tablo 17’de ortaya koyulmuştur. Söz konusu konumsal ve istatistiksel parametreler incelendiğinde; 2007-2011 zaman zarfında yüzey KIA şiddetinin ve konumsal yayılımının artış eğiliminde olduğu anlaşılabilmektedir.

Tablo 17. Erzurum kentsel çalışma bölgesine ilişkin yüzey KIA parametreleri

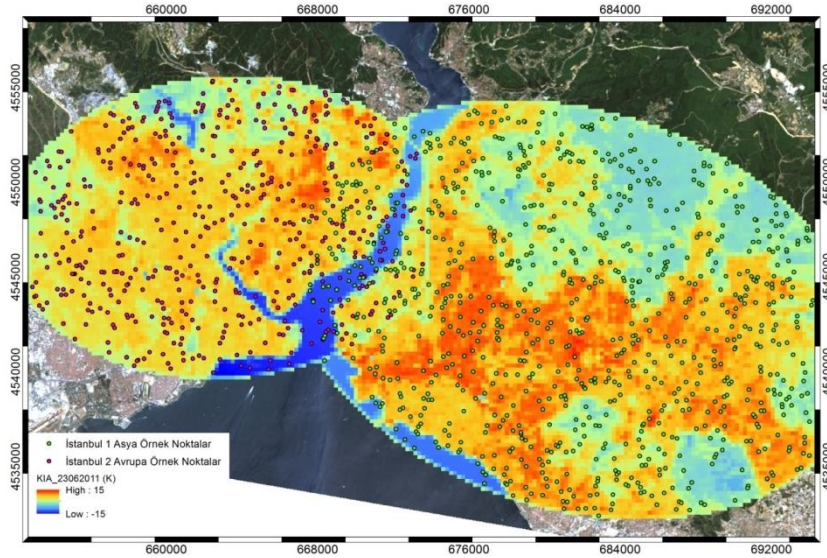
Bölge	ERZURUM (GÜNDÜZ)						
Periyot	06.07. 1984	15.07. 1987	27.06. 1998	11.07. 2003	06.07. 2007	11.07. 2009	01.07. 2011
Yüzey KIA Şiddeti (a_0) K	---	---	---	---	3.28	3.35	3.61
Yüzey KIA Merkez Konumu (x_0, y_0) m	---	---	---	---	693568, 4419694	693917, 4420637	693574, 4418962
Yüzey KIA Yönelim Açısı (Φ) °	---	---	---	---	79.47	179.83	69.42
Yüzey KIA Konumsal Kapsamı (a_s, a_v) m	---	---	---	---	8710, 10103	9584, 10881	12473, 9811
R^2	---	---	---	---	0.64	0.50	0.46

Erzurum kentinde gece yüzey KIA varlığının araştırılması amacıyla 17.05.2012, 02.07.2011 ve 08.02.2011 periyotlarına ilişkin ASTER kaynaklı AYS verilerinden faydalanılmıştır. Önerilen yaklaşım yardımıyla yapılan analizler sonucunda söz konusu periyotlarda 1K yoğunluk eşiğini aşan yüzey KIA etkisi tespit edilememiştir.

3.2. Yüzey KIA Etkisinin Modellenmesi Sürecinde Elde Edilen Bulgular

Çalışmada her bir kentsel çalışma bölgesinde; yüzey KIA etkisinin başarıyla modellenebilmesi amacıyla Bölüm 2.7’de detayı olarak ifade edilmiş olan iki aşamalı bir istatistiksel analiz stratejisinden faydalanılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde her bir kentsel çalışma bölgesi için yüzey KIA etkisini başarıyla açıklayabilen parametreler tespit edilmiş ve sadece anlamlı parametre kombinasyonları kullanılarak OLS çoklu regresyon modelleri oluşturulmuştur. Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesi amacıyla yapılan istatistiksel analiz aşamalarında elde edilen bulgular aşağıda her bir kentsel çalışma bölgesi için detaylı olarak irdelenmiştir:

İstanbul kentsel çalışma bölgesinde istatistiksel analiz aşamasında kullanılmak üzere oluşturulmuş örnek noktaların konumsal dağılımı Şekil 44’de görülebilmektedir. İstanbul kentsel çalışma bölgesinde gerçekleştirile çoklu regresyon analizleri, KIA karakterizasyon aşaması ile benzer biçimde İstanbul 1-Asya ve 2-Avrupa olmak üzere iki ayrı alt çalışma bölgesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 44. İstanbul kenti 1-Asya ve 2-Avrupa alt çalışma bölgelerine ilişkin örnek nokta konumları

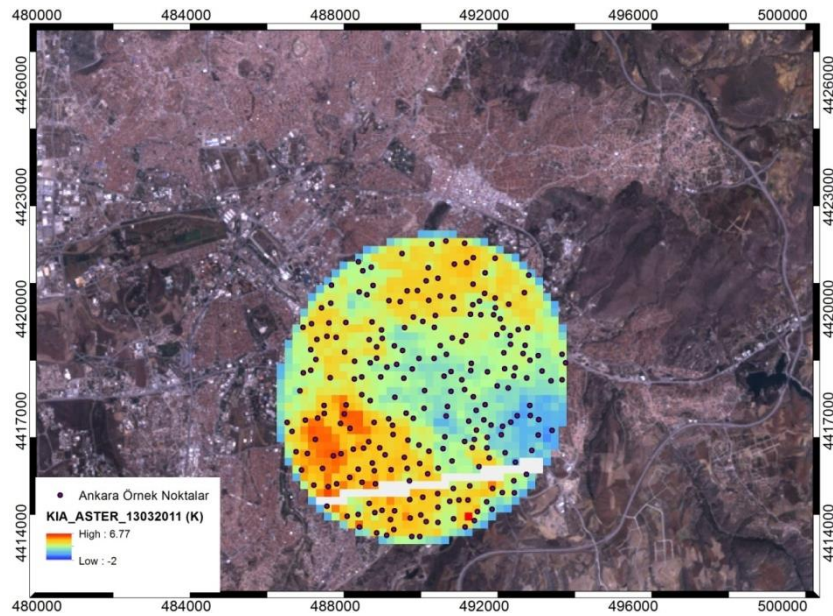
İstanbul 1-Asya alt çalışma bölgesi için yapılan çoklu regresyon analizlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($R^2=0.92$, $F=1973.03$ ve $p<0.05$). Yapılan analizler sonucunda elde edilen istatistiksel veriler $p<0.05$ düzeyinde hesaplanan çoklu regresyon modelinin, bazı bağımsız değişkenlere daha çok bağımlı olduğunu ve her bir bağımsız değişkenin yüzey KIA etkisini ortaya koymada aynı etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Dolayısıyla bu bölge için elde edilen regresyon modelini en çok etkileyen ilk üç değişkenin; KGY, ÇTTA ve BÖ olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle, kurulan çok değişkenli regresyon modelindeki bağımsız değişkenler istatistiksel olarak değişimin %92’lik kısmını açıklayabilecek yeterliliktedir. Modele ilişkin temel parametreler Tablo 18’de ortaya koyulmuştur.

Tablo 18. İstanbul 1-Asya ve 2-Avrupa alt çalışma bölgeleri için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler

Kent	Örnek Nokta Sayısı	R ²	F	Bağımsız Değişken Katsayıları (p < 0.05)					
				Sabit	KGY	BÖ	ÇTTA	SYM	OBY
İstanbul 1-Asya	893	0.92	1973.03	-9.620311	0.201533	0.091347	0.181734	-0.008139	-0.018138
İstanbul 2-Avr.	513	0.89	837.90	-11.686661	0.179535	0.104267	0.143733	0.009701	-0.010914

İstanbul 2-Avrupa alt çalışma bölgesinde yüzey KIA yoğunluğu bağımlı değişkeni ile diğer bağımsız değişkenler arasında gerçekleştirilen regresyon analiz sonuçlarına göre, %95 güven aralığında anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu aşamada bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında kurulan modelin performansını ifade eden istatistiksel kriterler ($R^2=0.89$, $F=837.90$, $p<0.05$) Tablo 18’de detaylı olarak ortaya koyulmuştur. Elde edilen istatistiksel veriler $p<0.05$ düzeyinde hesaplanan çoklu regresyon modelinin, bazı bağımsız değişkenlere daha çok bağımlı olduğunu ve her bir bağımsız değişkenin yüzey KIA etkisini ortaya koymada aynı etkiye sahip olmadığını göstermiştir. Yapılan analizler sonucunda İstanbul kenti Avrupa yakasında yüzey KIA etkisinin ortaya çıkmasında sırasıyla en önemli değişkenleri KGY, ÇTTA ve BÖ olduğu tespit edilmiştir.

Ankara kentsel çalışma bölgesinde modelleme aşamasında kullanılmak üzere yüzey KIA etkisi altındaki bölgede seçilen örnek noktaların konumsal dağılımı Şekil 45’de gösterilmektedir. Ankara kentinde Bölüm 2.7’de ifade edildiği üzere gündüz döneminde yüzey KIA varlığı tespit edilememiştir. Dolayısıyla bu aşamada 13.03.2011 periyodu için elde edilmiş gece dönemi yüzey KIA yoğunlukları kullanılarak regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 45. Ankara kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları

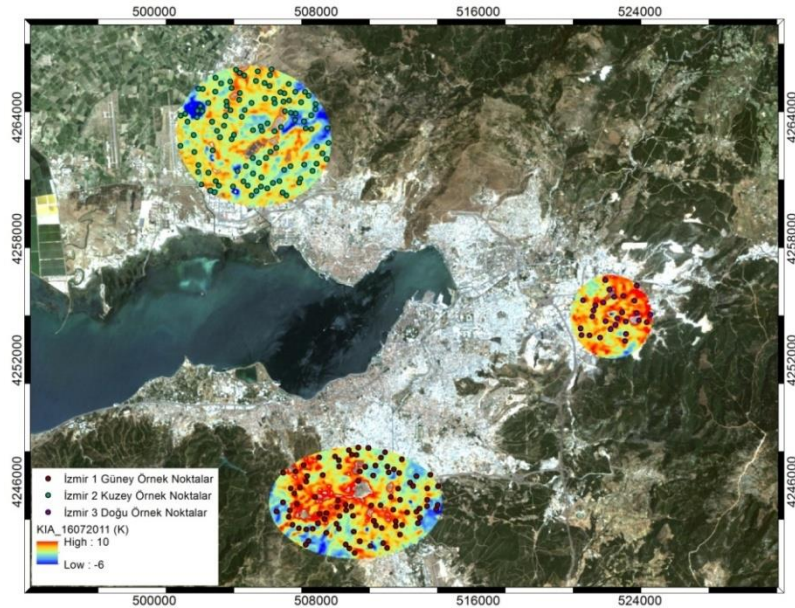
Ankara kentsel çalışma bölgesi için yüzey KIA yoğunluğu ile 8 farklı bağımsız değişkenin iteratif olarak yapılan ön istatistiksel analizler sonucunda göreceli olarak en

yüksek R^2 değeri; KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET bağımsız değişkenlerinin kombinasyonu ile elde edilmiştir. Bu bölge için gerçekleştirilen çoklu regresyon analiz sonuçları genel itibariyle yüzey KIA bağımlı değişkeninin değişimini çok düşük düzeyde açıklayabilmiştir ($R^2=0.27$, $F=17.42$ ve $p<0.05$). Bu durumun söz konusu bölgede gündüz döneminde KIA etkisinin tespit edilememiş olması ile de ilişkili olduğu düşünülmektedir. Tahmin modeline ilişkin temel parametreler Tablo 19’da ifade edilmiştir.

Tablo 19. Ankara kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler

Kent	Örnek Nokta Sayısı	R^2	F	Bağımsız Değişken Katsayıları ($p < 0.05$)					
				Sabit	KGY	BÖ	SYM	OBY	EET
Ankara	236	0.27	17.42	1.792931	0.000278	0.004801	0.000619	0.111545	-0.00071

İzmir kentsel çalışma bölgesine ilişkin yapılan yüzey KIA analizleri karakterizasyon aşaması ile benzer biçimde (Bölüm 3.1); İzmir 1-Güney, İzmir 2-Kuzey ve İzmir 3-Doğu olmak üzere 3 farklı alt çalışma bölgesi için gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bölgelerde regresyon analizlerinde kullanılmak üzere seçilen örnek noktaların dağılımı Şekil 46’de gösterilmektedir.



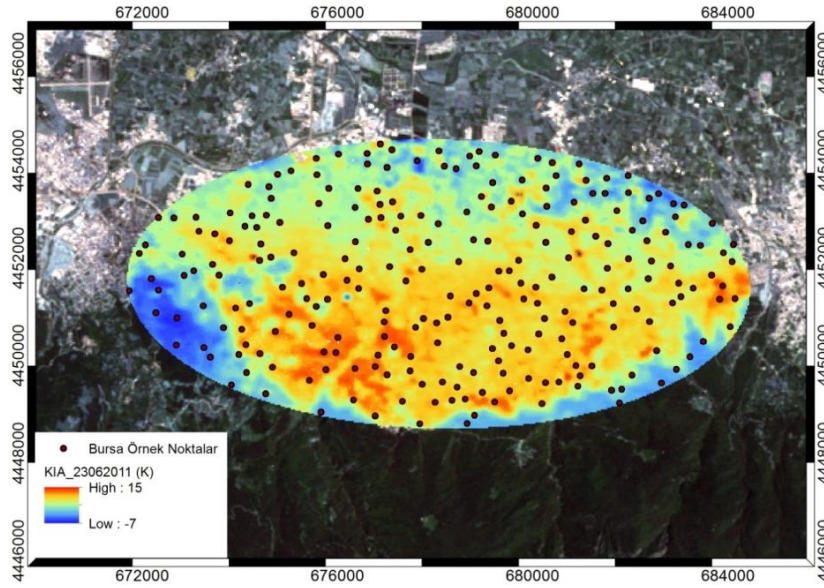
Şekil 46. İzmir kenti 1-Güney, 2-Kuzey ve 3-Doğu alt çalışma bölgelerine ilişkin örnek nokta konumları

İzmir 1-Güney alt çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çoklu regresyon analizleri sonucunda; yüzey KIA yoğunlukları ile KGY, BÖ, OBY ve EET bağımsız değişkenleri arasında negatif bir lineer ilişki tespit edilmiştir. Yüzey KIA değişimini %62 ($R^2=0.62$, $F=28.09$, $p<0.05$) oranında açıklayabilen çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler Tablo 20’de ortaya koyulmuştur. İzmir 2-Kuzey alt çalışma bölgesinde gerçekleştirilen regresyon analizleri sonucunda; KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET bağımsız değişkenler kombinasyonunun değişimi ile yüzey KIA yoğunlukları arasında anlamlı bir istatistiksel ilişki olduğuna dair sonuçlar elde edilmiştir ($R^2=0.56$, $F=27.35$ ve $p<0.05$). İzmir 3-Doğu alt çalışma bölgesinde gerçekleştirilen istatistiksel çoklu regresyon denemeleri sonucunda ise yüzey KIA yoğunlukları ile KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET bağımsız değişkenleri arasında kurulan regresyon modelinin istatistiksel olarak anlamlı olduğuna dair sonuçlar elde edilmiştir ($R^2=0.54$, $F=6.68$ ve $p<0.05$).

Tablo 20. İzmir 1-Güney, 2-Kuzey ve 3-Doğu alt çalışma bölgeleri için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler

Kent	Örnek Nokta Sayısı	R^2	F	Bağımsız Değişken Katsayıları ($p < 0.05$)					
				Sabit	KGY	BÖ	SYM	OBY	EET
İzmir 1-Güney	92	0.62	28.09	7.431444	-0.035385	-0.102233	0.007557	-0.032083	-0.000144
İzmir 2-Kuzey	111	0.56	27.35	5.094337	-0.012740	-0.088848	-0.001181	-0.059616	-0.00053
İzmir 3-Doğu	27	0.54	6.68	4.541025	-0.021858	-0.184559	0.083058	-0.001948	-0.000421

Bursa kentsel çalışma bölgesinde çoklu regresyon analizlerinde kullanılmak üzere rastgele konumsal örneklem metoduna göre seçilmiş gridlere ilişkin örnek noktaların konumsal dağılımı Şekil 47’de görülebilmektedir.



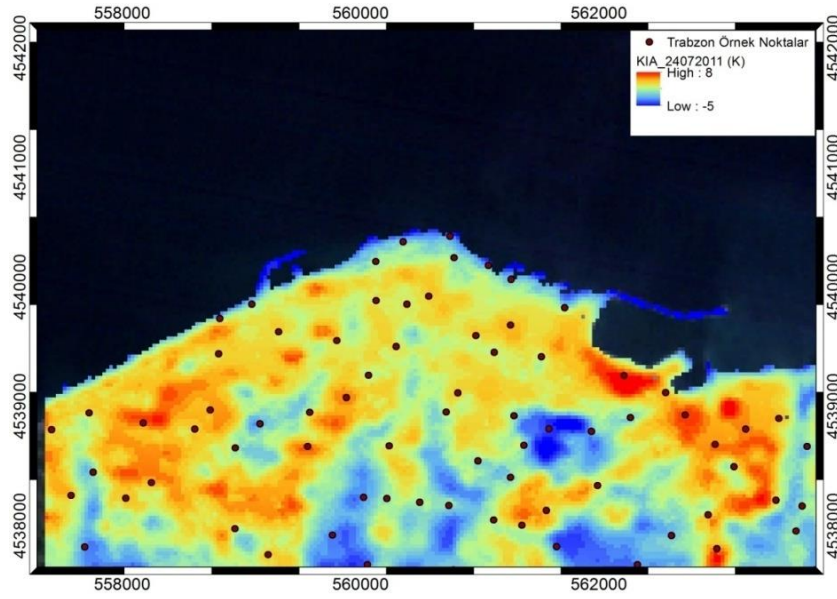
Şekil 47. Bursa kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları

Bursa kentsel çalışma bölgesinde gerçekleştirilen grid bazlı çoklu regresyon analizleri sonucunda; KGY, ÇTTA, OBY, EET ve SYM bağımsız değişkenlerinin yüzey KIA yoğunluklarında meydana gelen değişim miktarını anlamlı olarak etkilediği saptanmıştır ($R^2=0.69$, $F=153.25$ ve $p<0.05$). Bu değişken kombinasyonu ile söz konusu çalışma bölgesine yönelik kurulan regresyon modeline ilişkin istatistiksel parametreler Tablo 21’de ifade edilmiştir. Söz konusu parametreler incelendiğinde Bursa kentsel çalışma bölgesi için ortaya koyulan çoklu regresyon modelini en çok etkileyen bağımsız değişkenin ÇTTA olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 21. Bursa kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler

Kent	Örnek Nokta Sayısı	R^2	F	Bağımsız Değişken Katsayıları ($p < 0.05$)					
				Sabit	KGY	ÇTTA	SYM	OBY	EET
Bursa	350	0.69	153.25	-3.438438	0.091581	0.107238	0.006378	0.039359	0.000055

Trabzon kentsel çalışma bölgesinde yüzey KIA etkisinin modellenmesi amacıyla yapılan çoklu regresyon analizlerinde kullanılmak üzere rastgele konumsal örneklem metoduna göre seçilmiş gridlere ilişkin konumsal nokta dağılımı Şekil 48’de ifade edilmiştir.



Şekil 48. Trabzon kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları

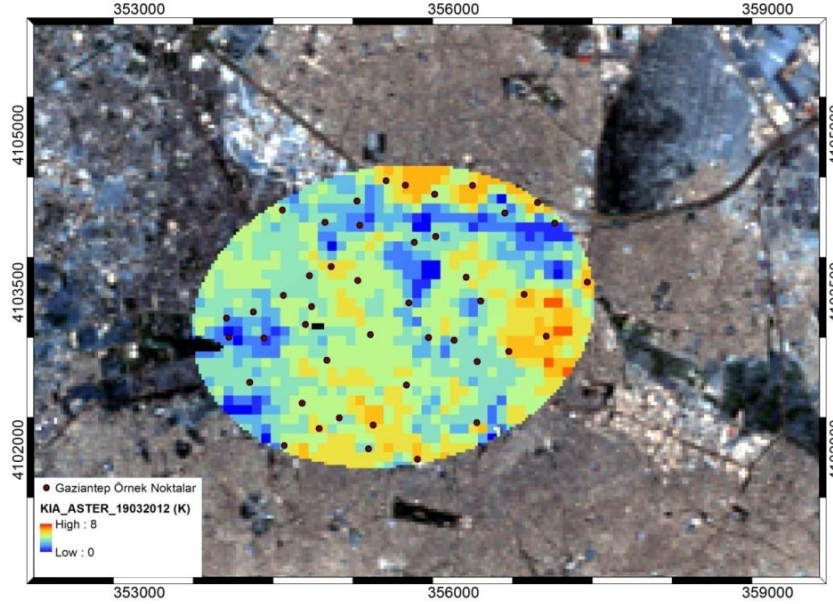
Söz konusu kentsel çalışma bölgesi için gerçekleştirilen çoklu regresyon analizleri sonucunda; KGY, SYM, OBY ve EET bağımsız değişkenleri ile yüzey KIA yoğunluğu bağımlı değişkeni arasında anlamlı istatistiksel ilişkilerin olduğu tespit edilmiştir ($R^2=0.65$, $F=37.71$, $p<0.05$). Trabzon kenti için yüzey KIA yoğunluğuna en çok etki eden bağımsız değişkenin OBY olduğu belirlenmiş ve kurulan modele ilişkin istatistiksel parametreler Tablo 22’de ifade edilmiştir.

Tablo 22. Trabzon kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler

Kent	Örnek Nokta Sayısı	R^2	F	Bağımsız Değişken Katsayıları ($p < 0.05$)						
				Sabit	KGY	BÖ	ÇTTA	SYM	OBY	EET
Trabzon	79	0.65	20.81	-1.609576	0.049666	0.000492	0.054431	-0.005293	0.109590	0.000057

Gaziantep kentsel çalışma bölgesinde yüzey KIA etkisinin modellenmesi amacıyla yapılan regresyon analizlerinde kullanılmak üzere rastgele konumsal örneklem metoduna göre seçilmiş gridlere ilişkin örnek noktaların konumsal dağılımı Şekil 49’da görülmektedir. Gaziantep kentinde Bölüm 2.7’de ifade edildiği üzere gündüz döneminde yüzey KIA varlığı tespit edilememiştir. Dolayısıyla bu aşamada 19.03.2012 periyodu için

elde edilmiş gece dönemi yüzey KIA yoğunlukları kullanılarak regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir.



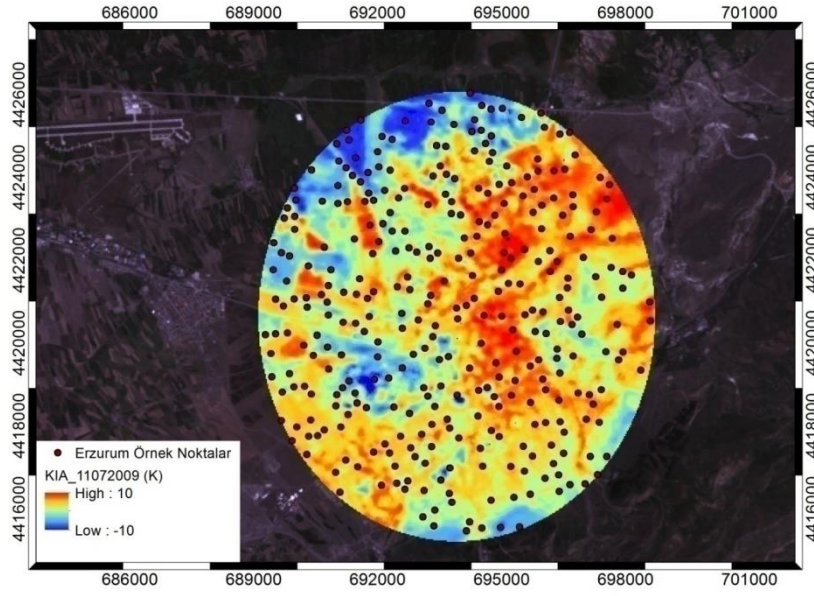
Şekil 49. Gaziantep kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları

Gaziantep kentsel çalışma bölgesi için yüzey KIA yoğunluğu ile 8 farklı bağımsız değişken arasında iteratif olarak yapılan ön istatistiksel analizler sonucunda göreceli olarak en yüksek R^2 değeri; KGY, ÇTTA, SYM, OBY ve EET bağımsız değişkenlerinin kombinasyonu ile elde edilmiştir. Bununla birlikte söz konusu değişkenler ile kurulan regresyon modeline ilişkin parametreler incelendiğinde değişkenler arasında anlamlı bir istatistiksel ilişki olmadığı tespit edilmiştir ($R^2=0.20$, $F=3.18$ ve $p<0.05$). Gaziantep kentinde bu durumun Ankara kentine benzer biçimde gündüz döneminde KIA etkisinin tespit edilememiş olması ile de ilişkili olduğu düşünülmektedir. Kurulan regresyon modeline ilişkin parametreler Tablo 23’de ifade edilmiştir.

Tablo 23. Gaziantep kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler

Kent	Örnek Nokta Sayısı	R^2	F	Bağımsız Değişken Katsayıları ($p < 0.05$)					
				Sabit	KGY	BÖ	SYM	OBY	EET
Gaziantep	44	0.20	724.47	-2.083781	-0.008794	-0.093123	0.003970	-0.094992	0.001424

Erzurum kentsel çalışma bölgesinde yüzey KIA etkisinin modellenmesi amacıyla yapılan regresyon analizlerinde kullanılmak üzere rastgele konumsal örneklem metoduna göre seçilmiş gridlere ilişkin örnek noktaların konumsal dağılımı Şekil 50’de görülebilmektedir.



Şekil 50. Erzurum kentsel çalışma bölgesine ilişkin örnek nokta konumları

Söz konusu çalışma bölgesinde gerçekleştirilen çoklu regresyon analizleri sonucunda; KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET bağımsız değişkenleri ile yüzey KIA yoğunluğu bağımlı değişkeni arasında kurulan regresyon modelinde değişkenler arasında anlamlı istatistiksel ilişkilerin olduğu tespit edilmiştir ($R^2=0.66$, $F=133.67$ ve $p<0.05$). Erzurum kentsel çalışma bölgesinde, SYM ile BÖ bağımsız değişkenlerinin yüzey KIA oluşumunda etkili olduğu belirlenmiş ve kurulan modele ilişkin istatistiksel parametreler Tablo 24’de ifade edilmiştir.

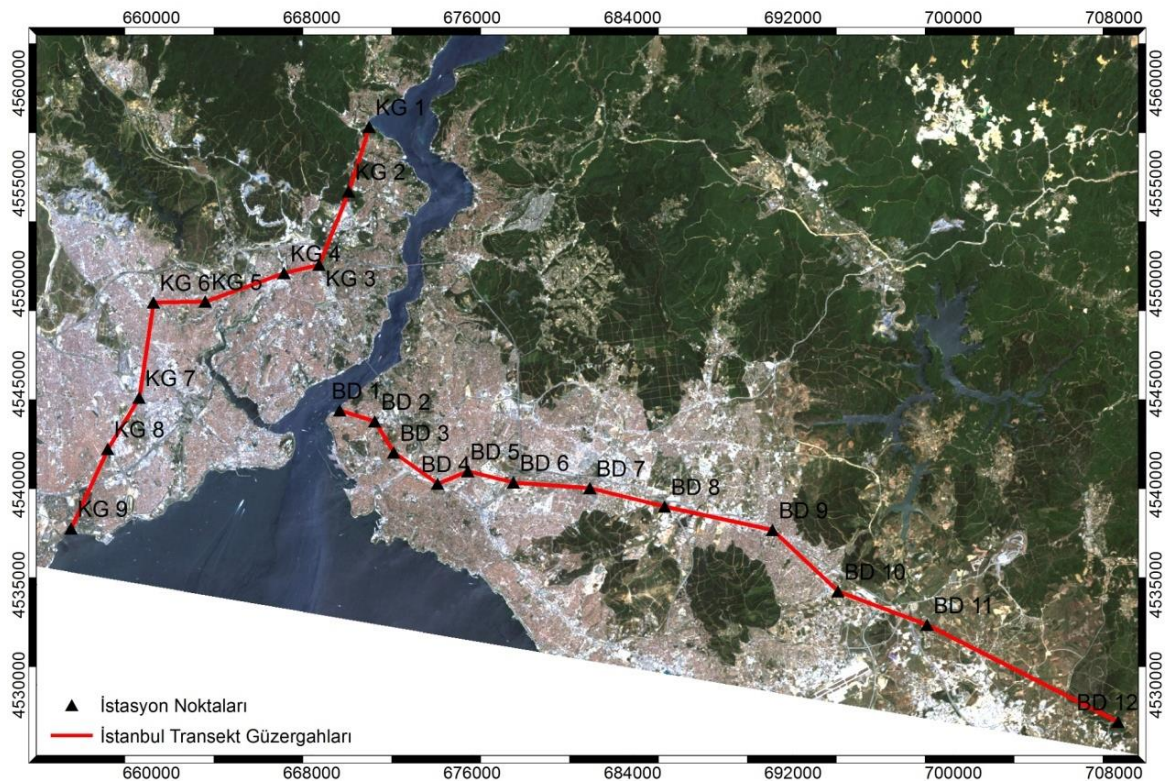
Tablo 24. Erzurum kentsel çalışma bölgesi için kurulan çoklu regresyon modeline ilişkin parametreler

Kent	Örnek Nokta Sayısı	R^2	F	Bağımsız Değişken Katsayıları ($p < 0.05$)					
				Sabit	KGY	BÖ	SYM	OBY	EET
Erzurum	336	0.66	724.47	-2.083781	-0.008794	-0.093123	0.003970	-0.094992	0.001424

3.3. Atmosferik KIA Etkisinin Tespiti Sürecinde Elde Edilen Bulgular

Çalışmada Bölüm 2.8’de ifade edilmiş olan mobil transekt geçiş metodu kullanılarak kentsel çalışma bölgelerinde atmosferik KIA etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 16.01.2014-25.01.2014 tarihleri arasında çalışma bölgelerinde arazi çalışmaları yapılmış ve elde edilen veri setleri analiz edilerek atmosferik KIA yoğunlukları hesaplanmıştır. Bu aşamada elde edilen bulgular aşağıda her bir kentsel çalışma bölgesi için ortaya koyulmuştur.

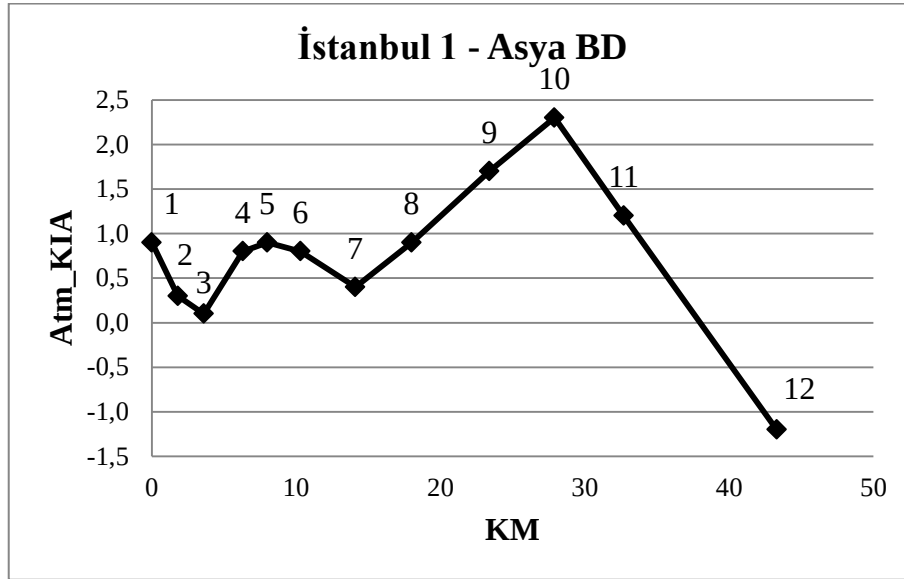
İstanbul kentine yönelik yapılan araştırmalarda; 1-Asya alt çalışma bölgesinde Batı-Doğu (BD), 2-Avrupa alt çalışma bölgesinde ise Kuzey-Güney (KG) yönünde belirlenen güzergâhlarda 19.01.2014 tarihinde gece döneminde mobil transekt geçiş tekniği uygulanmıştır. Bu amaçla Bölüm 2.8’de ifade edilen kriterlere göre KG güzergahında 9, BD güzergahında ise 12 adet istasyon noktasında veri kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 25). Söz konusu güzergâhların ve istasyon noktalarının konumlarına ilişkin oluşturulan harita Şekil 51’de görülmektedir.



Şekil 51. İstanbul kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları

Bölge		İSTANBUL								
Transekt	İst. No	Tür	Ölçüm Başl.	Ölçüm Bitiş	UTM (X)	UTM (Y)	T _y (°C)	NN (%)	KM	Atm_KIA (°C)
KG (AVRUPA)	1	Kırsal	01:55	01:56	670870	4557808	10.7	79.7	0	-1.2
	2	Kırsal	02:03	02:04	669849	4554575	13.1	67.8	3.4	1.2
	3	Kentsel	02:10	02:11	668369	4550931	14	63.4	7.3	2.1
	4	Kentsel	02:22	02:23	666628	4550521	14.3	63.6	9.11	2.4
	5	Kentsel	02:35	02:36	662691	4549106	14.2	64.9	13.3	2.3
	6	Kentsel	02:55	02:56	660101	4549049	13.9	66.8	15.9	2.0
	7	Kentsel	03:12	03:13	659387	4544313	13.5	68.6	20.7	1.6
	8	Kentsel	03:24	03:25	657830	4541749	13.3	70.4	23.7	1.4
	9	Kentsel	03:34	03:35	655998	4537792	12.5	76	28	0.6
Kırsal Referans = 11.9 °C										
BD (ASYA)	1	Kentsel	04:15	04:16	669401	4543673	12.9	74.1	0	0.9
	2	Kentsel	04:24	04:25	671143	4543127	12.3	76.3	1.8	0.3
	3	Kentsel	04:32	04:33	672091	4541576	12.1	77.9	3.6	0.1
	4	Kentsel	04:43	04:44	674278	4540023	12.8	74.6	6.3	0.8
	5	Kentsel	04:50	04:51	675783	4540645	12.9	73.6	8	0.9
	6	Kentsel	04:59	05:00	678064	4540083	12.8	73.1	10.3	0.8
	7	Kentsel	05:15	05:16	681882	4539806	12.4	75.1	14.1	0.4
	8	Kentsel	05:26	05:27	685600	4538881	12.9	71.8	18	0.9
	9	Kentsel	05:37	05:38	690986	4537723	13.7	66.6	23.4	1.7
	10	Kentsel	05:45	05:46	694248	4534660	14.3	62.7	27.9	2.3
	11	Kırsal	05:54	05:55	698692	4532989	13.2	68.7	32.7	1.2
	12	Kırsal	06:11	06:13	708216	4528160	10.8	79.5	43.3	-1.2
Kırsal Referans = 12.0 °C										

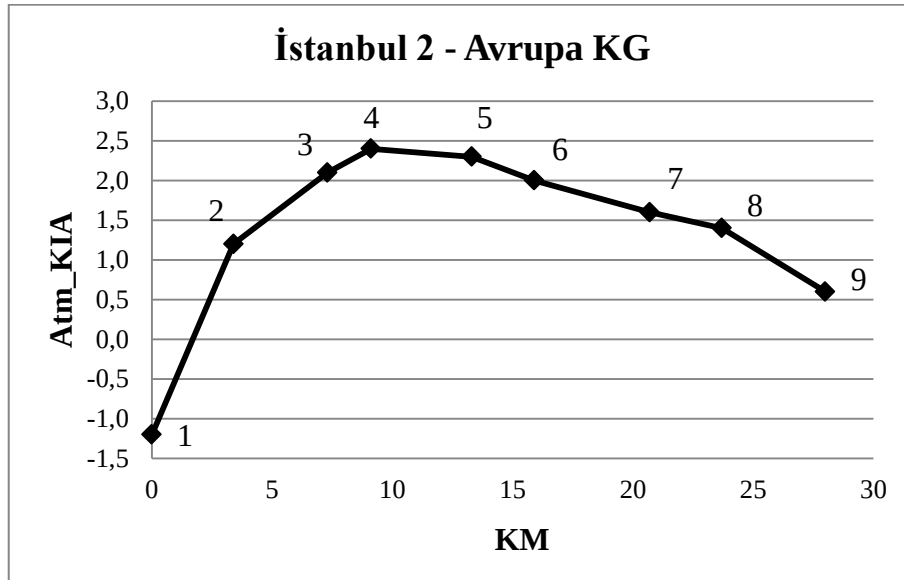
İstanbul 1-Asya BD güzergahında 11 ve 12 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş olan T_y verileri yardımıyla kırsal referans sıcaklık değeri 12.0 °C olarak hesaplanmıştır. Kırsal referans değeri yardımıyla her bir istasyon noktasında oluşan atmosferik KIA yoğunlukları elde edilmiştir. İstanbul 1-Asya BD güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometreya bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 52’de görülebilmektedir. Grafik ve Şekil 51 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tamamının pozitif atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buradan hareketle İstanbul 1-Asya çalışma bölgesinin 19.01.2014 tarihinde 04:15-06:13 saatleri arasında atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. İstasyon bazında değerlendirilecek olursa; yoğun kentsel bölge içinde kalan istasyonların daha yüksek atmosferik KIA yoğunluklarına sahip olduğu tespit edilmiş olup bazı kentsel istasyonlarda daha düşük yoğunluk değerleri belirlenmesinin ılıman boğaz kıyılarına ve rüzgâr akışına olanak sağlayan otoyollara yakın bölgelerde bulunmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 52. İstanbul 1-Asya BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

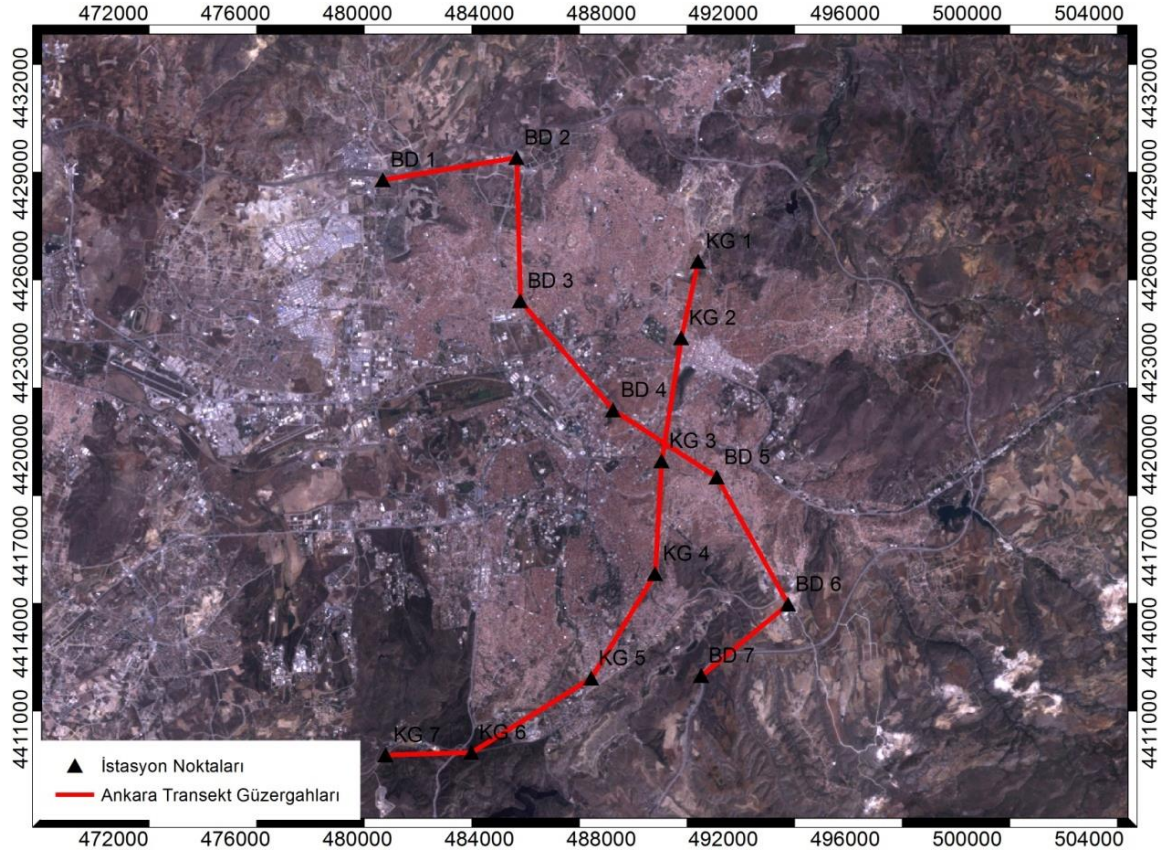
İstanbul 2-Avrupa KG güzergahında 1 ve 2 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş olan T_y verileri yardımıyla kırsal referans sıcaklık değeri 11.9 °C olarak hesaplanmıştır. Kırsal referans değeri yardımıyla her bir istasyon noktasında oluşan atmosferik KIA yoğunlukları elde edilmiştir. İstanbul 2-Avrupa KG güzergâhı boyunca istasyon

noktalarında kilometraja bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 53’de görülebilmektedir. Grafik ve Şekil 51 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tamamının pozitif atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buradan hareketle İstanbul 2-Avrupa çalışma bölgesinin 19.01.2014 tarihinde 01:55-03:34 saatleri arasında atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. İstasyon bazında değerlendirildiğinde; 1-Asya bölgesine benzer biçimde yoğun kentsel bölge içinde kalan istasyonların daha yüksek atmosferik KIA yoğunluklarına sahip olduğu tespit edilmiş olup bazı kentsel istasyonlarda daha düşük yoğunluk değerleri belirlenmesinin ılıman boğaz kıyılarına yakın bölgelerde bulunmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 53. İstanbul 2-Avrupa KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Ankara kentsel çalışma bölgesinde atmosferik KIA etkisinin araştırılması amacıyla; KG ve DB yönlerinde kırsal bölgeden başlayıp kent içinden geçtikten sonra tekrar kırsal bölgeye uzanacak şekilde tasarlanan güzergâhlarda 21-22.01.2014 tarihi gece döneminde mobil transekt geçiş tekniği uygulanmıştır. Bu amaçla Bölüm 2.8’de ifade edilen kriterlere göre KG ve BD güzergahlarında ise 7’şer adet istasyon noktasında veri kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 26). Güzergâhların ve istasyon noktalarının konumlarına ilişkin oluşturulan harita Şekil 54’de görülebilmektedir.



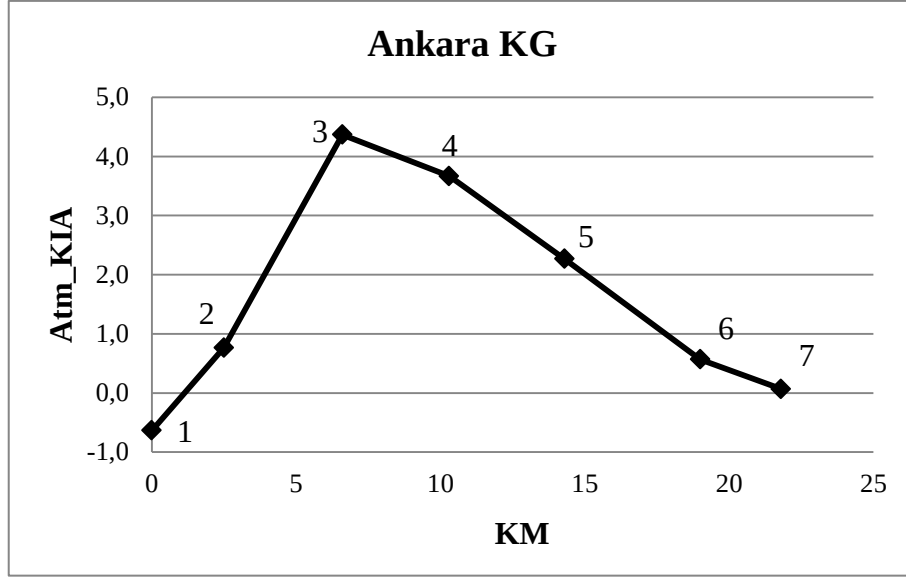
Şekil 54. Ankara kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları

Ankara kentinde mobil transekt güzergâhları kentin konumsal yayılım karakteri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Bu aşamada atmosferik KIA etkisini başarıyla ortaya koyabilmek amacıyla güzergâhlar, geniş otoyollar ve açık alanlar yerine kent yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde bulunan iç yollardan geçecek biçimde tasarlanmıştır. Güzergâhlar üzerinde istasyon noktaları ara mesafeler ~ 5 km olacak biçimde konumlandırılmıştır. Söz konusu istasyon noktalarına ilişkin arazi çalışmalarında ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA yoğunlukları Tablo 26’da ortaya koyulmuştur.

Tablo 26. Ankara KG ve DB güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri

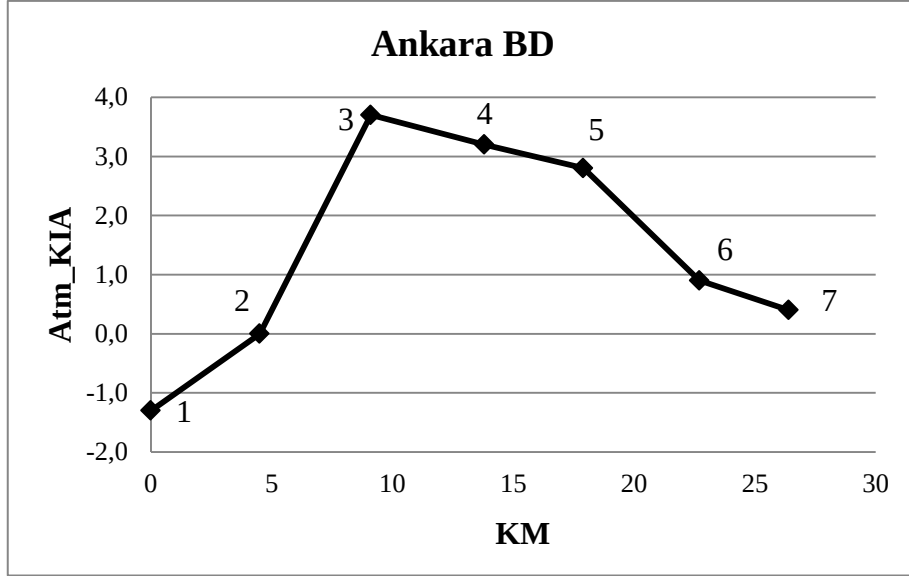
Bölge		ANKARA								
Transekt	İst. No	Tür	Ölçüm Başl.	Ölçüm Bitiş	UTM (X)	UTM (Y)	T _y (°C)	NN (%)	KM	Atm_KIA (°C)
KG	1	Kırsal	22:56	22:57	491178	4426313	5	59.1	0	-0.6
	2	Kentsel	23:21	23:22	490629	4423817	6.4	60	2.5	0.8
	3	Kentsel	23:37	23:38	489983	4419779	10	39.9	6.6	4.4
	4	Kentsel	23:50	23:51	489765	4416079	9.3	41.4	10.3	3.7
	5	Kentsel	00:01	00:02	487670	4412660	7.9	43.9	14.3	2.3
	6	Kırsal	00:10	00:11	483744	4410232	6.2	50.9	19	0.6
	7	Kırsal	00:21	00:22	480940	4410146	5.7	51.9	21.8	0.1
Kırsal Referans = 5.6 °C										
BD	1	Kırsal	01:02	01:03	480845	4428984	4.2	61.6	0	-1.3
	2	Kentsel	01:10	01:11	485232	4429714	5.5	55.5	4.5	0.0
	3	Kentsel	01:19	01:20	485341	4425027	9.2	43.7	9.1	3.7
	4	Kentsel	01:27	01:28	488396	4421446	8.7	61.5	13.8	3.2
	5	Kentsel	01:37	01:38	491787	4419252	8.3	46.1	17.9	2.8
	6	Kırsal	01:46	01:47	494134	4415088	6.4	50.1	22.7	0.9
	7	Kırsal	01:57	01:58	491281	4412748	5.9	52.6	26.4	0.4
Kırsal Referans = 5.5 °C										

Ankara KG güzergahında 1, 6 ve 7 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş olan T_y verileri yardımıyla kırsal referans sıcaklık değeri 5.6 °C olarak belirlenmiştir. Kırsal referans değeri yardımıyla her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunluk değeri hesaplanmıştır. Ankara KG transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraja bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 55’de görülebilmektedir. Grafik ve şekil 54 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tamamının referans değerden yüksek atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buradan hareketle Ankara çalışma bölgesinin 20-21.01.2014 tarihinde 22:56-00:22 saatleri arasında yoğun atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Söz konusu etki istasyon bazında konumsal olarak değerlendirildiğinde her iki tarafı kırsal bölgeye düşen transektin yoğun kentsel bölgeleri temsil eden istasyon konumlarında (KG 3 ve KG 4) atmosferik KIA etkisinin maksimum düzeye ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, şekil 55 irdelendiğinde güzergâhın başlangıcından bitişine kilometraja (konuma) bağlı atmosferik KIA yoğunluk değişim eğrisinin gauss formuna benzediği anlaşılmaktadır.



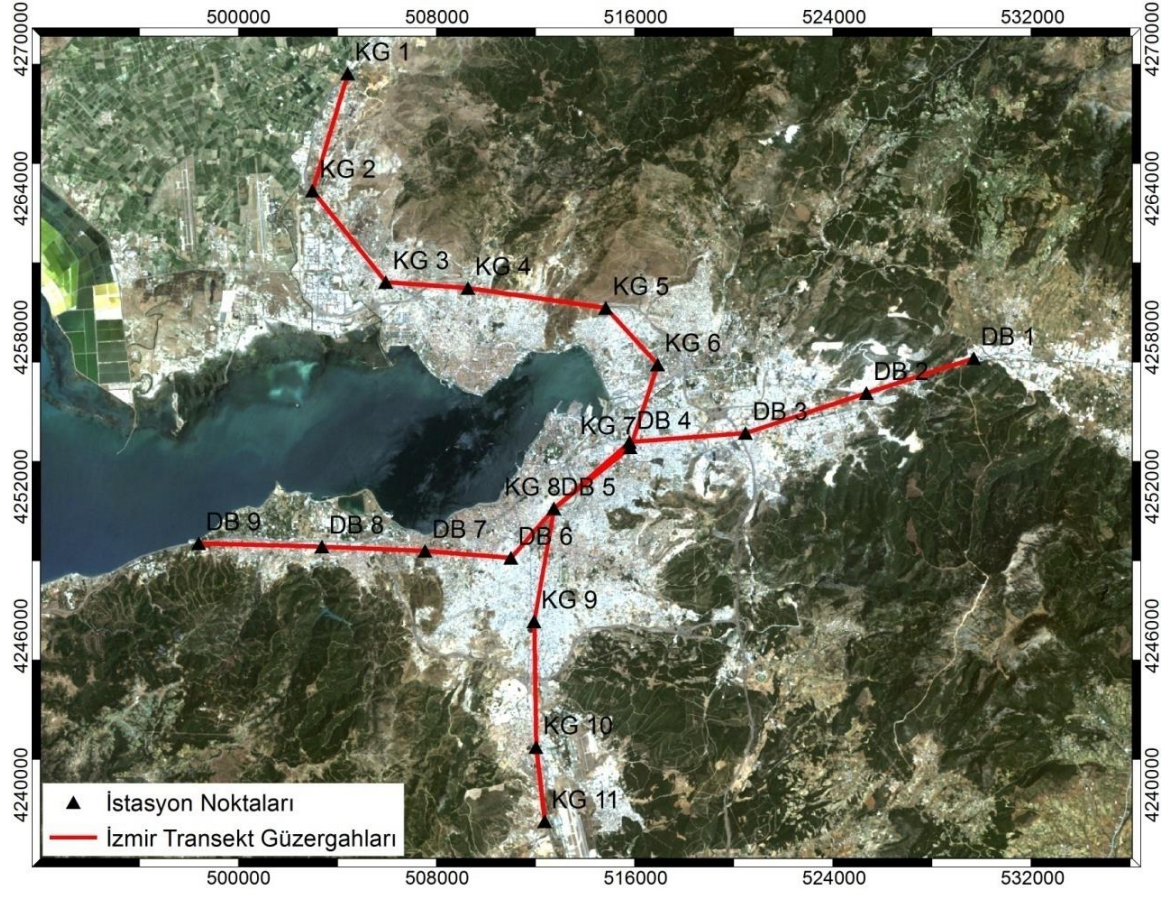
Şekil 55. Ankara KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Ankara BD güzergahında 1, 6 ve 7 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş olan T_y verileri yardımıyla kırsal referans sıcaklık değeri 5.5 °C olarak belirlenmiştir. Kırsal referans değeri yardımıyla her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunluk değeri hesaplanmıştır. Ankara BD transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometreya bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 56'da görülebilmektedir. Şekil 54 ve Şekil 56 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tamamının pozitif atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla KG güzergahı ile benzer biçimde Ankara kentinin 20-21.01.2014 tarihinde 01:01-01:58 saatleri arasında yoğun atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Şekil 56 incelendiğinde BD güzergâhının başlangıcından bitişine değin konuma dayalı atmosferik KIA yoğunluk değişim karakterinin KG güzergâhı ile oldukça benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 56. Ankara BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

İzmir kentsel çalışma bölgesinde atmosferik KIA etkisinin araştırılması amacıyla; KG ve DB yönlerinde kırsal-kentsel-kırsal bölgeler üzerinden geçecek biçimde tasarlanan güzergâhlar takip edilerek 20-21.01.2014 tarihi gece saatlerinde mobil transekt geçiş tekniği uygulanmıştır. Bu amaçla Bölüm 2.8’de ortaya koyulmuş olan kriterlere göre KG ve DB güzergahlarında sırasıyla 11 ve 9’ar adet istasyon noktasında veri kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 27). Güzergâhların ve istasyon noktalarının konumlarına ilişkin oluşturulan harita Şekil 57’de görülebilmektedir.



Şekil 57. İzmir kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları

İzmir kentinde mobil transekt güzergâhları kentin konumsal yayılım karakteri de dikkate alınarak geniş otoyollar ve açık alanlar yerine kent yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerden geçecek biçimde tasarlanmıştır. Güzergâhlar üzerinde istasyon noktaları ara mesafeleri ~ 5km olacak biçimde konumlandırılmıştır. Söz konusu istasyon noktalarına ilişkin arazi çalışmalarında ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA yoğunlukları Tablo 27’de ortaya koyulmuştur.

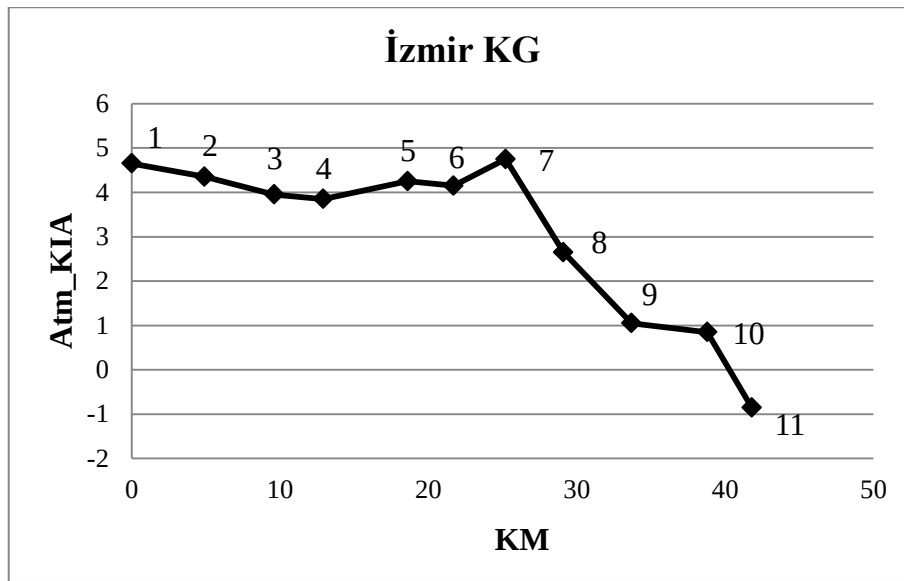
Tablo 27. İzmir KG ve DB güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri

Bölge		İZMİR								
Transekt	İst. No	Tür	Ölçüm Başl.	Ölçüm Bitiş	UTM (X)	UTM (Y)	T _y (°C)	NN (%)	KM	Atm_KIA (°C)
KG	1	Kırsal	22:48	22:49	504404	4268600	16.3	57.3	0	2.4
	2	Kırsal	22:58	22:59	502978	4263883	16	58.6	4.9	2.1
	3	Kentsel	23:07	23:08	505935	4260217	15.6	59.9	9.6	1.7
	4	Kentsel	23:15	23:16	509254	4259973	15.5	59.3	12.9	1.6
	5	Kentsel	23:24	23:25	514803	4259180	15.9	55.5	18.6	2
	6	Kentsel	23:36	23:37	516892	4256904	15.8	57.4	21.7	1.9
	7	Kentsel	23:53	23:54	515783	4253572	16.4	54.4	25.2	2.5
	8	Kentsel	00:16	00:17	512708	4251101	14.3	63.7	29.1	0.4
	9	Kentsel	00:27	00:28	511915	4246569	12.7	72.9	33.7	-1.2
	10	Kırsal	00:36	00:37	511995	4241514	12.5	74.2	38.8	-1.4
	11	Kırsal	00:41	00:42	512339	4238525	10.8	81.7	41.8	-3.1
Kırsal Referans = 13.9 °C										
DB	1	Kırsal	01:32	01:33	529639	4257156	12.1	68.9	0	-2.3
	2	Kentsel	01:42	01:43	525305	4255754	13.5	64.5	4.6	-0.9
	3	Kentsel	01:51	01:52	520437	4254138	16.1	52.2	9.7	1.7
	4	Kentsel	02:02	02:03	515759	4253788	15.9	54.1	14.3	1.5
	5	Kentsel	02:13	02:14	512708	4251101	13.5	66.1	18.4	-0.9
	6	Kentsel	02:29	02:30	510989	4249126	12.3	71.1	21.1	-2.1
	7	Kentsel	02:41	02:42	507520	4249400	14.2	63.2	24.5	-0.2
	8	Kentsel	02:50	02:51	503372	4249582	15.4	57.9	28.7	1.0
	9	Kırsal	03:00	03:01	498399	4249704	16.7	50.7	33.7	2.3
Kırsal Referans = 14.4 °C										

İzmir KG güzergahında 1, 2, 10 ve 11 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş T_y verileri yardımıyla kırsal referans sıcaklık değeri 13.9 °C olarak belirlenmiştir. Bu işlemin ardından bu değerden faydalanılarak her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. İzmir KG transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraja bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 58’de ortaya koyulmuştur. Şekil 57 ve 58 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tamamının pozitif atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte kentin kuzey bölümlerindeki kırsal bölgelerde ölçülen yüksek sıcaklık değerleri güney istasyonlarda atmosferik KIA yoğunluk değerlerinin düşük seviyelerde kalmasına sebep olmaktadır. Bu durumun, kuzeyde yakın kırsal bölgelerde

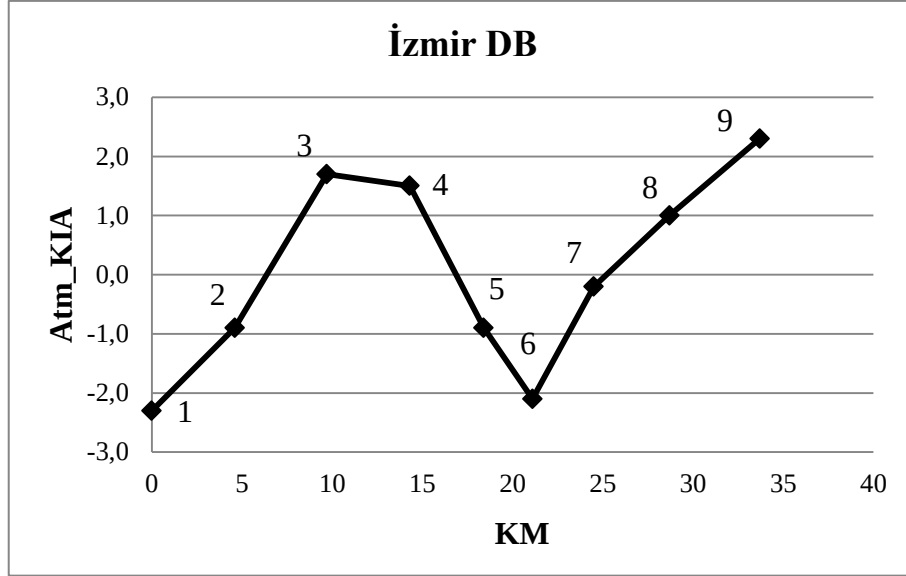
ÇTTA karakterindeki arazi örtüsünün ısı tutucu kabiliyetinin de yardımıyla yakın kırsal bölgelerde atmosferik KIA oluşumunun kısmen etkili olmasına yol açması sebebiyle meydana gelebileceği düşünülmektedir.

Çalışmada İzmir kentinde KG transekt güzergahında 20-21.01.2014 tarihinde 22:48-00:42 saatleri arasında atmosferik KIA etkisi tespit edilmiştir. Söz konusu etki konumsal olarak değerlendirildiğinde özellikle kentin kuzey bölümlerinde bulunan ve transektin yoğun kentsel bölgeleri temsil eden istasyon konumlarında atmosferik KIA etkisinin meydana geldiği tespit edilmiştir.



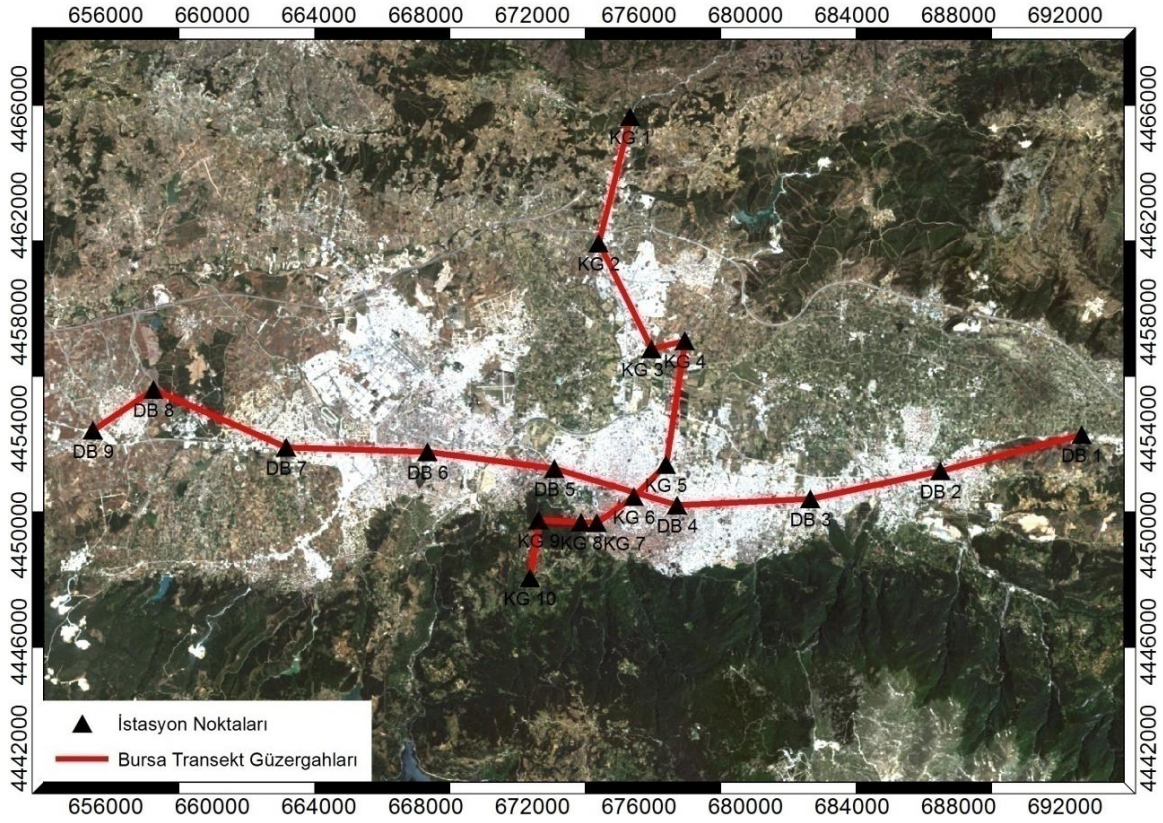
Şekil 58. İzmir KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

İzmir DB güzergahında 1 ve 9 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş T_y verileri yardımıyla kırsal referans sıcaklık değeri 14.4 °C olarak belirlenmiştir. Ardından her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunluk değerleri hesaplanmış ve İzmir DB transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraje bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 59'da gösterilmiştir. Söz konusu grafik ve Şekil 57 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarından 3, 4, 8 ve 9 için hesaplanan yoğunluk değerlerinin pozitif olduğu tespit edilmiştir. Bu durum İzmir kentinde DB transekt güzergahında 20-21.01.2014 tarihinde 1:32-03:01 saatleri arasında tespit edilmiş olan atmosferik KIA etkisinin lokal ölçekte meydana geldiğini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 59. İzmir DB transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Bursa kentsel çalışma bölgesinde atmosferik KIA etkisinin araştırılması amacıyla; KG ve DB yönlerinde kentin hem kırsal hem de kentsel bölgeleri üzerinden geçen güzergâhlar tasarlanmış olup bu güzergâhlarda 20.01.2014 tarihi gece saatlerinde mobil transekt tekniği uygulanmıştır. Bu aşamada Bölüm 2.8’de ifade edilen kriterlere göre KG güzergahında 10, DB güzergahında 9 adet istasyon noktasında veri kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 28). Güzergâhların ve istasyon noktalarının konumlarına ilişkin oluşturulan harita Şekil 60’da görülebilmektedir.



Şekil 60. Bursa kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları

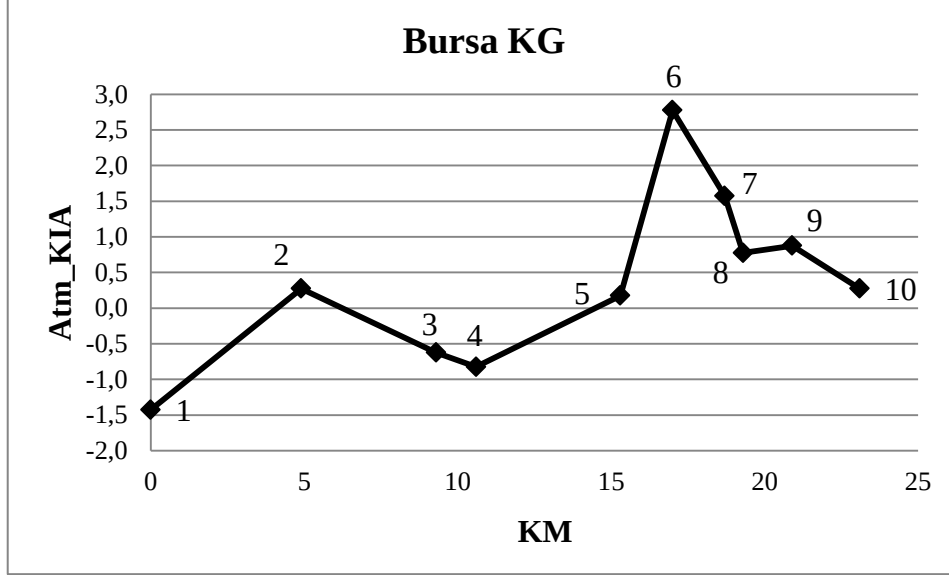
Şekil 60’da Bursa kentinin kentsel yayılım formu incelendiğinde yerleşimin büyük oranda KG ekseninde yoğunlaştığı gözlemlenebilmektedir. Bu durum Bursa çalışma bölgesi için mobil transekt güzergâhlarının tasarımında ve istasyon sayısının belirlenmesinde dikkate alınmıştır. Güzergâhlar üzerinde istasyon noktaları ara mesafeleri ~ 5km olacak biçimde konumlandırılmıştır. Söz konusu istasyon noktalarına ilişkin arazi çalışmalarında ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA yoğunlukları Tablo 28’de ortaya koyulmuştur.

Tablo 28. Bursa KG ve DB güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri

Bölge		BURSA								
Transekt	İst. No	Tür	Ölçüm Başl.	Ölçüm Bitiş	UTM (X)	UTM (Y)	T _y (°C)	NN (%)	KM	Atm_KIA (°C)
KG	1	Kırsal	23:18	23:19	675688	4465697	7.7	79.1	0	-1.4
	2	Kırsal	23:27	23:29	674487	4460949	9.4	74.6	4.9	0.3
	3	Kentsel	23:37	23:38	676470	4456984	8.5	77.2	9.3	-0.6
	4	Kentsel	23:44	23:45	677740	4457292	8.3	78.1	10.6	-0.8
	5	Kentsel	23:55	23:56	677021	4452647	9.3	71.4	15.3	0.2
	6	Kentsel	00:10	00:11	675819	4451447	11.9	63.5	17	2.8
	7	Kentsel	00:25	00:26	674422	4450458	10.7	65.3	18.7	1.6
	8	Kentsel	00:38	00:39	673831	4450475	9.9	67.3	19.3	0.8
	9	Kırsal	00:45	00:46	672243	4450562	10	66.8	20.9	0.9
	10	Kırsal	00:54	00:55	671914	4448395	9.4	65.7	23.1	0.3
Kırsal Referans = 9.1 °C										
DB	1	Kırsal	01:34	01:35	692630	4453770	7.1	81.2	0	-0.5
	2	Kırsal	01:45	01:46	687318	4452402	7.6	77.4	5.5	0.0
	3	Kentsel	01:53	01:54	682446	4451357	10	69.3	10.5	2.4
	4	Kentsel	02:02	02:03	677436	4451114	10.3	69.4	15.5	2.7
	5	Kentsel	02:11	02:12	672838	4452488	10	73.4	20.2	2.4
	6	Kentsel	02:20	02:21	668069	4453121	9.9	73.2	25.1	2.3
	7	Kentsel	02:29	02:30	662768	4453283	9.3	74.7	30.4	1.7
	8	Kırsal	02:43	02:44	657780	4455459	8.2	74.4	35.8	0.6
	9	Kırsal	02:49	02:50	655517	4453932	7.4	78.2	38.6	-0.2
Kırsal Referans = 7.6 °C										

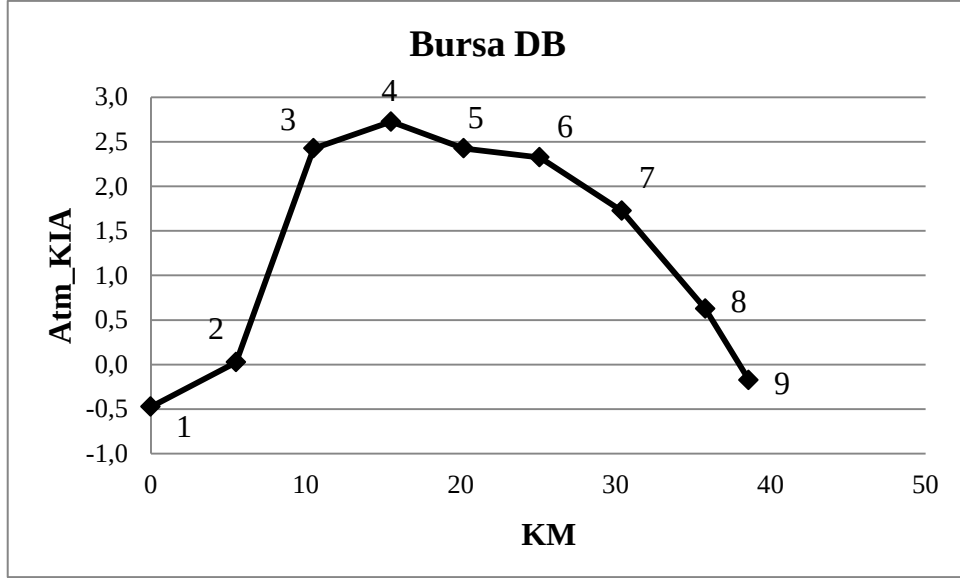
Bursa KG güzergahında 1, 2, 9 ve 10 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş T_y verileri kullanılarak kırsal referans sıcaklık değeri 9.1 °C olarak belirlenmiş olup bu değer yarımıyla güzergahta bulunan istasyon noktaları için atmosferik KIA yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Bursa KG transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraje bağlı olarak atmosferik KIA yoğunluklarında meydana gelen değişim Şekil 61’de görülmektedir. Şekil 60 ve 61 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel yoğunluğun en yüksek düzeyde olduğu konumlarda bulunan istasyon noktalarının yüksek atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle 20.01.2014 tarihinde 23:18-00:55 saatleri arasında Bursa çalışma bölgesinin atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Konumsal olarak irdelendiğinde, yoğun kentsel bölgeleri temsil eden istasyon konumlarında (KG 5, 6 ve 7) atmosferik KIA etkisinin maksimum düzeye ulaştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte özellikle kentin kuzeyinde bulunan düşük

kentsel yoğunluğa sahip bölgelerdeki istasyonlarda düşük atmosferik KIA yoğunluk değerleri elde edilmiştir.



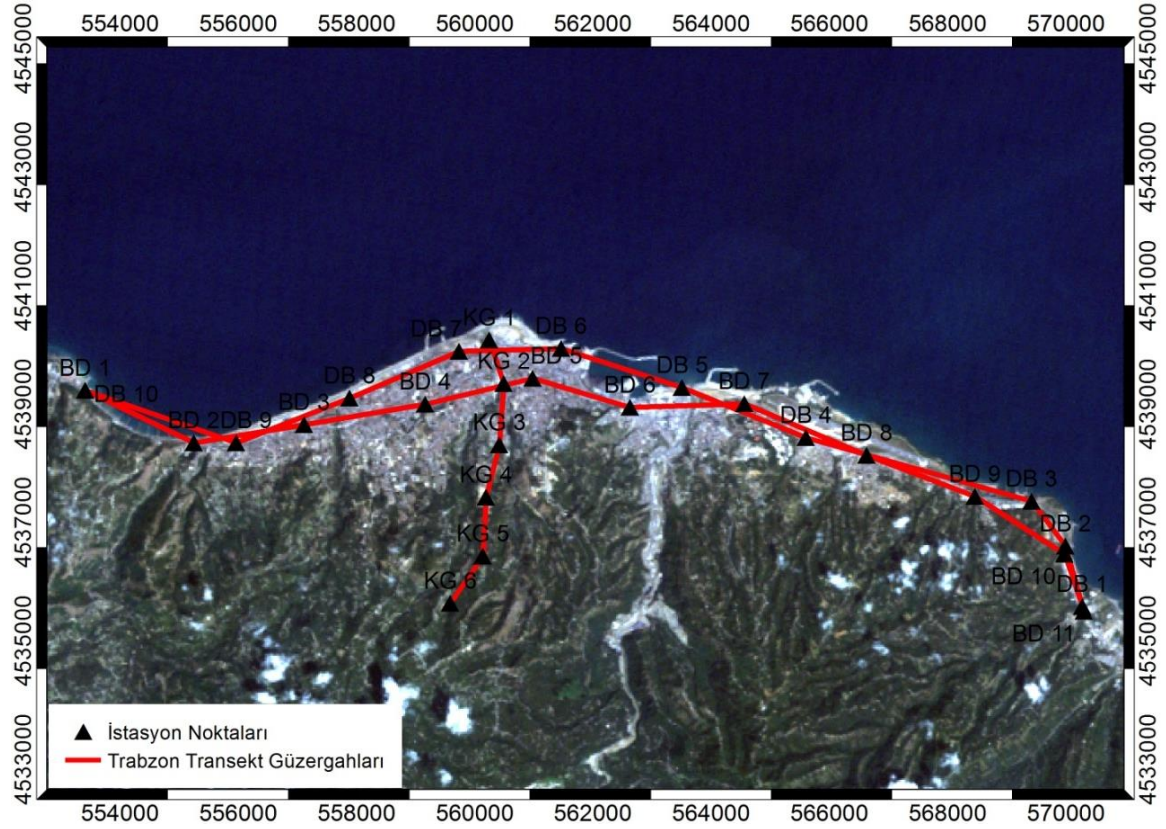
Şekil 61. Bursa KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Bursa DB güzergahında 1, 2, 8 ve 9 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş T_y verileri kullanılarak kırsal referans sıcaklık değeri 7.6 °C olarak belirlenmiştir. Ardından, söz konusu güzergâhta bulunan istasyon noktaları için atmosferik KIA yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Bursa DB transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraje bağlı olarak atmosferik KIA yoğunluklarında meydana gelen değişim Şekil 62’de grafikte görülmektedir. Şekil 60 ve 62 birlikte incelendiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tamamının pozitif atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buradan hareketle Bursa çalışma bölgesinin 20.01.2014 tarihinde 01:34-02:50 saatleri arasında yoğun atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Söz konusu etki istasyon bazında konumsal olarak değerlendirildiğinde her iki tarafı kırsal bölgelere uzanan transektin yoğun kentsel bölgeleri temsil eden istasyon konumlarında atmosferik KIA etkisinin maksimum düzeye ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, şekil 62 irdelendiğinde güzergâhın başlangıcından bitişine kilometraje (konuma) bağlı atmosferik KIA yoğunluk değişim eğrisinin gauss formuna benzer olduğu da gözlemlenebilmektedir.



Şekil 62. Bursa DB transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Çalışmada Trabzon kentinde 16.01.2014 tarihi gece döneminde atmosferik KIA etkisinin araştırılmasına yönelik olarak mobil transekt geçiş tekniğinden faydalanılmıştır. Bu amaçla; DB, BD ve KG yönlerinde kırsal bölgeden başlayıp kent içinden geçtikten sonra tekrar kırsal bölgeye uzanabilen güzergâhlar tasarlanmıştır. Bu güzergâhlarda Bölüm 2.8’de ifade edilen kriterlere göre DB, BD ve KG güzergâhlarında sırasıyla; 10, 11 ve 6’şar adet istasyon noktasında veri kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 29). Güzergâhların ve istasyon noktalarının konumlarına ilişkin oluşturulan harita Şekil 63’de görülebilmektedir.



Şekil 63. Trabzon kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları

Şekil 63 incelendiğinde güzergâhların Trabzon kentinin kıyıya yakın kentsel yayılım karakteri dikkate alınarak oluşturulduğu görülebilmektedir. Trabzon kentsel çalışma bölgesi nispeten daha küçük yüzölçümüne sahip olduğundan dolayı istasyon noktaları arası mesafeler genel olarak ~ 2km civarında olacak şekilde tasarlanmıştır. Bununla birlikte yol ağındaki karmaşıklık ve trafikte aracın park yeri problemleri gibi sebeplerden ötürü daha yakın istasyon noktalarında da veri kaydı gerçekleştirilmiştir.

Trabzon DB, BD ve KG güzergâhlarında konumlandırılmış istasyon noktalarına ilişkin arazi çalışmalarında ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA yoğunlukları Tablo 29’da ortaya koyulmuştur.

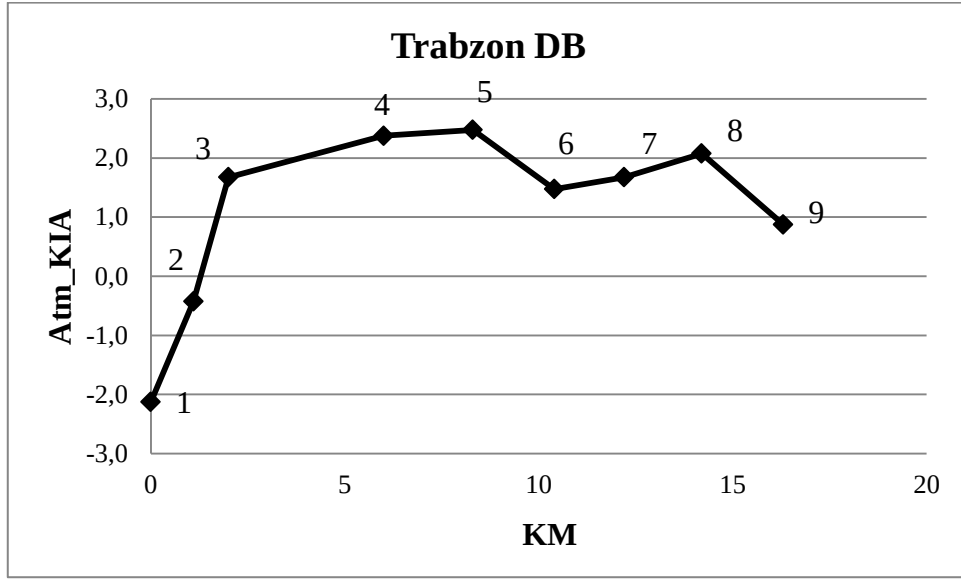
Tablo 29. Trabzon DB, BD ve KG güzergahları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri

Bölge		TRABZON								
Transekt	İst. No	Tür	Ölçüm Başl.	Ölçüm Bitiş	UTM (X)	UTM (Y)	T _y (°C)	NN (%)	KM	Atm_KIA (°C)
DB	1	Kırsal	02:49	02:52	570282	4535581	6.8	54.9	0	-2.1
	2	Kırsal	02:57	03:00	569995	4536605	8.5	49.4	1.1	-0.4
	3	Kırsal	03:04	03:07	569424	4537358	10.6	38.3	2	1.7
	5	Kentsel	03:24	03:27	565605	4538433	11.3	40.2	6	2.4
	6	Kentsel	03:34	03:37	563506	4539278	11.4	30.7	8.3	2.5
	7	Kentsel	03:44	03:47	561468	4539939	10.4	37.1	10.4	1.5
	8	Kentsel	03:54	03:57	559740	4539894	10.6	49.1	12.2	1.7
	9	Kentsel	04:04	04:07	557889	4539102	11	36.5	14.2	2.1
	10	Kırsal	04:14	04:17	555967	4538347	9.8	40.8	16.3	0.9
	Kırsal Referans = 8.9 °C									
BD	1	Kırsal	04:25	04:27	553419	4539229	9.1	24.4	0	0.5
	2	Kırsal	04:35	04:36	555255	4538348	9.4	41.1	2	0.8
	3	Kentsel	04:43	04:44	557122	4538655	11.1	31.9	3.9	2.5
	4	Kentsel	04:51	04:52	559168	4539002	11.8	29	6	3.2
	5	Kentsel	04:59	05:00	560982	4539436	10.6	34.7	7.8	2.0
	6	Kentsel	05:07	05:08	562633	4538947	11.8	29.8	9.6	3.2
	7	Kentsel	05:15	05:16	564567	4539004	9.7	38.6	11.5	1.1
	8	Kentsel	05:23	05:24	566636	4538134	11.2	33.3	13.8	2.6
	9	Kırsal	05:31	05:32	568465	4537442	7.8	48.7	15.7	-0.8
	10	Kırsal	05:39	05:40	569981	4536469	8.2	34.6	17.5	-0.4
	11	Kırsal	05:46	05:47	570306	4535504	8.5	43.2	18.5	-0.1
	Kırsal Referans = 8.6 °C									
KG	1	Kırsal	06:02	06:03	560252	4540084	10.1	36.1	0	0.3
	2	Kentsel	06:10	06:11	560492	4539345	11	31.1	0.8	1.2
	3	Kentsel	06:17	06:18	560419	4538312	11.7	28.7	1.8	1.9
	4	Kentsel	06:24	06:25	560192	4537431	11.4	26.7	2.7	1.6
	5	Kırsal	06:30	06:31	560142	4536434	10.8	29.6	3.7	1.0
	6	Kırsal	06:36	06:37	559588	4535637	8.6	35.8	4.7	-1.2
	Kırsal Referans = 9.8 °C									

Trabzon DB güzergahında kırsal referans sıcaklık değeri; 1, 2, 3 ve 10 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş olan T_y verileri yardımıyla 8.9 °C olarak belirlenmiştir. Kırsal referans değerinden faydalanılarak her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunlukları hesaplanmıştır. Trabzon DB güzergâhı için istasyon noktalarında kilometraje bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 64’de görülebilmektedir. Grafik ve Şekil 63 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının pozitif atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilebilmektedir. Buradan

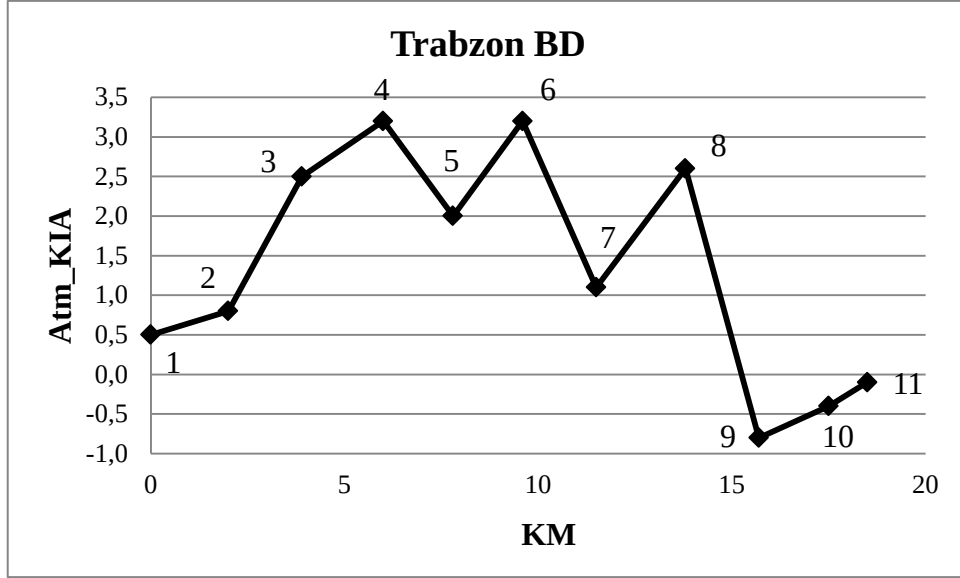
hareketle Trabzon çalışma bölgesinde 16.01.2014 tarihinde 02:49-04:17 saatleri arasında atmosferik KIA etkisinin mevcut olduğu belirlenmiştir.

İstasyon bazında değerlendirildiğinde kentsel yoğunluğu ve bina yüksekliklerinin fazla olduğu bölgelerde bulunan istasyon noktalarının daha yüksek atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.



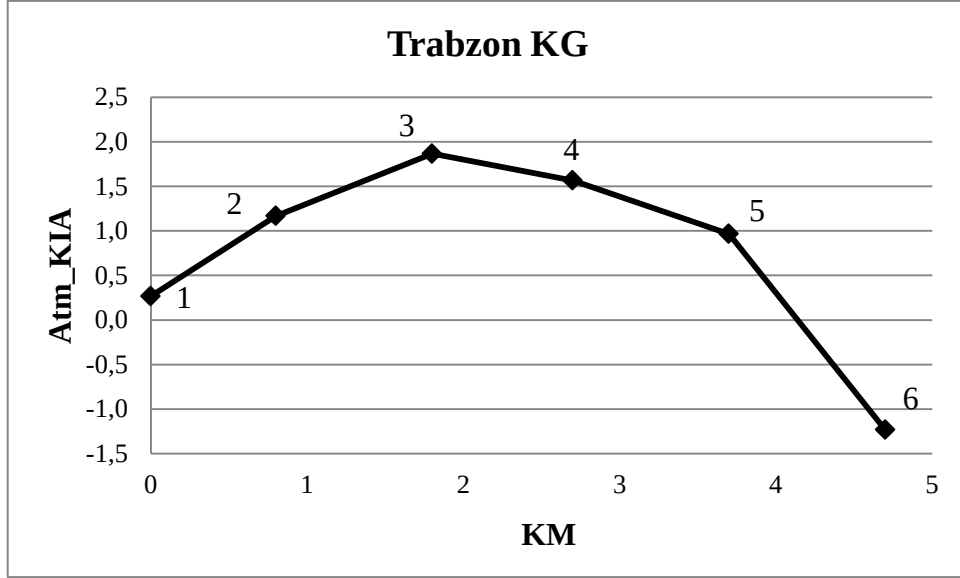
Şekil 64. Trabzon DB transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Trabzon BD güzergahında 1, 2, 9, 10 ve 11 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş T_y verileri yardımıyla kırsal referans sıcaklık değeri 8.6 °C olarak belirlenmiştir. Ardından her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunluk değerleri hesaplanmış ve Trabzon BD transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometreya bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 64’de gösterilmiştir. Söz konusu grafik ve Şekil 63 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tümünün pozitif yoğunluk değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum Trabzon kentinde BD transekt güzergahında 16.01.2014 tarihinde 04:25-05:47 saatleri arasında yoğun atmosferik KIA etkisinin meydana geldiğini ortaya çıkarmaktadır.



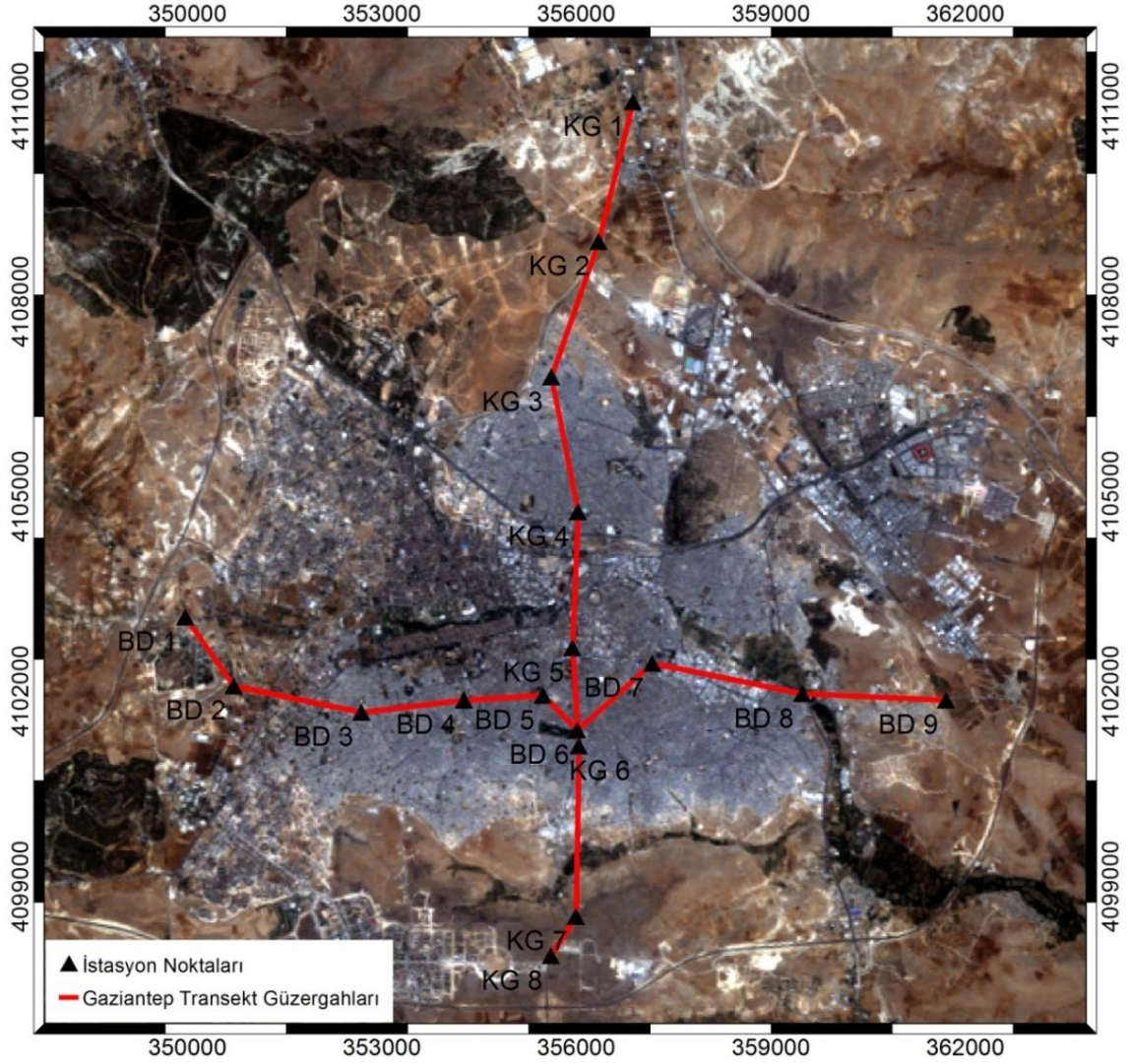
Şekil 65. Trabzon BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Trabzon KG güzergahında 1, 5 ve 6 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş olan T_y verileri yardımıyla kırsal referans sıcaklık değeri 9.8 °C olarak belirlenmiştir. Bu işlemin ardından her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunluk değeri hesaplanmıştır. Trabzon KG transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraje bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 65’de görülebilmektedir. Grafik ve Şekil 63 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tamamının pozitif ve yüksek atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buradan hareketle Trabzon çalışma bölgesinin 16.01.2014 tarihinde 06:02-06:37 saatleri arasında yoğun atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Söz konusu etki konumsal olarak değerlendirilecek olursa, KG transektinin yoğun kentsel bölgeleri temsil eden istasyon konumlarında (KG 2, 3 ve 4) atmosferik KIA etkisinin maksimum düzeye ulaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Şekil 65 irdelendiğinde güzergâhın başlangıcından bitişine kilometraje (konuma) bağlı atmosferik KIA yoğunluk değişim eğrisinin gauss dağılımına benzer formda olduğu da gözlemlenebilmektedir.



Şekil 66. Trabzon KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Gaziantep kentsel çalışma bölgesinde atmosferik KIA etkisinin araştırılması amacıyla; KG ve BD yönlerinde hem kentsel bölge hem de onu çevreleyen kırsal bölgeden geçecek biçimde transekt güzergâhları tasarlanmıştır. Söz konusu güzergâhlarda 22-23.01.2014 tarihi gece döneminde mobil transekt geçiş tekniği uygulanmıştır. Bu süreçte Bölüm 2.8’de ifade edilen kriterlere göre KG güzergahında 8, BD güzergahında ise 9 adet istasyon noktasında veri kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 30). Güzergâhların ve istasyon noktalarının konumlarına ilişkin oluşturulan harita Şekil 67’de görülebilmektedir.



Şekil 67. Gaziantep kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergâhları ve istasyon noktası konumları

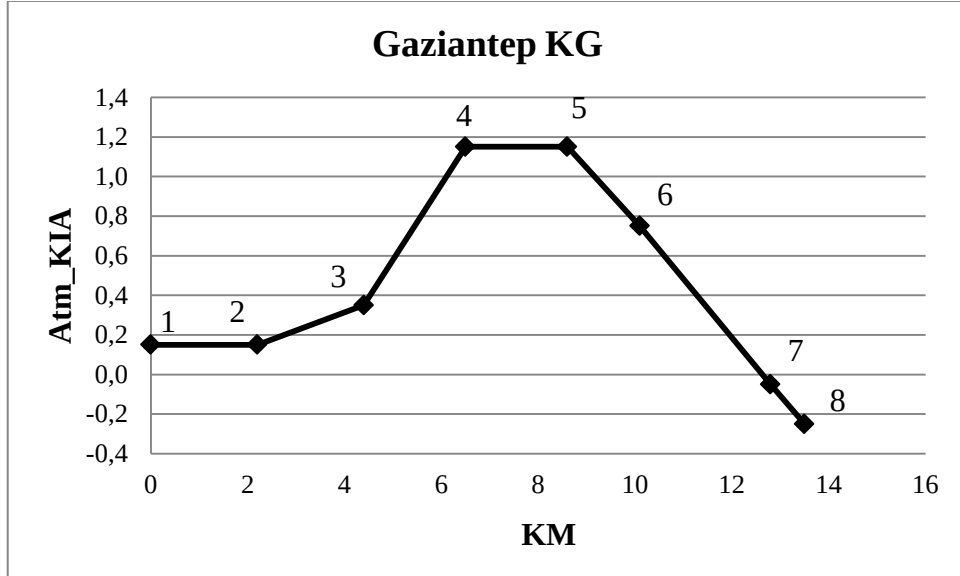
Gaziantep kentinde atmosferik KIA etkisini başarıyla gözlemleyebilmek amacıyla mobil transekt güzergâhları kentin konumsal yayılım karakteri dikkate alınarak tasarlanmıştır. Bu aşamada transektlerin başlangıç - bitiş bölümlerinin kenti çevreleyen yakın kırsal bölgeye yeterli oranda uzanabilecek nitelikte, orta kısımlarının ise kentsel yoğunluğun maksimum düzeyde olduğu bölgelerden geçecek biçimde olmasına dikkat edilmiştir. Gaziantep kentsel çalışma bölgesi nispeten daha küçük yüzölçümüne sahip olduğundan dolayı istasyon noktaları arası mesafeler genel olarak ~ 2km olacak şekilde konumlandırılmıştır. İstasyon noktalarına ilişkin arazi çalışmalarında ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA yoğunlukları Tablo 30’da ortaya koyulmuştur.

Tablo 30. Gaziantep KG ve BD güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri

Bölge		GAZİANTEP								
Transekt	İst. No	Tür	Ölçüm Başl.	Ölçüm Bitiş	UTM (X)	UTM (Y)	T _y (°C)	NN (%)	KM	Atm_KIA (°C)
KG	1	Kırsal	23:28	23:29	356874	4111064	7.3	87.8	0	0.1
	2	Kırsal	23:34	23:35	356343	4108915	7.3	88.5	2.2	0.1
	3	Kentsel	23:40	23:41	355616	4106831	7.5	86.7	4.4	0.4
	4	Kentsel	23:49	23:50	356026	4104759	8.3	83.9	6.5	1.2
	5	Kentsel	23:58	23:59	355941	4102664	8.3	79.9	8.6	1.2
	6	Kentsel	00:16	00:17	356038	4101151	7.9	82.8	10.1	0.8
	7	Kırsal	00:24	00:25	355994	4098532	7.1	87.8	12.8	-0.1
	8	Kırsal	00:27	00:28	355613	4097922	6.9	84.3	13.5	-0.3
Kırsal Referans = 7.2 °C										
DB	1	Kırsal	00:51	00:52	349970	4103138	4.9	91.7	0	-0.4
	2	Kırsal	00:58	00:59	350717	4102076	4.5	93	2.2	-0.8
	3	Kentsel	01:06	01:07	352687	4101672	4.8	93.4	4.6	-0.5
	4	Kentsel	02:19	02:20	354271	4101860	7	87.7	6.1	1.7
	5	Kentsel	02:29	02:30	355483	4101932	7	88.8	6.9	1.7
	6	Kentsel	02:34	02:35	356018	4101398	7.4	85.6	8.1	2.1
	7	Kentsel	02:42	02:43	357172	4102427	7.7	87.8	9.7	2.4
	8	Kırsal	02:49	02:50	359486	4101957	6.8	91	11.7	1.5
	9	Kırsal	02:56	02:57	361709	4101858	5.1	89.5	13	-0.2
Kırsal Referans = 5.3 °C										

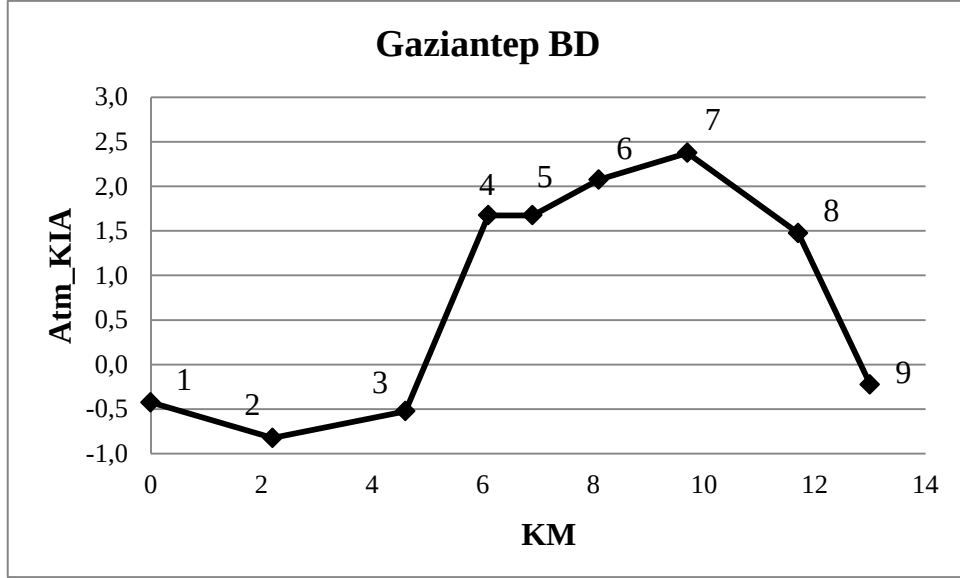
Gaziantep KG güzergahında kırsal referans sıcaklık değeri; 1, 2, 7 ve 8 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş T_y verileri yardımıyla 7.2 °C olarak belirlenmiştir. Söz konusu referans değer kullanılarak güzergâh üzerindeki her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunluk değeri hesaplanmıştır. Gaziantep KG transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraja bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 68’de ortaya koyulmuştur. Şekil 67 ve 68 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının tümünün pozitif atmosferik KIA yoğunluk değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla Gaziantep çalışma bölgesinde 22-23.01.2014 tarihinde 23:28-00:28 saatleri arasında yüksek oranda atmosferik KIA etkisinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu etki istasyon bazında konumsal olarak değerlendirildiğinde her iki tarafı kırsal bölgeye düşen transektin yoğun kentsel bölgeleri temsil eden istasyon konumlarında (KG 4, 5 ve 6) atmosferik KIA etkisinin maksimum düzeye ulaştığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Şekil 68 incelendiğinde güzergâhın

başlangıcından bitişine kilometraja (konuma) bağlı atmosferik KIA yoğunluk değişim eğrisinin gauss dağılımı ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.



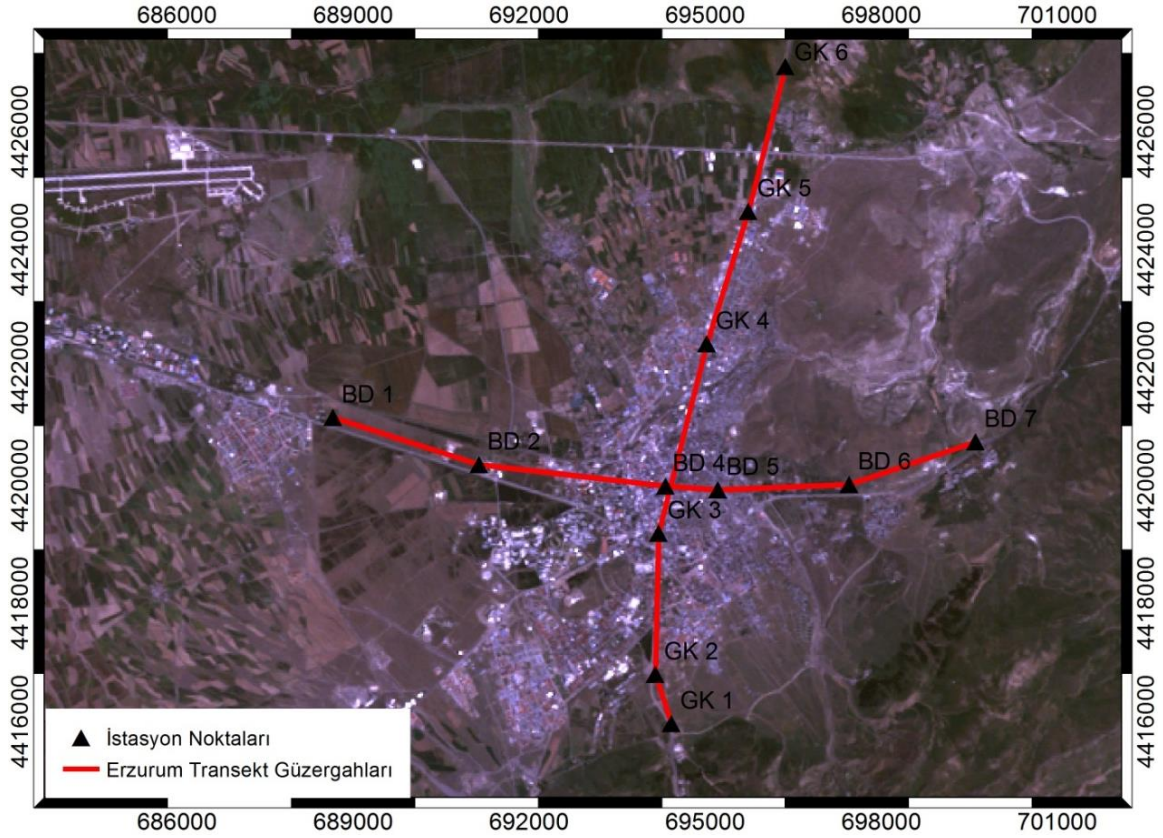
Şekil 68. Gaziantep KG transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Gaziantep BD güzergahında 1, 2, 8 ve 9 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş olan T_y verileri kullanılarak kırsal referans sıcaklık değeri 5.3 °C olarak belirlenmiştir. Bu değer yardımıyla her bir istasyon noktası için atmosferik KIA yoğunluk değeri hesaplanmış olup Gaziantep BD transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraja bağlı atmosferik KIA yoğunluğu değişim grafiği Şekil 69’da gösterilmiştir. Şekil 67 ve 69 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarının büyük çoğunluğunun 0 °C üzerinde atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple KG güzergahı ile benzer biçimde Ankara kentinin 22-23.01.2014 tarihinde 00:51-02:57 saatleri arasında yoğun atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Şekil 69 incelendiğinde BD güzergâhının başlangıcından bitişine değin konuma dayalı atmosferik KIA yoğunluk değişim formunun KG güzergâhı ile benzer olduğu görülmekle birlikte yoğunluk değerlerinde artış meydana geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 69. Gaziantep BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Çalışmada Erzurum kentinde 24-25.01.2014 tarihi gece döneminde atmosferik KIA etkisinin araştırılmasına yönelik olarak mobil transekt geçiş tekniğinden faydalanılmıştır. Bu amaçla kentin hem kırsal hem de kentsel bölgeleri üzerinden geçecek biçimde GK ve BD yönlerinde güzergâhlar tasarlanmıştır. Bu aşamada Bölüm 2.8’de ifade edilen kriterlere göre GK ve BD güzergahlarında 7’şer adet istasyon noktasında veri kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 31). Güzergâhların ve istasyon noktalarının konumlarına ilişkin oluşturulan harita Şekil 70’de görülebilmektedir.



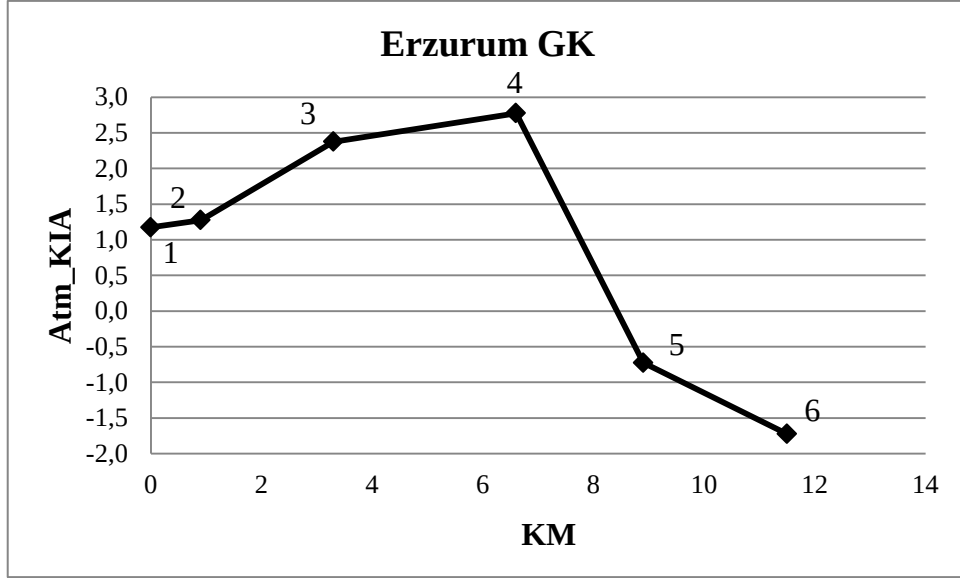
Şekil 70. Erzurum kentsel çalışma bölgesine ilişkin mobil transekt güzergahları ve istasyon noktası konumları

Şekil 70’de Erzurum kentinin kentsel yayılım karakteri incelendiğinde yerleşimin büyük oranda GK ekseninde yoğunlaştığı gözlemlenebilmektedir. Bu durum Erzurum kentsel çalışma bölgesinde mobil transekt güzergâhlarının tasarımında ve istasyon sayısının belirlenmesinde dikkate alınmıştır. Erzurum kenti yüzölçümünün nispeten küçük olmasından dolayı istasyon noktaları ara mesafeleri $\sim 3\text{km}$ olacak biçimde konumlandırılmıştır. Söz konusu istasyon noktalarına ilişkin arazi çalışmalarında ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA yoğunlukları Tablo 31’de ortaya koyulmuştur.

Tablo 31. Erzurum GK ve BD güzergâhları üzerinde bulunan istasyon noktalarına ilişkin ölçülen veriler ve hesaplanan atmosferik KIA parametreleri

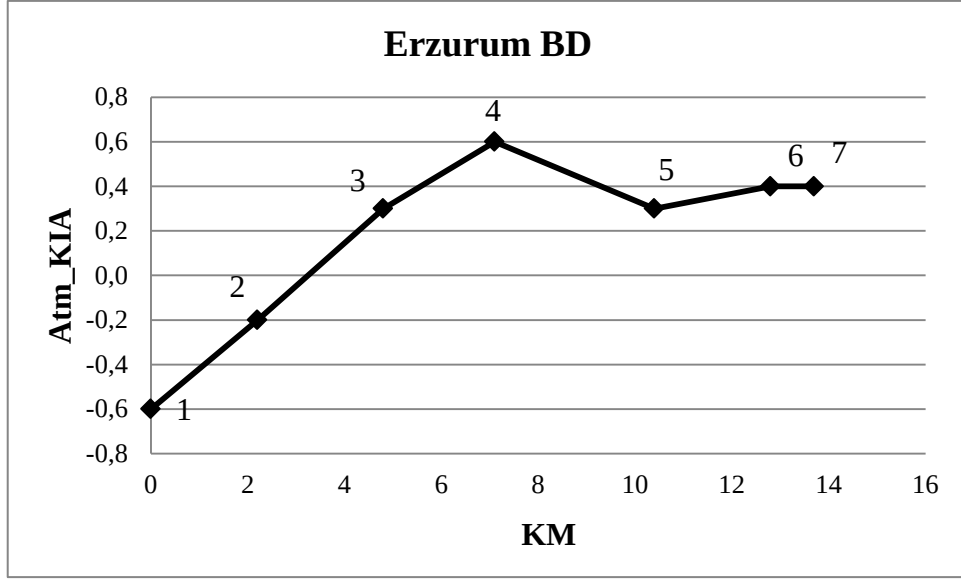
Bölge		ERZURUM								
Transekt	İst. No	Tür	Ölçüm Başl.	Ölçüm Bitiş	UTM (X)	UTM (Y)	T _y (°C)	NN (%)	KM	Atm_KIA (°C)
GK	1	Kırsal	23:35	23:36	694427	4415963	-2.9	73.7	0	1.2
	2	Kırsal	23:39	23:40	694149	4416798	-2.8	74.9	0.9	1.3
	3	Kentsel	23:46	23:47	694207	4419188	-1.7	70.8	3.3	2.4
	4	Kentsel	00:02	00:03	695030	4422400	-1.3	68.3	6.6	2.8
	5	Kırsal	00:08	00:09	695735	4424646	-4.8	81.6	8.9	-0.7
	6	Kırsal	00:14	00:15	696370	4427106	-5.8	83.8	11.5	-1.7
Kırsal Referans = -4.1 °C										
BD	1	Kırsal	22:41	22:42	688660	4421152	-3.2	67.7	0	-0.6
	2	Kırsal	22:48	22:49	691147	4420355	-2.8	69.1	2.2	-0.2
	3	Kentsel	22:55	22:56	693346	4459856	-2.3	67.7	4.8	0.3
	4	Kentsel	23:01	23:02	694324	4419988	-2	66.8	7.1	0.6
	5	Kentsel	23:07	23:08	695217	4419923	-2.3	68.2	10.4	0.3
	6	Kırsal	23:15	23:16	697459	4420013	-2.2	68.9	12.8	0.4
	7	Kırsal	23:20	23:21	699614	4420742	-2.2	69.8	13.7	0.4
Kırsal Referans = -2.6 °C										

Erzurum GK güzergahında 1, 2, 5 ve 6 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş T_y verileri kullanılarak kırsal referans sıcaklık değeri -4.1 °C olarak belirlenmiş olup bu değer yarımıyla güzergahta bulunan istasyon noktaları için atmosferik KIA yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Erzurum GK transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometraje bağlı olarak atmosferik KIA yoğunluklarında meydana gelen değişime ilişkin grafik Şekil 71’de görülmektedir. Şekil 71 ve 72 birlikte değerlendirildiğinde; kentsel bölgede kalan istasyon noktalarının pozitif yönde yüksek atmosferik KIA yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla 24-25.01.2014 tarihinde 23:35-00:15 saatleri arasında Erzurum çalışma bölgesinde atmosferik KIA etkisinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Konumsal olarak irdelenecek olursa, kentleşme yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde bulunan istasyonlarda (GK 3 ve 4) atmosferik KIA etkisinin maksimum seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Şekil 71 incelendiğinde GK güzergâhına ilişkin konuma bağlı değişim trendinin Gauss formunda olduğu gözlemlenebilmektedir.



Şekil 71. Erzurum GK transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

Erzurum BD güzergahında 1, 2, 6 ve 7 numaralı kırsal istasyonlarda ölçülmüş T_y verileri kullanılarak kırsal referans sıcaklık değeri $-2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Ardından, söz konusu güzergâhta bulunan istasyon noktaları için atmosferik KIA yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Erzurum BD transekt güzergâhı boyunca istasyon noktalarında kilometreya bağlı olarak atmosferik KIA yoğunluklarında meydana gelen değişim Şekil 72’de grafikte gösterilmiştir. Şekil 70 ve 72 birlikte incelendiğinde; kentsel bölgede bulunan istasyon noktalarında pozitif atmosferik KIA yoğunluk değerlerinin mevcut olmasına rağmen bu değerlerin düşük düzeylerde kaldığı tespit edilmiştir. Buradan hareketle Erzurum çalışma bölgesinin 24.01.2014 tarihinde 22:41-23:21 saatleri arasında düşük düzeyde atmosferik KIA etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Söz konusu etki istasyon bazında konumsal olarak değerlendirildiğinde kent merkezinde konumlanmış olan BD 4 istasyonunda maksimum atmosferik KIA yoğunluğunun var olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 72. Erzurum BD transekt güzergâhında atmosferik KIA yoğunluk değişimi

4. TARTIŞMA

Çalışma kapsamında her biri Türkiye'nin farklı iklimsel ve sosyo-ekonomik özellikler taşıyan 7 coğrafi bölgesinde konumlanmış 7 kentte KIA etkisi araştırılmıştır. KIA olgusu; kentlerin kendine has yerleşim tarzı, coğrafi konumu, jeolojik yapısı, iklim durumu, topografyası ve arazi örtüsü/kullanım karakteristiği gibi birçok lineer olmayan parametreye bağlı olmasından dolayı oldukça dinamik bir karaktere sahiptir. Bu durum herhangi bir kentsel bölgede meydana gelen KIA etkisinin hem zamansal hem de konumsal olarak farklılaşabilmesine sebep olarak; KIA şiddeti, konumsal kapsamı, yüzeydeki yoğunluk değerleri ve oluşum zamanı gibi özelliklerinin sabit kalmamasına yol açmaktadır. Örneğin, özellikle gündüz döneminde gerçekleştirilen KIA analizlerinde kenti meydana getiren materyallerin ısıyı daha yavaş absorbe etme özelliği veya yüksek binalardan kaynaklanan gölge etkisi nedeni ile günün belli saatlerinde KIA varlığı gözlemlenemebilmektedir (Sobrino vd., 2013). Bu durum mevsimsel olarak da farklılıklar gösterebilmektedir. Öyle ki, kış mevsiminde atmosfere yayılan ısı enerjisinin büyük bir kısmı KIA varlığı ile ilişkilidir (Cai vd., 2011). KIA etkisinin genelleştirilebilmesini önemli oranda zorlaştıran bu sebeplerden dolayı çalışmanın ilk aşamasında yüzey KIA etkisinin tespit ve karakterizasyonuna yönelik olarak Streutker (2002) ve (2003) tarafından geliştirilen yaklaşım iyileştirilip otomatize edilerek kullanılmıştır. Literatürde yüzey KIA etkisinin tespiti amacıyla yapılmış birçok araştırma olmasına rağmen bu çalışmaların önemli bir bölümünde yukarıda ifade edilen sebeplerden ötürü KIA etkisinin konumsal kapsamı ve şiddeti gibi tanımlayıcı nicel parametreler ortaya koyulamamıştır (Yuan ve Bauer, 2007). Bu parametrelerin tespit edilememesi, KIA etkisi altında kalan kentsel bölge sınırlarının genel ifadelerle ve kalitatif olarak tanımlanmasına yol açabilmektedir (Kaya vd., 2012). Bununla birlikte önerilen yaklaşımın tüm kentsel bölgelerde uygulanabilmesi ve yüzey KIA etkisini karakterize edebilmesi, farklı kentler için elde edilen yüzey KIA parametrelerinin birbiri ile karşılaştırılabilmesine de olanak sağlamaktadır. Bilindiği gibi KIA olgusu tanımı gereği kentsel bölge ile kırsal bölge arasında meydana gelen sıcaklık farklılığı olarak ifade edilmektedir. Bu sebeple yüzey KIA etkisinin belirlenmesi amaçlandığında mutlaka kırsal bölgelere ilişkin sıcaklık değeri kentsel bölge sıcaklıklarından çıkartılarak yüzey KIA yoğunlukları hesaplanmalıdır. Yüzey KIA etkisinin belirlenmesi ve karakterizasyonu sürecinde yüzey KIA yoğunluk

değerlerinin hesaplanması aşaması oldukça önemlidir. Bu aşamada kırsal referans sıcaklık değerinin belirlenmesi süreci hesaplanan yüzey KIA yoğunluk değerlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bununla birlikte literatürde çeşitli çalışmalarda yüzey KIA yoğunluklarını hesaplamak yerine doğrudan AYS değerleri veya TOA sıcaklıkları kullanılarak yüzey KIA etkisi araştırılmıştır (Kaya vd., 2012; Corumluoglu ve Asri, 2015; Uysal vd., 2015). Yapılan analizlerde AYS yerine doğrudan TOA sıcaklıklarının kullanılmasının atmosferik etkilerin ve yüzeye ilişkin yayınlılık etkisinin giderilmemesinden ötürü önemli düzeyde hatalara sebep olabildiği tespit edilmiştir (Prata vd., 1995). Doğrudan AYS kullanılarak yapılan çalışmalarda ise yüzey KIA etkisinin standardize edilememesinden ötürü, farklı bölgelere ve zamanlara ait AYS verileri üzerinden yüzey KIA etkisi varlığının değerlendirilebilmesi oldukça zorlaşmaktadır. Çalışmada önerilen yaklaşımda kırsal bölgeye ilişkin az sayıda gridden AYS verisi örneklenmesi yerine kentsel bölgeyi çevreleyen kırsal bölge yüzeyinin tüm grid değerleri referans yüzeyin oluşturulmasında kullanılmıştır. Bu sayede oluşturulan kırsal referans sıcaklık yüzeyinin her grid değerinde konuma bağlı kırsal referans sıcaklığı değişimi de modellenmiştir. Kentsel bölgeye ilişkin her grid değerinden sabit bir referans değerinin çıkartılması yerine kırsal referans sıcaklık yüzeyine ilişkin grid değerlerinin kullanılması hesaplanan yüzey KIA yoğunluklarının doğruluğu açısından oldukça önemlidir (Streutker, 2002; 2003).

Çalışmanın ilk aşamasında kentsel çalışma bölgelerinde yüzey KIA etkisinin tespiti ve karakterizasyonu amacıyla Streutker (2002) ve (2003) tarafından geliştirilen yaklaşım iyileştirilerek uzaktan algılanmış veri setlerine uygulanmıştır. İyileştirme sürecinde KIA olgusuna ilişkin yukarıda ifade edilen tüm konular göz önünde bulundurulmuştur. Önerilen yaklaşım yardımıyla Landsat TM veri setleriyle gündüz dönemi, ASTER veri setleriyle ise gece dönemi yüzey KIA etkisi araştırılmıştır. Bununla birlikte, yaklaşım seçilen zamansal periyotlarda da uygulanmış ve yüzey KIA etkisinin zamansal gelişim süreci tüm kentsel çalışma bölgelerinde analiz edilmiştir.

İstanbul kentsel çalışma bölgesinde 1984-2011 tarihleri arasında seçilen periyotlarda gerçekleştirilen analizler sonucunda 1984 yılı hariç geriye kalan tüm periyotlarda yüzey KIA etkisinin varlığı tespit edilmiştir. Ayrıca, yüzey KIA etkisinin zamansal olarak artış eğilimde olduğu da elde edilen bulgular sayesinde anlaşılmıştır. Literatürde İstanbul kentinde KIA olgusuna yönelik olarak çok az sayıda çalışma yapılmış olup hiçbir çalışmada yüzey KIA konumsal parametreleri tespit edilmemiştir. Kaya vd. (2012)

doğrudan TOA parlaklık sıcaklıklarını kullanarak yaptığı analizlerde kentin çeşitli bölgelerinde KIA etkisinin var olduğunu öne sürmüştür. Söz konusu çalışmada yüzey KIA şiddeti ve konumsal yayılım parametreleri ifade edilmemiş olduğundan dolayı hassas bir karşılaştırma yapmak mümkün değildir. Bununla birlikte, Kaya vd. (2012) tarafından KIA etkisi altında olduğu ifade edilen bazı kentsel bölgelerin bu çalışmada belirlenen yüzey KIA etkisi altındaki bölge içinde kaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca söz konusu çalışmada doğrudan TOA parlaklık sıcaklıklarının kullanılması da önemli bir dezavantaj olup evvelce ifade edilen sebeplerden dolayı sonuçlar üzerinde önemli düzeyde hata meydana getirebilmektedir. Balçık (2014) AYS verileri üzerinden yaptığı analizlerde İstanbul kentinde KIA etkisinin var olduğunu ifade etmiştir. Bununla birlikte bu çalışmada da KIA etkisinin karakterizasyonu yapılmamış olmasından ötürü; ifade edilen KIA etkisinin şiddeti, konumsal etki alanı ve yoğunlukları tespit edilememiştir. Ayrıca, çalışmada İstanbul kentinde gece döneminde yüzey KIA varlığı tespit edilememiştir.

Ankara kentsel çalışma bölgesinde 1984-2011 tarihleri arasında seçilen periyotlarda yapılan analizler sonucunda gündüz döneminde 1K eşik değerini aşan yüzey KIA etkisi belirlenememiştir. Bu durum, kenti çevreleyen kırsal bölgelerin çoğunlukla ÇTTA niteliğinde olmasından kaynaklanmaktadır. Bu tür yüzeyler; atmosfere hissedilir ısı transferlerinin oldukça yüksek olması, nem oranlarının oldukça düşük olması ve ısı yalıtım kabiliyetlerinin fazla olması gibi radyatif/termal özellikleri sebebiyle yüksek AYS değerlerine sahip olabilmektedirler. Bu şartlar altında kırsal yüzeyler kentsel yüzeylerden daha sıcak olmakta ve bu durum negatif yüzey KIA etkisine sebep olmaktadır. Çiçek vd. (2013) tarafından Landsat 7 uydu verilerinden faydalanarak Ankara kentine ilişkin yüzey KIA etkisinin incelendiği çalışmada, bu çalışma ile benzer biçimde yukarıda ifade edilen sebeplerden ötürü Ankara kentinde gündüz döneminde yüzey KIA etkisinin bulunmadığını tespit etmiştir. Bununla birlikte Ankara kentsel çalışma bölgesinde çalışmada önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizlerde gece döneminde yüzey KIA etkisi tespit edilmiş ve konumsal parametreleri ortaya koyulmuştur. Yüzey KIA etkisinin gece döneminde ortaya çıkması gündüz dönemine benzer biçimde ÇTTA niteliğindeki kırsal bölgelerin radyatif ve termal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Gece döneminde solar radyasyonun önemli oranda azalmasıyla birlikte kırsal yüzeylerden hissedilir ısı transferi azalır ve bu yüzeyler hızla soğurlar. Bu durumda kentsel bölgeler; yüzeyi oluşturan materyallerin yüksek ısı tutucu kabiliyeti ve yüksek binalar arasında uzanan caddelerin kanyon etkisi gibi özellikleri sayesinde kırsal bölgelerden daha yüksek sıcaklık değerlerine sahip olmaktadır.

İzmir kentsel çalışma bölgesinde 1984-2011 tarihleri arasında önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizler sonucunda; kentin güney, kuzey ve batısında bulunan alt çalışma bölgelerinde bazı periyotlarda yüzey KIA etkisinin var olduğu bazılarında ise söz konusu etkinin mevcut olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumun en belirgin sebepleri; kentin İzmir körfezi kıyılarına dik olarak konumlanmış caddelerinden iç bölgelere kadar ulaşan serin rüzgârların konveksiyon yolu ile kentsel yüzeylerin soğumasına yardımcı olması ve kentsel bölgeyi saran kırsal bölgenin bazı bölümlerinin Ankara kenti ile benzer biçimde gün boyu sıcak ÇTTA arazi örtüsü ile kaplı olması olarak ifade edilebilir. Corumluoglu ve Asri (2015) İzmir kentinde Landsat 8 verileri yardımıyla doğrudan TOA parlaklık sıcaklıklarını kullanarak yüzey KIA etkisini araştırmıştır. İfade edilen çalışmada, bu çalışmada İzmir 2 - Kuzey alt çalışma bölgesi olarak tanımlanan alana yakın konumlarda KIA etkisinin var olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte analizlerin doğrudan TOA sıcaklıkları üzerinden yapılması sebebiyle arazi yüzeyinin değişken yayınlılık değerlerinden kaynaklanan hata söz konusu çalışmada göz ardı edilmiştir (Jimenez-Munoz ve Sobrino, 2003). Özellikle İzmir kenti gibi kırsal ve kentsel yüzey materyallerinin çeşitliliğinin fazla olduğu bir bölgede bu hata miktarı oldukça yüksek olabilmektedir. Nitekim söz konusu çalışmada kentin diğer alt çalışma bölgelerinde yüzey KIA varlığı tespit edilememiştir. Buna karşın bu çalışmada özellikle İzmir 2 - Güney alt çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım ile tüm periyotlarda yüzey KIA etkisinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılık söz konusu çalışmada atmosferik etkilerin ve yayınlılık etkisinin hesaba katılmaması sebebiyle meydana gelmektedir. Bununla birlikte, Corumluoglu ve Asri (2015) tarafından tespit edilen KIA etkisi karakterize edilmediğinden şiddeti ve yoğunluğuna ilişkin bir değerlendirme yapılamamaktadır.

Çalışmada Bursa kentinde önerilen yaklaşım kullanılarak gündüz dönemine ilişkin tüm periyotlarda, geçmişten günümüze değin geçen zamana bağlı olarak etki alanı ve şiddeti sürekli artış eğiliminde olan yüzey KIA varlığı tespit edilmiştir. Bursa kentinde özellikle son 50 yılda meydana gelen yoğun sanayileşme faaliyetleri sebebiyle artan sanayi bölgelerine ilişkin geniş yüzeyleri oluşturan materyallerin yüksek termal ısı kapasitesi ve bu bölgelerdeki yüksek antropojenik ısı yayılımı kentsel bölgede AYS değerlerinin yüksek seviyelere ulaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu sürecin beraberinde getirdiği göç kaynaklı hızlı nüfus artışı sonucunda oluşan plansız kentleşme; kentin iç bölgelerinde rüzgâr şiddetini düşürerek konveksiyon kaynaklı ısı kaybını azaltmakta ve kanyon etkisi ile birlikte kentsel yüzeylerin yüksek AYS değerlerine sahip olmasına yol açmaktadır. Bursa

kentinde bu tür etkileşimler altındaki kentsel yüzeyleri çevreleyen kırsal bölgeler ise çoğunlukla bitki örtüsü ile kaplı yüzeylerden oluşmaktadır. Nemli kent ikliminin de etkisiyle bu kırsal yüzeylere gündüz döneminde gelen solar radyasyonun büyük bir bölümü hissedilebilir ısıya dönüşmeden buharlaşma ve konveksiyonla atmosfere transfer olmaktadır. Dolayısıyla kırsal yüzeyler düşük AYS değerlerine sahip olmaktadır. Bu durum özellikle yaz aylarında kentsel ve kırsal yüzeyler arasındaki farkın en yüksek düzeye ulaşmasında neden olmaktadır. Çalışmada Bursa kentinde tüm bu etkileşimler sebebiyle gündüz döneminde yoğun yüzey KIA etkisi gözlemlenmiştir. Gece döneminde ise Bursa kentinde iki periyotta yüzey KIA varlığı tespit edilmiştir. Bu durum oldukça azalan solar radyasyonun miktarına paralel olarak azalan kentsel bölge AYS değerlerinden kaynaklanmaktadır.

Trabzon kentinde önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizler sonucunda gündüz döneminde seçilen tüm periyotlara ilişkin yüzey KIA etkisi tespit edilmiştir. Kentte çok yoğun sanayi faaliyetleri olmamasına karşın özellikle topografya sebebiyle yerleşimin kıyı koridoruna sıkışmasından ötürü kentsel bölgede bina yoğunluğu ve bina yükseklikleri oldukça artmıştır. Bu durum kentte kanyon etkisine ve iç kentsel bölgelerde rüzgar hızının azalmasına yol açarak gündüz boyunca solar radyasyon tarafından ısıtılan yüzeylerin soğuma kapasitesini önemli oranda azaltır ve buralarda yüksek AYS değerlerinin meydana gelmesine neden olur. Bununla birlikte; Trabzon çalışma bölgesinin yüksek nem oranına sahip nemli iklim özellikleri sebebiyle kentsel bölgeyi çevreleyen doğal kırsal yüzeyler yoğun ve yüksek bitki örtüsü ile kaplı olup bu bölgeler kentsel bölgeden daha yüksek rakım değerlerine sahiptir. Bu yüksek nem oranına sahip kırsal yüzeylerde kuzey rüzgarlarının da etkisiyle evapotranspirasyon ve buharlaşma süreçlerinin hızlanmasıyla yüzeylerden yüksek oranda ısı kaybı meydana gelir. Bu durum Trabzon kentini çevreleyen doğal kırsal yüzeylerde kentsel bölgeye nazaran daha düşük AYS değerlerinin oluşmasına neden olur. Sonuç olarak tüm bu etkileşimler altında Trabzon kentinde gündüz dönemi kentsel yüzeylerde kırsal yüzeylerden daha yüksek AYS ortaya çıkması sayesinde yüzey KIA etkisi ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada Gaziantep kentinde önerilen yaklaşımın seçilen periyotlarda uygulanması sonucunda gündüz döneminde 1 K yoğunluk eşiğini aşan yüzey KIA etkisi tespit edilememiştir. Bu sonuç, Ankara kentsel çalışma bölgesi ile oldukça benzer biçimde kentsel bölgeyi çevreleyen kırsal yüzeylerin ÇTTA niteliğinde olmasından kaynaklanmaktadır. Gaziantep kentinin oldukça kurak ve yaz aylarında aşırı yüksek

sıcaklıklara ulaşabilen iklimsel karakteri sebebiyle kırsal bölgelerinde çölleşmiş yüzeyler ve kuru tarım arazileri mevcuttur. Bu tür kırsal yüzeylerin yok denecek kadar az olan nemlilik durumu ve yüksek ısı tutucu kabiliyetleri, soğuma kapasitelerini önemli oranda azaltarak yüzeylerin oldukça yüksek AYS değerlerine sahip olmasına neden olmaktadır. Bu koşullar altında kentte kırsal yüzeyler kentsel yüzeylerden daha yüksek AYS değerlerine sahip olarak negatif yüzey KIA etkisi meydana getirebilmektedir. Bununla birlikte, Ankara kentsel çalışma bölgesi ile benzer biçimde Gaziantep kentinde önerilen yaklaşım ile gece dönemi yüzey KIA etkisi tespit edilmiş ve konumsal parametreleri ortaya koyulmuştur. Bu durum ÇTTA arazi örtüsü/kullanım sınıfındaki kırsal yüzeylerin gece döneminde oldukça azalan solar radyasyon sebebiyle hızla soğuması ve kentsel yüzeylerden daha düşük AYS değerlerine sahip olması sonucunda meydana gelmektedir.

Erzurum kentsel çalışma bölgesinde yüzey KIA varlığının tespiti amacıyla önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizlerde gündüz dönemi; 2007, 2009 ve 2011 periyotlarında yüzey KIA etkisinin mevcut olduğu tespit edilmiş olup yüzey KIA şiddetinin zamana bağlı olarak artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Erzurum kenti yaklaşık 1800m düzeyindeki rakımı ile plato karakterindeki bir coğrafi bölgede konumlanmış, fazla sanayi faaliyeti bulunmayan Türkiye'nin en soğuk kent merkezlerinden birisidir. Bu durum endüstriyel faaliyetlerden ziyade kentsel yüzey karakterini değiştirici etkiye sahip olan diğer insan kaynaklı aktivitelerin bu tür kent yüzeylerinde meydana getirdiği AYS artışının az seviyede olmasına rağmen oldukça önemli olmasına neden olmaktadır (Yılmaz vd., 2009). Bu sebeple çalışmada yüzey KIA etkisi altındaki bölgede arazi örtüsü/kullanımında meydana gelen veya gelebilecek küçük değişiklikler yüzey KIA oluşumu üzerindeki etkileri sebebiyle büyük önem taşımaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında, ilk aşamada tespit edilen yüzey KIA etkisinin modellenmesi amacıyla her bir kentsel çalışma bölgesi için seçilen periyotta OLS çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve yüzey KIA oluşumuna neden olan faktörler tespit edilmiştir. Bu aşamada; KGY, BÖ, ÇTTA, S, OBY, SYM, NY ve EET faktörleri ile yüzey KIA yoğunlukları arasında öncül OLS çoklu regresyon analizleri yapılmış ve her kentsel çalışma bölgesi için yüzey KIA oluşuma sebep olan faktörler belirlenerek modellenmiştir. Günümüzde gelişen uzaktan algılama, CBS ve bilgisayar teknolojileri sayesinde KIA oluşumuna etki eden faktörlere ilişkin; yüzeyi temsil edebilirliği oldukça yüksek, yoğun ve çok boyutlu veri setleri üretilebilmektedir. Yüzey KIA yoğunlukları ile bu çok boyutlu veri setleri arasındaki karmaşık ilişkiler, gelişmiş enterpolasyon ve çok boyutlu lineer

regresyon teknikleri kullanılarak modellenebilmektedir (Svensson vd., 2002; Vicente-Serrano vd., 2005; Alcoforado ve Andrade, 2006; Laszlo vd., 2011). Örneğin, Sherafati vd. (2013) Tahran kenti için yapay sinir ağları ve destek vektör regresyon tekniklerini kullanarak çeşitli kentsel gelişim parametreleri ile KIA arasındaki ilişkiyi modellemiştir. Benzer biçimde Zhou vd. (2011) gece döneminde Streutker (2003) tarafından önerilen gauss tabanlı yaklaşım ile yüzey KIA etkisini karakterize etmiş ve elde ettiği yüzey KIA parametreleri ile yüzey KIA oluşumunda etkili çeşitli faktörler arasında destek vektör regresyon tekniği yardımıyla istatistiksel bir model geliştirmiştir. İfade edilen tekniklerin CBS ortamlarında konum bilgisi ile entegre bir biçimde kullanılması sayesinde, ilgili kentsel bölgede KIA etkisinin ve bu etkiyi meydana getiren faktörlerin etkileşimleri konuma bağlı nicel istatistiksel analizler ile ortaya koyulabilmektedir (Szymanowski ve Kryza, 2012). Bu amaçla uzaktan algılama teknolojileri kullanılarak üretilmiş; yüksek konumsal çözünürlüklü arazi örtüsü/kullanım verileri (Carlson ve Arthur, 2000), çeşitli topografik veriler, üç boyutlu bina modelleri gibi kentsel ortamı nicel olarak karakterize edebilen birçok veri setinden CBS araçları yardımıyla faydalanılabilmektedir. Literatürde özellikle arazi örtüsü/kullanımını ifade edebilmek ve yüzey KIA modellerinde kantitatif bir değişken olarak kullanabilmek amacıyla uzaktan algılanmış çok boyutlu veri setleri kullanılarak hesaplanan çeşitli indekslerden faydalanılmıştır (Chen vd., 2006; Balçık, 2014). Bunlar arasında NDVI indeksi, vejetasyonun yüzey KIA üzerindeki bilinen etki azaltıcı özellikleri sebebiyle kurulan istatistiksel modellerde yoğun olarak tercih edilmiştir. Yuan ve Bauer (2007) sadece NDVI indeksi kullanarak vejetasyon ile kaplı bölgeleri belirlemiş ve bu bölgeler dışında kalan yüzeyleri geçirimsiz yüzey olarak kabul ederek AYS ile ilişki düzeyini irdelemiştir. Söz konusu çalışmada seçilen örnek veriler kullanılarak yapılan analizlerde R^2 düzeyinin 0.99 değerine ulaştığı tespit edilmiş olmasına rağmen bu değer mevsimsel değişimlerden önemli oranda etkilenebilmektedir. Bununla birlikte söz konusu çalışmada yüzey KIA oluşumunda etkili olabilecek birçok faktörden sadece vejetasyon ve geçirimsiz yüzey durumu irdelenmiştir. Dolayısıyla modelin yüzey KIA etkisini açıklayabilirliği yönüyle zayıf kalma olasılığı oldukça yüksektir. Chen vd. (2006) benzer biçimde NDVI, NDWI, NDBI (Normalize Edilmiş Kuraklık İndeksi) ve NDBaI (Normalize Edilmiş Yapılaşma İndeksi) gibi indekslerden faydalanarak doğrudan AYS ile bu indeksler arasındaki ilişki düzeyini irdelemiştir. Söz konusu çalışmada kullanıcı tarafından her indeks için seçilen farklı eşiklerle tanımlanan arazi örtüsü/kullanım türleri ile AYS arasında R^2 düzeyinin 0.81-0.99 değerleri arasında değiştiği ortaya

koyulmuştur. Bununla birlikte Chen vd. (2006) her indis için türettiği arazi kullanımı için tekil regresyon analizleri gerçekleştirmiş olup çoklu regresyon modeli uygulamamıştır. Balçık (2014) yukarıda ifade edilen çalışmalara benzer biçimde; SAVI (Toprak Etkisi Dengelenmiş Vejetasyon İndeksi), IBI (İndeks Tabanlı Yapılaşma İndeksi), NDBI ve MNDWI (Modifiye Edilmiş NDWI) gibi indekslerden faydalanarak İstanbul kenti için arazi örtüsü/kullanımını kantitatif olarak ifade etmeye çalışmış ve AYS ile ilişkisini irdelemiştir. Söz konusu çalışmada kurulan çoklu-regresyon modelinde; SAVI, MNDWI ve IBI indeksleri ile AYS arasındaki R^2 düzeyinin 0.81 seviğinde olduğu ortaya koyulmuştur. Çalışmada kullanılan IBI indeksi kullanıcı tarafından belirlenen bir parametre ve diğer üç indeks değerinin yardımı ile hesaplanmaktadır. Bu durum IBI indeksin farklı bölgelerde kullanılması esnasında farklı parametre ile farklı sonuçlar ortaya çıkabilecektir. İfade edilen modelleme yaklaşımı sadece İstanbul kentinde denenmiş olasından ötürü bu argüman denetlenememektedir. Yüzey KIA etkisinin modellenmesine yönelik çalışmalarda yukarıda ifade edilen indeks tabanlı yaklaşımların kullanılması; sadece arazi örtüsü/kullanım durumunun veya belli arazi örtüsü türlerinin göz önünde bulundurulması sebebiyle KIA etkisini açıklamada sınırlı kalmaktadır. Ayrıca söz konusu indekslerin çeşitli spektral bant değerleri üzerinden oransal yaklaşımlar kullanılarak hesaplanması sebebiyle aralarında oldukça yüksek düzeyde korelasyon meydana gelebilmektedir. Bu durum özellikle çok boyutlu regresyon modellerinin performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu çalışmada önerilen yaklaşımda doğrudan sınıflandırma süreci sonrasında elde edilen 4 temel arazi örtüsü/kullanım verileri yardımıyla; KGY, BÖ, ÇTTA ve S yoğunlukları hesaplanmıştır. Birbirlerinden tamamen farklı karakteristik özelliklere sahip bu temel sınıflar birbirleriyle oldukça düşük seviyede korelasyona sahip oluşlarının yanı sıra tüm arazi örtüsü/kullanım durumlarını kapsayabilmektedir. Ayrıca çalışmada yüzey KIA modelleme sürecinde arazi örtüsü/kullanım durumu dışında KIA oluşumunda potansiyel olarak etkin olabilecek çeşitli topografik ve sosyo-ekonomik faktörlerde analiz edilerek etki düzeyleri araştırılmıştır. Çalışmada İstanbul 1-Asya ve 2-Avrupa alt çalışma bölgelerinde 2011 periyodu için kurulan çok boyutlu regresyon modellerinde R^2 düzeyi sırasıyla 0.92 ve 0.89 olarak tespit edilmiştir. Modelde arazi örtüsü/kullanımına ilişkin KGY, BÖ, ÇTTA değişkenlerin yanı sıra SYM ve OBY değişkenlerinin de yüzey KIA etkisinin oluşumunda etkin olduğu ortaya koyulmuştur. Bu durum, İstanbul çalışma bölgesindeki yoğun kentleşme ve sanayileşme faaliyetlerinin KIA oluşumu üzerinde önemli oranda etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

(Karaca vd., 1995b; Kuşçu ve Şengezer, 2011; Dihkan vd., 2015). Ankara kentsel çalışma bölgesinde 2011 periyodunda gündüz döneminde yüzey KIA varlığı tespit edilememesinden dolayı gece döneminde oluşan yüzey KIA etkisinin modellenmesine yönelik regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda; KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET faktörlerinin kombinasyonu ile elde edilen çoklu-regresyon modeli ile maksimum R^2 düzeyi 0.27 olarak belirlenmiştir. İlişki düzeyinin oldukça düşük olması kentte yüzey KIA oluşumunun kentsel bölgeye ilişkin faktörlerden çok kırsal bölge arazi örtüsüne bağlı oluşundan kaynaklanmaktadır. Bu sebeple kentsel bölgede seçilen örnek noktalar ile kurulan çoklu regresyon modeli yüzey KIA oluşumunu açıklayamamaktadır. Bu durum Çiçek vd. (2013) çalışmasında Ankara kenti için elde edilen bulgular ile tamamen örtüşmektedir. Bu çalışmada İzmir kentinde yüzey KIA etkisinin modellenmesi amacıyla yapılan analizlerde; İzmir 1-Güney, 2-Kuzey ve 3-Doğu alt çalışma bölgeleri için kurulan çoklu regresyon modellerinde KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET faktörlerinin yüzey KIA oluşumunu en yüksek düzeyde (R^2 düzeyi sırasıyla; 0.60, 0.54 ve 0.52) açıklayabildiği tespit edilmiştir. Bu durum İzmir kentsel çalışma bölgesinde meydana gelen yüzey KIA etkisinin çeşitli insan kaynaklı aktivitelere ve bu aktiviteler sonucunda kentsel yüzeylerde meydana gelen değişimlere bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. İzmir kenti ile aynı iklim kuşağı içerisinde bulunan Bursa kentinde tespit edilen yoğun yüzey KIA etkisine neden olan faktörlerin belirlenebilmesi için yapılan analizlerde; KGY, ÇTTA, BÖ, SYM, OBY ve EET değişkenlerinin çoklu regresyon modeline anlamlı (R^2 düzeyi 0.69) katkıları olduğu belirlenmiştir. İzmir ve Bursa kentlerinde Yüzey KIA etkisini açıklayan değişkenler incelendiğinde; aşırı göç alma, plansız kentleşme ve yoğun sanayileşme faaliyetleri gibi insan kaynaklı aktivitelere ilişkin faktörlerin KIA oluşum sürecinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Literatürde söz konusu kentler için yapılan araştırmalarda da bu tür insan kaynaklı aktivitelerin KIA oluşumunda etkin olduğu ifade edilmektedir (Acar, 2005; Tanrikulu, 2006). Trabzon kentsel çalışma bölgesinde yapılan çoklu regresyon analizlerinde; KGY, ÇTTA, BÖ, SYM, OBY ve EET değişkenleri ile kurulan çoklu regresyon modelinin yüzey KIA etkisini 0.63 R^2 düzeyinde açıklayabildiği tespit edilmiştir. Bu durum Trabzon kentinin etkisi altında olduğu yağışlı ve nemli iklim kuşağı sayesinde kırsal bölgelerde oluşan yüksek vejetasyon yoğunluğunun yüzeydeki gizli ısı kaybını artırarak AYS değerlerinin kentsel yüzeylere oranla düşük seviyelerde kalmasına neden olmaktadır. Kentsel bölgede; kentin engebeli topografyasının da etkisiyle bina yoğunluğunun ve bina yüksekliklerinin fazla oluşu, kentsel yüzeylerin büyük bölümünün

beton veya asfalt gibi geçirimsiz materyaller ile kaplanmış oluşu ve eğimli kent topografyasının suyun hızla drene edilmesine olanak sağlaması, kentsel bölge içinde BÖ ile kaplı yüzeylerin oldukça az oluşu gibi sebeplerden dolayı kırsala oranla yüksek AYS değerleri ortaya çıkmaktadır. Trabzon kentsel çalışma bölgesinde kentsel ve kırsal yüzeylere ilişkin AYS değerlerinde meydana gelen bu farklılık yüzey KIA etkisini meydana getirmektedir. Gaziantep kentsel çalışma bölgesinde Ankara kenti ile benzer biçimde gündüz dönemi yüzey KIA varlığı tespit edilememesinden dolayı 2012 gece döneminde oluşan yüzey KIA etkisinin modellenmesine yönelik regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda; KGY, ÇTTA, SYM, OBY ve EET faktörlerinin kombinasyonu ile elde edilen çoklu-regresyon modeli ile maksimum R^2 düzeyi 0.20 olarak belirlenmiştir. İlişki düzeyinin oldukça düşük olması kentte Ankara kenti ile benzer biçimde yüzey KIA oluşumunun kentsel bölgeye ilişkin faktörlerden çok kırsal bölge arazi örtüsüne bağlı oluşundan kaynaklanmaktadır. Bu sebeple kentsel bölgede seçilen örnek noktalar ile kurulan çoklu regresyon modeli Ankara kentinde olduğu gibi Gaziantep kentinde de yüzey KIA oluşumunu açıklayamamaktadır. Bu çalışmada seçilen kentsel çalışma bölgeleri arasında en soğuk iklim karakterine sahip Erzurum kentinde yüzey KIA etkisinin modellenmesine yönelik olarak yapılan analizlerde; KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET değişkenler kombinasyonu ile oluşturulan regresyon modelinin R^2 düzeyi 0.66 olarak belirlenmiştir. Bu durum Erzurum kentinde yaz ve bahar aylarında gündüz döneminde oluşan yüzey KIA etkisinin; kentsel bölgedeki geçirimsiz yüzeylerin yüksek ısı tutma kapasitesine, kentsel geometriye, kentsel bölgenin değişken topografyasına, kent içinde bulunan ağaçlıkların ve park alanlarının evapotranspirasyon düzeyine bağlı olarak değişmekte olduğunu ortaya koymuştur. Literatürde yapılmış çeşitli araştırmalarda da Erzurum kenti ile kırsal bölgeleri arasında meydana gelen iklimsel farklılıkların ve KIA etkisinin yukarıda ifade edilen faktörler ile ilişkili olduğu ortaya koyulmuştur (Yılmaz vd., 2007; Dursun ve Yavas, 2015).

Çalışmada son aşamada ise tüm kentsel çalışma bölgelerinde gece döneminde mobil transekt geçiş tekniği kullanılarak atmosferik KIA etkisinin varlığı araştırılmıştır. Söz konusu teknik sayesinde araştırmanın yapıldığı 7 kentte; sabit istasyon sayısının yeterli olmaması, uygun konumlarda sabit istasyon bulunmaması ve mevcut sabit istasyonlardan istenilen kalitede veri elde edilememesi gibi sorunlar düşük maliyetli bir biçimde çözülebilmektedir. Bu aşamada atmosferik KIA etkisinin en yüksek yoğunluğa ulaştığı kış mevsiminde gece saatlerinde elde edilen atmosferik sıcaklık verileri kullanılarak

atmosferik KIA yoğunlukları hesaplanmıştır. Sonuç olarak çalışmada literatürle tutarlı biçimde; İstanbul (Karaca vd., 1995a; 1995b), Ankara (Karaca vd., 1995b), İzmir (Tayanc ve Toros, 1997; Acar, 2005), Bursa (Tayanc ve Toros, 1997; Tanrikulu, 2006), Trabzon, Gaziantep (Tayanc ve Toros, 1997; Kidnap vd., 2012) ve Erzurum (Yılmaz vd., 2007) kentsel çalışma bölgelerinin tamamında atmosferik KIA etkisi belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinde bulunan; İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Trabzon, Gaziantep ve Erzurum kentlerinde; yüzey KIA etkisini UA teknikleri yardımı ile tespit ve karakterize edebilecek bir yaklaşım geliştirilmiş, 1984 - 2011 tarihleri arasında yüzey KIA etkisinin zamansal değişim süreci irdelenmiş, yüzey KIA etkisi modellenmiş ve atmosferik KIA etkisi ortaya koyulmuştur. Çalışmanın amaçları doğrultusunda gerçekleştirilmiş olan bu aşamalara ilişkin elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Çalışmada Streutker (2002) ve (2003) tarafından geliştirilen yaklaşım iyileştirilip otomatize edilerek kullanılmıştır. Bu süreçte algoritma iteratif hale getirilmiş ve en küçük kareler gauss yüzey fit işlemi ile eş zamanlı yüzey yumuşatma operasyonu uygulanarak elde edilen yüzey KIA parametrelerinin *NT* yüzeyini temsil gücü arttırılmıştır. Ayrıca algoritmaya ilave edilen otomatik kara, deniz ve bulut maskeleyme algoritmaları sayesinde yaklaşımın kullanıcıya bağımlılığı minimum düzeye indirgenmiştir.

Çalışmada önerilen yaklaşım kullanılarak İstanbul kentinde yapılan analizler sonucunda 1984-2011 tarihleri arasında seçilen periyotlarda; İstanbul 1-Asya alt çalışma bölgesinde 1984 ve 1987 dışındaki tüm periyotlarda, İstanbul 2-Avrupa alt çalışma bölgesinde ise 1984 dışındaki tüm periyotlarda gündüz döneminde yüzey KIA etkisi tespit edilmiştir. Zamansal değişim süreci irdelendiğinde 2011 periyoduna yaklaştıkça kentte yüzey KIA etkisinin şiddetinin ve konumsal kapsamının arttığı belirlenmiştir. İstanbul kentinde gece dönemi için yapılan analizlerde ise ilgili periyotlarda yüzey KIA varlığı tespit edilememiştir (Tablo 32).

Tablo 32. Yüzey KIA analiz sonuçları

Kent	Gündüz	Gece
İstanbul	✓	
Ankara		✓
İzmir	✓	
Bursa	✓	✓
Trabzon	✓	
Gaziantep		✓
Erzurum	✓	

Çalışmada önerilen yaklaşım kullanılarak Ankara kentsel çalışma bölgesinde gündüz döneminde seçilen periyotların hiçbirinde yüzey KIA etkisi tespit edilememiştir. Bununla birlikte Ankara kentinde gece dönemi sadece 2011 periyodunda yüzey KIA varlığı tespit edilmiştir (Tablo 32).

Önerilen yaklaşımın İzmir 1 – Güney, 2 – Kuzey ve 3 – Doğu alt çalışma bölgelerinde uygulanması sonucunda 1984 – 2011 tarihleri arasında çeşitli periyotlarda yüzey KIA varlığı tespit edilmiştir. Kentte yüzey KIA etkisinin zamansal değişim süreci irdelendiğinde 2000 yılı sonrasındaki periyotlarda genel olarak yüzey KIA şiddetinde ve konumsal kapsamında artış olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 32).

Bursa kentsel çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizlerde 1984 – 2011 tarihleri arasında tüm periyotlarda gündüz dönemi yüzey KIA etkisinin mevcut olduğu belirlenmiştir. Kentte yüzey KIA etkisinin zamansal değişimi incelendiğinde; genel olarak yüzey KIA yoğunluklarının ve konumsal yayılımının 2011 yılına doğru artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Bursa kentinde önerilen yaklaşım ile gece dönemi 2005 ve 2011 periyotlarında da yüzey KIA etkisi tespit edilmiş olup bu süreçte de gündüz dönemi ile benzer biçimde yüzey KIA etkisinin zamansal değişim trendinin artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Tablo 32).

Trabzon kentsel çalışma bölgesinde yapılan analizler sonucunda 1984 – 2011 periyotları tarihleri arasında seçilen tüm periyotlarda gündüz dönemi yüzey KIA etkisi tespit edilmiştir. Kentte yüzey KIA etkisinin zamansal değişim süreci irdelendiğinde ise 1984 ile 2011 tarihleri arasında konumsal kapsamının önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Trabzon kentinde gece dönemine ilişkin yapılan analizlerde herhangi bir periyotta yüzey KIA etkisi tespit edilememiştir (Tablo 32).

Gaziantep kentsel çalışma bölgesinde önerilen yaklaşım kullanılarak yapılan analizler sonucunda 1984 – 2011 arası gündüz dönemine ilişkin seçilen periyotların hiçbirinde yüzey KIA varlığı tespit edilememiştir. Bununla birlikte Gaziantep kentinde 2012 periyodunda gece dönemi yüzey KIA etkisi tespit edilmiş olup konumsal kapsam olarak kentin küçük bir bölümünde etkili olduğu belirlenmiştir. Gaziantep kentinde yüzey KIA oluşum durumu incelendiğinde Ankara kenti ile benzer dönemlerde meydana geldiği ve benzer faktörlerden etkilendiği tespit edilmiştir (Tablo 32).

Erzurum kentsel çalışma bölgesinde yapılan analizler sonucunda 1984 – 2011 tarihleri arasında 2007, 2009 ve 2011 periyotlarında gündüz dönemi yüzey KIA etkisi belirlenmiştir. Kentte yüzey KIA gelişimi zamansal olarak irdelendiğinde 2007 – 2011

zaman aralığında yüzey KIA şiddetinin ve konumsal yayılımının artış eğiliminde olduğu saptanmıştır. Bununla birlikte Erzurum kentinde gece dönemi yüzey KIA varlığı tespit edilememiştir (Tablo 32).

Çalışmada modelleme aşamasında tüm veri setleri değerlendirilerek seçilen bir periyotta yüzey KIA etkisi olması beklenen 8 potansiyel faktör (KGY, BÖ, ÇTTA, S, SYM, OBY, NY ve EET) analiz edilmiş ve her bir kentsel çalışma bölgesinde yüzey KIA oluşumunu açıklayabilen OLS çoklu regresyon modelleri geliştirilmiştir. İstatistiksel analiz sürecinde uygulanan iteratif iki aşamalı yaklaşım sayesinde ifade edilen faktörlerin farklı kombinasyonlarının performansları irdelenerek her kentsel çalışma bölgesi için en başarılı model tespit edilmiştir. Bu aşamada yapılan analizler sonucunda:

İstanbul kentsel çalışma bölgesinde; KGY, BÖ, ÇTTA, SYM ve OBY faktör kombinasyonları ile oluşturulan çoklu regresyon modelinin yüzey KIA etkisini İstanbul 1-Asya alt çalışma bölgesi için 0.92, İstanbul 2 - Avrupa alt çalışma bölgesi için ise 0.89 R^2 düzeyinde açıkladığı tespit edilmiştir.

Ankara kentsel çalışma bölgesinde; KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET faktörleri kullanılarak oluşturulan çoklu regresyon modelinin yüzey KIA etkisini 0.27 R^2 düzeyinde açıkladığı tespit edilmiştir.

İzmir kentsel çalışma bölgesinde; KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET faktör kombinasyonları ile oluşturulan çoklu regresyon modelinin yüzey KIA etkisini, İzmir 1 - Güney alt çalışma bölgesi için 0.62, İzmir 2 - Kuzey alt çalışma bölgesi için 0.56 R^2 ve İzmir 3 - Doğu alt çalışma bölgesi için 0.54 düzeyinde açıkladığı tespit edilmiştir.

Bursa kentsel çalışma bölgesinde; KGY, ÇTTA, SYM, OBY ve EET faktörleri kullanılarak oluşturulan çoklu regresyon modelinin yüzey KIA etkisini 0.69 R^2 düzeyinde açıkladığı tespit edilmiştir.

Trabzon kentsel çalışma bölgesinde; KGY, BÖ, ÇTTA, SYM, OBY ve EET faktörleri kullanılarak oluşturulan çoklu regresyon modelinin yüzey KIA etkisini 0.65 R^2 düzeyinde açıkladığı tespit edilmiştir.

Gaziantep kentsel çalışma bölgesinde; KGY, ÇTTA, SYM, OBY ve EET faktörleri kullanılarak oluşturulan çoklu regresyon modelinin yüzey KIA etkisini 0.20 R^2 düzeyinde açıkladığı tespit edilmiştir.

Erzurum kentsel çalışma bölgesinde; KGY, BÖ, SYM, OBY ve EET faktörleri kullanılarak oluşturulan çoklu regresyon modelinin yüzey KIA etkisini 0.66 R^2 düzeyinde açıkladığı tespit edilmiştir.

Çalışmada yüzey KIA etkisinin modellenmesi aşamasında elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde; arazi örtüsü/kullanımına ilişkin KGY, BÖ ve ÇTTA faktörlerinin, kentsel geometriye ilişkin OBY faktörünün, topografyaya ilişkin SYM faktörünün, kentin sosyo-ekonomik yapısına ilişkin EET faktörünün kentsel çalışma bölgelerinde yüzey KIA oluşumunda etkin olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte tüm çalışma bölgelerinde kurulan OLS çoklu regresyon modellerinde S ve NY faktörlerinin istatistiksel olarak yüzey KIA yoğunluklarına anlamlı katkı sağlamadığı belirlenmiştir.

Çalışmanın son aşamasında kentsel çalışma bölgelerinde atmosferik KIA etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla gece döneminde mobil transekt geçiş tekniği kullanılarak yapılan atmosferik sıcaklık gözlemleri ve bu gözlemler üzerinde yapılan analizler sonucunda tüm kentsel çalışma bölgelerinde atmosferik KIA etkisinin mevcut olduğu tespit edilmiştir.

6. ÖNERİLER

Hiç şüphesiz günümüzde lokal ve bölgesel iklim değişimi denildiğinde ilk akla gelen KIA olgusudur. Kentsel ortamda insan kaynaklı etkiler sonucunda meydana gelen bu kavramın Dünya’da birçok kentte insan sağlığı, çevre ve ekonomi üzerindeki etkileri önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu araştırmalarda KIA etkisi altındaki kentlerde ekolojik açıdan sürdürülebilir bir çevre meydana getirebilmek amacıyla KIA etkisine neden olan kentleşme faaliyetleri incelenmiş ve bu etkiyi azaltıcı çeşitli öneriler getirilmiştir.

Türkiye’de son yüzyılda hızla artan nüfus ve sanayileşen kent merkezlerine yoğun göç hareketi, plansız kentleşme faaliyetlerini de beraberinde getirmiştir. Bu durum kentsel arazi örtüsü/kullanımının ve kent geometrisinin insan kaynaklı olarak değiştirilmesine yol açarken aynı zamanda mikro ölçekte kent iklimini etkileyerek KIA etkisinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada Türkiye’de 7 kentsel çalışma bölgesinde KIA etkisinin varlığının, zamansal değişiminin ve oluşumuna sebep olan faktörlerin belirlenmesi amacıyla çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir.

Türkiye’de farklı iklim karakterine sahip coğrafi bölgelerde bulunan büyük kent merkezlerinde yapılan bu çalışma, Türkiye genelindeki tüm kentsel bölgelerde KIA etkisinin mevcut olma ihtimalinin oldukça yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu sebeple;

- Kentsel planlama ve peyzaj çalışmalarında bu etki mutlaka göz önünde bulundurularak kentlerin iklimine, coğrafi konumuna ve topografyasına uygun KIA etkisinin oluşmasına neden olmayacak tasarımlar yapılmalıdır.
- KIA etkisinin tespit edildiği kentsel bölgelerde, bu etkinin azaltılmasına yönelik önlemler mutlaka alınmalıdır. Bu amaçla kentsel bölgelerde çevre ve yüzey sıcaklıklarını önemli oranda düşürebilme kabiliyetine sahip yeşil örtü elemanları planlama ilkelerine uygun olarak kullanılmalıdır.
- KIA etkisi altındaki kentsel bölgelerde yeşil örtü elemanları yardımıyla yüzeyde oluşturulan katman sayesinde solar radyasyonun bina yüzeylerine yüksek yoğunlukta ulaşması engellenerek yüzeylerdeki net radyasyon miktarı azaltılmalıdır. Bu amaçla kentsel peyzaj tasarımlarında; bina, viyadük ve köprü gibi yapıların yüzeylerinin yeşil duvarlar ile kaplanması ve binalarda çatı bahçeleri gibi tekniklerin kullanılması önemlidir.

- Kentsel bölgelerde yeşil yol planlamaları yapılarak KIA etkisi azaltılmaya çalışılmalıdır. Bu sayede hem kentte yaşayanlar için de rekreasyonel olanaklar sağlanmış olacak, hem de yeşil yollarla kent içinde hava koridorları oluşturulması sayesinde meydana gelen hava sirkülasyonu yardımıyla kentsel yüzeylerin soğuma kapasitesi arttırılabilecektir.
- Mimari açıdan kentsel bölgelerin tasarımında KIA etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Tasarım sürecinde; hava koridorları açık tutulmalı, bina cephelerinin yönüne, tasarımlarda su elamanının kullanımına ve seçilen bina cephe kaplamalarının ısı tutucu özelliklerde olmamasına dikkat edilmelidir.

Bu çalışmada uygulanan yöntemler ve elde edilen bulgular sayesinde kent yöneticileri ve karar vericiler kentsel bölgelerde meydana gelen KIA etkisinin toplum sağlığı ve enerji verimliliği üzerinde meydana getirebileceği olumsuzluklara karşı öncül stratejiler geliştirebileceklerdir. Ayrıca gelecekte yapılacak çalışmalarda özellikle yüzey KIA etkisi; çok zamanlı ve farklı sensörce elde edilmiş yüksek zamansal/spektral çözünürlüklü veri setlerinin önerilen yaklaşımda kullanılması ve çeşitli arazi örtüsü/kullanım simülasyon modelleri ile bölgesel iklim modellerinin yöntemle entegre edilmesi sayesinde daha başarılı bir biçimde açıklanabilecektir.

7. KAYNAKLAR

- Acar, D., 2005. Bursa’da Şehirleşmenin Yağış ve Sıcaklık Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ackerman, B., 1985. Temporal March of the Chicago Heat Island, Journal of Climate and Applied Meteorology, 24, 547-554.
- Alcoforado, M.J. ve Andrade, H., 2006. Nocturnal Urban Heat Island in Lisbon (Portugal): Main Features and Modelling Attempts, Theoretical and Applied Climatology, 84, 1-3, 151-159.
- Angevine, W.M., White, A.B., Senff, C.J., Trainer, M., Banta, R.M. ve Ayoub, M.A., 2003. Urban-Rural Contrasts in Mixing Height and Cloudiness Over Nashville in 1999, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108, D3.
- Anniballe, R., Bonafoni, S. ve Pichierri, M., 2014. Spatial and Temporal Trends of The Surface and Air Heat Island Over Milan Using MODIS Data, Remote Sensing of Environment, 150, 163-171.
- Arnfield, A.J., 1990. Street Design and Urban Canyon Solar Access, Energy and Buildings, 14, 117-131.
- Arnfield, A.J. ve Grimmond, C.S.B., 1998. An Urban Canyon Energy Budget Model and Its Application to Urban Storage Heat Flux Modeling, Energy and Buildings, 27, 61-68.
- Arnfield, A.J., 2000. A Simple Model of Urban Canyon Energy Budget and Its Validation, Physical Geography, 21, 305-326.
- Arnfield, A.J., 2003. Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island, Int. J. Climatol., 23, 1-26.
- Asaeda, T. ve Ca, V.T., 1993. The Subsurface Transport of Heat and Moisture and Its Effect on the Environment: A Numerical Model, Boundary-Layer Meteorology 65, 159-179.
- Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümeghy, Z., Geiger, J. ve Szegedi, S., 2009. Simulation of The Mean Urban Heat Island Using 2D Surface Parameters: Empirical Modelling, Verification and Extension, Meteorological Applications, 16, 3, 275-287.
- Balçık, F.B., 2014. Determining The Impact of Urban Components on Land Surface Temperature of Istanbul By Using Remote Sensing Indices, Environmental Monitoring and Assessment, 186, 2, 859-872.
- Barring, L., Mattsson, J.O. ve Lindqvist, S., 1985. Canyon Geometry, Street Temperatures and Urban Heat Island in Malmö, Sweden, Journal of Climatology, 5, 4, 433-444.

- Barsi, J.A., Barker, J.L. ve Schott, J.R., 2003. An Atmospheric Correction Parameter Calculator For A Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument, In Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International, 5, 3014-3016.
- Becker, F. ve Li, Z.L., 1990. Towards A Local Split Window Method Over Land Surfaces, Remote Sensing, 11, 3, 369-393.
- Berk, A., Bernstein, L.S. ve Robertson, D.C., 1989. MODTRAN: A Moderate Resolution Model For LOWTRAN 7, Final Report, GL-TR-0122, AFGL, Hanscomb AFB, MA, 42s.
- Bosselmann, P., Arens, E., Dunker, K. ve Wright, R., 1995. Urban Form and Climate: Case Study, Toronto, Journal of the American Planning Association, 61, 2, 226-239.
- Bornstein, R.D., 1968. Observations of The Urban Heat Island Effect In New York City, Journal of Applied Meteorology, 7, 4, 575-582.
- Bornstein, R.D., 1975. The Two-Dimensional URBMET Urban Boundary Layer Model, Journal of Applied Meteorology, 14, 8, 1459-1477.
- Boser, B.E., Guyon, I.M. ve Vapnik, V., 1992. A Training Algorithm for Optimal Margin Classifiers In Proceedings of the 5th Annual Workshop on Computational Learning Theory, 144-152. Pittsburgh, PA: ACM Press.
- Ca, V.T., Asaeda, T. ve Abu, E.M., 1998. Reductions in Air Conditioning Energy Caused By A Nearby Park, Energy and Buildings, 29, 83-92.
- Carlson, T.N. ve Arthur, S.T., 2000. The Impact of Land Use-Land Cover Changes Due To Urbanization on Surface Microclimate and Hydrology: A Satellite Perspective, Global and Planetary Change, 25, 1, 49-65.
- Cai, G., Du, M. ve Xue, Y., 2011. Monitoring of Urban Heat Island Effect In Beijing Combining ASTER and TM Data, International Journal of Remote Sensing, 32, 5, 1213-1232.
- Chander, G. ve Markham, B., 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, 11, 2674-2677.
- Chander, G., Markham, B.L. ve Helder, D.L., 2009. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors, Remote Sensing of Environment, 113, 893-903.
- Chen, X.L., Zhao, H.M., Li, P.X. ve Yin, Z.Y., 2006. Remote Sensing Image-Based Analysis of The Relationship Between Urban Heat Island and Land Use/Cover Changes, Remote Sensing of Environment, 104, 2, 133-146.

- Chen, F., Yang, X. ve Zhu, W., 2014. WRF Simulations of Urban Heat Island Under Hot-Weather Synoptic Conditions: The Case Study of Hangzhou City, China. Atmospheric Research, 138, 364-377.
- Chang, C.H. ve Goh, K.C., 1999. The Relationship Between Height to Width Ratios and The Heat Island Intensity at 22 : 00 h for Singapore, International Journal of Climatology, 19, 1011-1023.
- Chudnovsky, A., Ben-Dor, E. ve Saaroni, H., 2004. Diurnal Thermal Behavior of Selected Urban Objects Using Remote Sensing Measurements, Energy and Buildings, 36, 1063-1074.
- Chun, B. ve Guldmann, J.M., 2014. Spatial Statistical Analysis and Simulation of The Urban Heat Island in High-Density Central Cities, Landscape and Urban Planning, 125, 76-88.
- Cleugh, H.A. ve Grimmond, C.S.B., 2001. Modelling Regional Scale Surface Energy Exchanges and CBL Growth in A Heterogeneous, Urban-Rural Landscape, Boundary-Layer Meteorology, 98, 1, 1-31.
- Cristóbal, J., Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Ninyerola, M. ve Pons, X., 2009. Improvements in Land Surface Temperature Retrieval From The Landsat Series Thermal Band Using Water Vapor and Air Temperature, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114, D8.
- Cortes, C. ve Vapnik, V., 1995. Support-Vector Networks, Machine Learning, 20, 3, 273-297.
- Corumluoglu, O. ve Asri, I., 2014. The Effect of Urban Heat Island on Izmir's City Ecosystem and Climate, Environmental Science and Pollution Research, 22, 5, 3202-3211.
- Çiçek, İ., Yılmaz, E., Türkoğlu, N. ve Çalışkan, O., 2013. Seasonal Variation of Surface Temperature Based on Land Cover In Ankara Ankara, International Journal of Human Sciences, 10, 1, 621-640.
- Dihkan, M., Guneroglu, N., Karsli, F. ve Guneroglu, A., 2013. Remote Sensing of Tea Plantations Using An SVM Classifier and Pattern-Based Accuracy Assessment Technique, International Journal of Remote Sensing, 34, 23, 8549-8565.
- Dihkan, M., Karsli, F., Guneroglu, A. ve Guneroglu, N., 2015. Evaluation of Surface Urban Heat Island (SUHI) Effect on Coastal Zone: The Case of Istanbul Megacity, Ocean & Coastal Management, doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.03.008.
- Dimoudi, A. ve Nikolopoulou, M., 2003. Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits, Energy and Buildings, 35, 1, 69-76.

- Dudhia, J., 1993. A Nonhydrostatic Version of The Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation Tests and Simulation of An Atlantic Cyclone and Cold Front, Monthly Weather Review, 121, 5, 1493-1513.
- Dursun, D. ve Yavas, M., 2015. Climate-Sensitive Urban Design in Cold Climate Zone: The City of Erzurum, Turkey, International Review For Spatial Planning and Sustainable Development, 3, 1, 17-38.
- Duro, D.C., Franklin, S.E. ve Dubé, M.G., 2012. A Comparison of Pixel-Based and Object-Based Image Analysis With Selected Machine Learning Algorithms For The Classification of Agricultural Landscapes Using SPOT-5 HRG Imagery, Remote Sensing of Environment, 118, 259-272.
- Eliasson, I., 1996. Urban Nocturnal Temperatures, Street Geometry and Land Use, Atmospheric Environment, 30, 3, 379-392.
- Emeis, S., Munkel, C., Vogt, S., Müller, W.J. ve Schäfer, K., 2004. Atmospheric Boundary-Layer Structure From Simultaneous SODAR, RASS, and Ceilometer Measurements, Atmospheric Environment, 38, 2, 273-286.
- Estournel, C., Vehil, R., Guedalia, D., Fontan J. ve Druilhet A., 1983. Observations and modeling of downward radiative fluxes (solar and infrared) in urban/rural areas. Journal of Climate and Applied Meteorology, 22, 134-142.
- Fan, H. ve Sailor, D.J., 2005. Modeling the Impacts of Anthropogenic Heating on the Urban Climate of Philadelphia: A Comparison of Implementations in Two PBL Schemes, Atmospheric Environment, 39, 1, 73-84.
- Foody, G.M. ve Mathur, A., 2004. A Relative Evaluation of Multiclass Image Classification By Support Vector Machines, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42, 6, 1335-1343.
- Franc, G.B. ve Cracknell, A. P., 1994. Retrieval of land and sea surface temperature using NOAA-11 AVHRR: data in north-eastern Brazil. International Journal of Remote Sensing, 15, 8, 1695-1712.
- Gillespie, A.R., 1986. Lithologic Mapping of Silicate Rocks Using TIMS, In: TIMS Data User's Workshop, 86, 38, 29-44.
- Gillespie, A., Rokugawa, S., Matsunaga, T., Cothorn, J.S., Hook, S. ve Kahle, A.B., 1998. A Temperature and Emissivity Separation Algorithm For Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 4, 1113-1126.
- Giridharan, R., Ganesan, S. ve Lau, S.S.Y., 2004. Daytime Urban Heat Island Effect in High-Rise and High-Density Residential Developments in Hong Kong, Energy and Buildings, 36, 525-534.

- Giridharan, R., Lau, S.S.Y., Ganesan, S. ve Givoni, B., 2007. Urban Design Factors Influencing Heat Island Intensity in High-Rise High-Density Environments of Hong Kong, Building and Environment, 42, 10, 3669-3684.
- Grimmond, C.S.B., 1988. An Evapotranspiration-Interception Model For Urban Areas, Phd Thesis, The Univeristy of British Columbia, Department of Geography, Vancouver, Canada.
- Grimmond, C.S.B. ve Oke, T.R., 1991. An evapotranspiration-interception model for urban areas, Water Resources Research, 27, 1739-1755.
- Grimmond, C.S.B., 2006. Progress In Measuring and Observing The Urban Atmosphere, Theoretical and Applied Climatology, 84, 1-3, 3-22.
- Heiple, S. ve Sailor, D.J., 2008. Using Building Energy Simulation and Geospatial Modeling Techniques to Determine High Resolution Building Sector Energy Consumption Profiles, Energy and Buildings, 40, 8, 1426-1436.
- Hogan, A.W. ve Ferrick, M.G., 1998. Observations in Nonurban Heat Islands, Journal of Applied Meteorology, 37, 2, 232-236.
- Howard, L., 1833. The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made at Different Places in the Neighbourhood of the Metropolis. In Two Volumes, 2 Cilt, London, 407 s.
- Ichinose, T., Shimodozono, K. ve Hanaki, K., 1999. Impact of Anthropogenic Heat on Urban Climate in Tokyo, Atmospheric Environment, 33, 24, 3897-3909.
- Irish, R.R., Barker, J.L., Goward, S.N. ve Arvidson, T., 2006. Characterization of The Landsat-7 ETM+ Automated Cloud-Cover Assessment (ACCA) Algorithm, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72, 10, 1179-1188.
- Jauregui, E. ve Luyando, E., 1999. Global Radiation Attenuation by Air Pollution and Its Effects on the Thermal Climate in Mexico City, International Journal of Climatology, 19, 6, 683-694.
- Jiménez-Muñoz, J.C. ve Sobrino, J.A., 2003. A Generalized Single-Channel Method For Retrieving Land Surface Temperature From Remote Sensing Data, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108, D22.
- Johnson, G.T., Oke, T.R., Lyons, T.J., Steyn, D.G., Watson, I.D. ve Voogt, J.A., 1991. Simulation of Surface Urban Heat Islands Under 'Ideal' Conditions At Night Part 1: Theory and Tests Against Field Data, Boundary-Layer Meteorology, 56, 3, 275-294.
- Kahle, A.B., Madura, D.P. ve Soha, J.M., 1980. Middle Infrared Multispectral Aircraft Scanner Data: Analysis For Geological Applications, Applied Optics, 19, 14, 2279-2290.

- Karaca, M., Tayanç, M. ve Toros, H., 1995b. Effects of Urbanization on Climate of Istanbul and Ankara, Atmospheric Environment, 29, 23, 3411-3421.
- Karaca, M., Anteplioğlu, Ü. ve Karsan, H., 1995a. Detection of Urban Heat Island In Istanbul, Turkey, IL Nuovo Cimento C, 18, 1, 49-55.
- Karsli, F., Guneroglu, A. ve Dihkan, M., 2011. Spatio-Temporal Shoreline Changes Along The Southern Black Sea Coastal Zone, Journal of Applied Remote Sensing, 5, 1, 053545-053545.
- Kaufman, Y.J., Wald, A.E., Remer, L.A., Gao, B.C., Li, R.R. ve Flynn, L., 1997. The MODIS 2.1-µm Channel-Correlation with Visible Reflectance For Use in Remote Sensing of Aerosol, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35, 5, 1286-1298.
- Kavzoglu, T. ve Colkesen, I., 2009. A Kernel Functions Analysis For Support Vector Machines For Land Cover Classification, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11, 5, 352-359.
- Kaya, S., Basar, U.G., Karaca, M. ve Seker, D.Z., 2012. Assessment of Urban Heat Islands Using Remotely Sensed Data, Ekoloji, 84, 107-113.
- Kealy, P.S. ve Gabell, A.R., 1990. Estimation of Emissivity and Temperature Using Alpha Coefficients, In Proc. 2nd TIMS Workshop, 90, 11-15.
- Khaikine, M.N., Kuznetsova, I.N., Kadygrov, E.N. ve Miller, E.A., 2006. Investigation of Temporal-Spatial Parameters of An Urban Heat Island on The Basis of Passive Microwave Remote Sensing, Theoretical and Applied Climatology, 84, 1-3, 161-169.
- Kidder, S.Q. ve Essenwanger, O.M., 1995. The Effect of Clouds and Wind on the Difference in Nocturnal Cooling Rates Between Urban and Rural Areas, Journal of Applied Meteorology, 34, 2440-2448.
- Kikegawa, Y., Genchi, Y., Yoshikado, H. ve Kondo, H., 2003. Development of A Numerical Simulation System Toward Comprehensive Assessments of Urban Warming Countermeasures Including Their Impacts Upon The Urban Buildings' Energy-Demands, Applied Energy, 76, 4, 449-466.
- Kim, Y.H. ve Baik, J.J., 2005. Spatial and Temporal Structure of the Urban Heat Island in Seoul, Journal of Applied Meteorology, 44, 591-605.
- Kindap, T., Unal, A., Ozdemir, H., Bozkurt, D., Turuncoglu, U. U., Demir, G., Tayanc, M. ve Karaca, M., 2012. Quantification of The Urban Heat Island Under a Changing Climate over Anatolian Peninsula, INTECH Open Access Publisher, <http://dx.doi.org/10.5772/51244>.
- Khan, S.M. ve Simpson, R.W., 2001. Effect of A Heat Island on The Meteorology of A Complex Urban Airshed, Boundary-Layer Meteorology, 100, 3, 487-506.

- Knerr, S., Personnaz, L. ve Dreyfus, G., 1990. Single-Layer Learning Revisited: A Stepwise Procedure For Building and Training Neural Network, *Neurocomputing: Algorithms, Architectures and Applications*, NATO ASI, Springer-Verlag, Berlin, 41-50.
- Kolev, I., Savov, P., Kaprielov, B., Parvanov, O. ve Simeonov, V., 2000. Lidar Observation of The Nocturnal Boundary Layer Formation Over Sofia, Bulgaria, *Atmospheric Environment*, 34, 19, 3223-3235.
- Kotchenova, S.Y., Vermote, E.F., Matarrese, R. ve Klemm, F., 2006. Validation of A New Vector Version of The 6S Radiative Transfer Code For Atmospheric Correction of MODIS Data: Part I - Path Radiance, *Applied Optics*, 45, 26, 6762-6774.
- Kuşçu, Ç. ve Şengezer, B., 2011. Determination of Heat Islands from Landsat TM Data: Relationship between Surface Temperature and Urbanization Factors in Istanbul, In: 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Sydney, Australia, 10-15 April 2011, (<http://www.isprs.org/proceedings/2011/isrse-34/211104015Final00211.pdf>, 12.11.2012).
- Kuttler, W., Barlag, A.B., ve Robmann, F., 1996. Study of The Thermal Structure of A Town in A Narrow Valley, *Atmospheric Environment*, 30, 3, 365-378.
- Landsberg, H.E., 1981. *The Urban Climate*, Academic Press, New York.
- Laszlo, E. ve Szegedi, S.A., 2011. Multivariate linear regression model of mean maximum urban heat island: a case study of Beregszász (Berehove), Ukraine, Idojaras (Budapest, 1905).
- Li, F., Jackson, T.J., Kustas, W.P., Schmugge, T.J., French, A.N., Cosh, M.H. ve Bindlish, R., 2004. Deriving Land Surface Temperature From Landsat 5 and 7 During SMEX02/SMACEX, *Remote Sensing of Environment*, 92, 4, 521-534.
- Li, Z., Becker, F., Stoll, M.P. ve Wan, Z., 1999. Evaluation of Six Methods For Extracting Relative Emissivity Spectra From Thermal Infrared Images, *Remote Sensing of Environment*, 69, 197-214.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. ve Chipman, J.W., 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation* (No. Ed. 5), John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, 763s.
- Livada, I., Santamouris, M., Niachou, K., Papanikolaou, N. ve Mihalakakou, G., 2002. Determination of Places in the Great Athens Area Where the Heat Island Effect Is Observed, *Theoretical and Applied Climatology*, 71, 3-4, 219 – 320.
- Lowry, W.P., 1977. Empirical Estimation of Urban Effects on Climate: A Problem Analysis, *Journal of Applied Meteorology*, 16, 2, 129-135.
- Magee, N., Curtis, J. ve Wendler G., 1999. The Urban Heat Island Effect at Fairbanks, Alaska, *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 39-47.

- Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, F., Gao, F., Kutler, J. ve Lim, T.K., 2012. LEDAPS Landsat Calibration, Reflectance, Atmospheric Correction Preprocessing Code. Model product. Available on-line [<http://daac.ornl.gov>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1080>.
- Mather, P.M. ve Tso, B., 2009. Classification Methods For Remotely Sensed Data, Second Edition, CRC Press Taylor and Francis, New York., 347s.
- Mather, P.M., 2004. Computer Processing of Remotely Sensed Data: An Introduction, Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, England, 324s.
- Mathur, A. ve Foody, G.M., 2008a. Multiclass and Binary SVM Classification: Implications For Training and Classification Users, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 5, 241-245.
- Mathur, A. ve Foody, G.M., 2008b. Crop Classification By Support Vector Machine With Intelligently Selected Training Data For An Operational Application, International Journal of Remote Sensing, 29, 8, 2227-2240.
- McPherson, E.G. ve Simpson, J.R., 2003. Potential Energy Savings in Buildings By An Urban Tree Planting Programme in California, Urban Forestry & Urban Greening, 2, 2, 73-86.
- Miao, S., Chen, F., LeMone, M.A., Tewari, M., Li, Q. ve Wang, Y., 2009. An Observational and Modeling Study of Characteristics of Urban Heat Island and Boundary Layer Structures in Beijing, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48, 3, 484-501.
- Montavez J.P., Rodriguez, A. ve Jimenez J.I., 2000. A Study of the Urban Heat Island of Granada, International Journal of Climatology, 20, 899 - 911.
- Monteith, J.L., 1973. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London.
- Moreno-Garcia, M.C., 1994. Intensity and Form of The Urban Heat Island in Barcelona., International Journal of Climatology, 14, 6, 705-710.
- Morris, C.J.G., Simmonds, I. ve Plummer, N., 2001. Quantification of The Influences of Wind and Cloud on The Nocturnal Urban Heat Island of A Large City, Journal of Applied Meteorology, 40, 2, 169-182.
- Nasrallah, H.A., Brazel, A.J. ve Balling, R.C., 1990. Analysis of The Kuwait City Urban Heat Island, International Journal of Climatology, 10, 4, 401-405.
- Nunez, M. ve Oke, T.R., 1977. The Energy Balance of An Urban Canyon, Journal of Applied Meteorology, 16, 11-19.

- Nunez, M. ve Oke, T.R., 1980. Modeling the Daytime Urban Surface Energy Balance, Geographical Analysis, 12, 371-386.
- Oke, T.R., 1973. City Size and The Urban Heat Island, Atmospheric Environment (1967), 7, 8, 769-779.
- Oke, T.R., 1981. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations, Journal of Climatology, 1, 3, 237-254.
- Oke, T.R., 1982. The Energetic Basis of the Urban Heat Island, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108, 1 - 24.
- Oke, T.R., 1984. Towards A Prescription For The Greater Use of Climatic Principles in Settlement Planning, Energy and Buildings, 7, 1, 1-10.
- Oke, T.R., 1987. Boundary Layer Climates, 2. Baskı, Methuen, 289s, London.
- Oke, T.R. ve Cleugh, H.A., 1987. Urban Heat Storage Derived As Energy Balance Residuals, Boundary-Layer Meteorology, 39, 233-245.
- Oke, T.R., Johnson, G.T., Steyn, D.G. ve Watson, I.D., 1991. Simulation of Surface Urban Heat Islands Under 'Ideal' Conditions At Night Part 2: Diagnosis of Causation, Boundary-Layer Meteorology, 56, 4, 339-358.
- Oke, T.R., 1995. The Heat Island of The Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects, in Wind climate in cities, 81-107, Springer, Netherlands.
- Oke, T.R., Spronken-Smith, R.A., J'auregui, E. ve Grimmond, C.S.B., 1999. The Energy Balance of Central Mexico City During the Dry Season, Atmospheric Environment, 33, 3919-3930.
- Pal, M. ve Mather, P. M., 2005. Support Vector Machines For Classification in Remote Sensing, International Journal of Remote Sensing, 26, 5, 1007-1011.
- Pielke, R.A., 2002. Mesoscale Meteorological Modeling, Second Edition, Academic Press, USA, 676s.
- Piringer, M. ve Baumann, K., 2001. Exploring The Urban Boundary Layer By Sodar and Tethersonde, Physics and Chemistry of the Earth Part B: Hydrology Oceans and Atmosphere, 26, 11, 881-885.
- Planck, M., 1959. The Theory of Heat Radiation, Courier Corporation.
- Prata, A.J., 1993. Land Surface Temperatures Derived From The Advanced Very High Resolution Radiometer and The Along-Track Scanning Radiometer: 1. Theory, Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 98, D9, 16689-16702.

- Prata, A.J., Caselles, V., Coll, C., Sobrino, J.A. ve Ottele, C., 1995. Thermal Remote Sensing of Land Surface Temperature From Satellites: Current Status and Future Prospects, Remote Sensing Reviews, 12, 3-4, 175-224.
- Price, J.C., 1983. Estimating Surface Temperatures From Satellite Thermal Infrared Data - A Simple Formulation For The Atmospheric Effect, Remote Sensing of Environment, 13, 4, 353-361.
- Qin, Z.H., Karnieli, A. ve Berliner, P., 2001. A Mono-Window Algorithm For Retrieving Land Surface Temperature From Landsat TM Data and Its Application to The Israel-Egypt Border Region, International Journal of Remote Sensing, 22, 18, 3719-3746.
- Rajasekar, U. ve Weng, Q., 2009. Spatio-Temporal Modelling and Analysis of Urban Heat Islands By Using Landsat TM and ETM+ Imagery, International Journal of Remote Sensing, 30, 13, 3531-3548.
- Rao, P.S., Gavane, A.G., Ankam, S.S., Ansari, M.F., Pandit, V.I. ve Nema, P., 2004. Performance Evaluation of A Green Belt in A Petroleum Refinery: A Case Study Ecological Engineering, 23, 2, 77-84.
- Rodgers, M.O. ve Stone B.J., 2001. Urban Form and Thermal Efficiency: How the Design of Cities Influences the Urban Heat Island Effect, Journal of the American Planning Association, 67, 2, 186-198.
- Roth, M., Oke, T.R. ve Emery, W.J., 1989. Satellite-Derived Urban Heat Islands From Three Coastal Cities and The Utilization of Such Data in Urban Climatology, International Journal of Remote Sensing, 10, 11, 1699-1720.
- Rouse, W.R., Noad, D. ve McCutcheon, J., 1973. Radiation, Temperature and Atmospheric Emissivities in A Polluted Urban Atmosphere at Hamilton, Ontario. Journal of Applied Meteorology, 12, 5, 798-807.
- Saaroni, H., Ben-Dor, E., Bitan, A. ve Potchter, O., 2000. Spatial Distribution and Microscale Characteristics of The Urban Heat Island in Tel-Aviv, Israel, Landscape and Urban Planning, 48, 1-2, 1-18.
- Sailor, D.J. ve Fan, H., 2002. Modeling the Diurnal Variability of Effective Albedo for Cities, Atmospheric Environment, 36, 713-725.
- Sailor, D.J. ve Lu, L., 2004. A Top-Down Methodology For Developing Diurnal and Seasonal Anthropogenic Heating Profiles For Urban Areas. Atmospheric Environment, 38, 17, 2737-2748.
- Sakakibara, Y., 1996. A Numerical Study of The Effect of Urban Geometry Upon The Surface Energy Budget, Atmospheric Environment, 30, 3, 487-496.

- Salamanca, F., Krpo, A., Martilli, A. ve Clappier, A., 2010. A New Building Energy Model Coupled With An Urban Canopy Parameterization For Urban Climate Simulations - Part I. Formulation, Verification, and Sensitivity Analysis of The Model, Theoretical and Applied Climatology, 99, 3-4, 331-344.
- Salamanca, F., Martilli, A. ve Yagüe, C., 2012. A Numerical Study of The Urban Heat Island Over Madrid During The DESIREX (2008) Campaign with WRF and An Evaluation of Simple Mitigation Strategies, International Journal of Climatology, 32, 15, 2372-2386.
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A. ve Assimakopoulos, D.N., 2001. On The Impact of Urban Climate on The Energy Consumption of Buildings, Solar Energy, 70, 3, 201-216.
- Schayes, G., Thunis, P. ve Bornstein, R., 1996. Topographic Vorticity-Mode Mesoscale-B (TVM) Model Part I: Formulation, Journal of Applied Meteorology, 35, 10, 1815-1823.
- Schmid, H.P., Cleugh, H.A., Grimmond, C.S.B. ve Oke, T.R., 1991. Spatial Variability of Energy Fluxes in Suburban Terrain, Boundary-Layer Meteorology, 54, 3, 249-276.
- Schott, J.R., 2007. Remote Sensing: The Image Chain Approach 2nd Edition, Oxford University Press, New York, 666s.
- Sellers, W.D., 1969. A Global Climatic Model Based on The Energy Balance of The Earth-Atmosphere System, Journal of Applied Meteorology, 8, 3, 392-400.
- Sherafati, S.A., Saradjian, M.R. ve Niazmardi, S., 2013. Urban Heat Island Growth Modeling Using Artificial Neural Networks and Support Vector Regression: A case study of Tehran, Iran, ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1, 3, 399-403.
- Shudo, H., Sugiyama, J., Yokoo, N. ve Oka, T., 1997. Study On Temperature Distribution Influenced by Various Land Uses, Energy and Buildings, 26, 199-205.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C. ve Paolini, L., 2004. Land Surface Temperature Retrieval From LANDSAT TM 5, Remote Sensing of Environment, 90, 4, 434-440.
- Sobrino, J.A., Oltra-Carrió, R., Sòria, G., Jiménez-Muñoz J.C., Franch, B., Hidalgo, V., Mattar, C., Julien, Y., Cuenca, J., Romaguera, M., Gómez, J.A., Miguel, E.D., Bianchi, R. ve Paganini, M., 2013. Evaluation of the Surface Urban Heat Island Effect in the City of Madrid by Thermal Remote Sensing, International Journal of Remote Sensing, 34, 9-10, 3177-3192.
- Spronken-Smith, R.A. ve Oke, T.R., 1998. The Thermal Regime of Urban Parks in Two Cities with Different Summer Climates, International Journal of Remote Sensing, 19, 11, 2085-2104.

- Stanhill, G. ve Kalma J.D., 1995. Solar Dimming and Urban Heating at Hong Kong, International Journal of Climatology, 15, 933-941.
- Streutker, D.R., 2002. A Remote Sensing Study of The Urban Heat Island of Houston, Texas, International Journal of Remote Sensing, 23, 13, 2595-2608.
- Streutker, D.R., 2003. Satellite-Measured Growth of the Urban Heat Island of Houston, Texas, Remote Sensing of Environment, 85, 282-289.
- Svensson, M., Eliasson, I. ve Holmer, B., 2002. A GIS Based Empirical Model to Simulate Air Temperature Variations in The Göteborg Urban Area During The Night, Climate Research, 22, 215-226.
- Swaid, H., 1993. Numerical Investigation Into The Influence of Geometry and Construction Materials on Urban Street Climate, Physical Geography, 14, 4, 342-358.
- Szymanowski, M. ve Kryza, M., 2012. Local Regression Models For Spatial Interpolation of Urban Heat Island-An Example From Wrocław, SW Poland, Theoretical and Applied Climatology, 108, 1-2, 53-71.
- Taha, H., 1997. Urban Climates and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration, and Anthropogenic Heat, Energy and Buildings, 25, 99-103.
- Taha, H., 2008. Urban Surface Modification As A Potential Ozone Air-Quality Improvement Strategy in California: A Mesoscale Modelling Study, Boundary-Layer Meteorology, 127, 2, 219-239.
- Tanre, D., Deroo, C., Duhaut, P., Herman, M., Morcrette, J.J., Perbos, J. ve Deschamps, P.Y., 1990. Technical Note Description of A Computer Code to Simulate The Satellite Signal in The Solar Spectrum: the 5S Code, International Journal of Remote Sensing, 11, 4, 659-668.
- Tanrıku, M., 2006. İzmir’de Şehirleşmenin Sıcaklığa Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Tapper, N.J., Tyson, P.D., Owens, I.F. ve Hastie, W.J., 1981. Modeling the Winter Urban Heat Island Over Christchurch, New Zealand, Journal of Applied Meteorology, 20, 365-376.
- Tapper, N.J., 1984. Prediction of The Downward Flux of Atmospheric Radiation in A Polluted Urban Environment, Australian Meteorological Magazine, 32, 2, 83-93.
- Tapper, N.J., 1990. Urban Influences on Boundary Layer Temperature and Humidity: Results From Christchurch, New Zealand, Atmospheric Environment Part B. Urban Atmosphere, 24, 1, 19-27.
- Tayanc, M. ve Toros, H., 1997. Urbanization Effects on Regional Climate Change In The Case of Four Large Cities of Turkey, Climatic Change, 35, 4, 501-524.

- Teillet, P.M. ve Fedosejevs, G., 1995. On the Dark Target Approach To Atmospheric Correction of Remotely Sensed Data, Canadian Journal of Remote Sensing, 21, 4, 374-387.
- Terjung, W.H. ve O'Rourke, P.A., 1980. Influences of Physical Structures on Urban Energy Budgets, Boundary-Layer Meteorology, 19, 421-439.
- Todhunter, P.E., 1990. Microclimatic variations Attributable to Urban-Canyon Asymmetry and Orientation, Physical Geography, 11, 2, 131-141.
- Tripoli, G.I. ve Cotton, R., 1982. The Colorado State University Three-Dimensional Cloud/Mesoscale Model-1981. Part I: General Theoretical Framework and Sensitivity Experiments, J. Rech. Atmos, 16, 185-219.
- TÜİK, 2013a. Seçilmiş Göstergelerle İstanbul 2013, Türkiye İstatistik Kurumu Yayın No, 4182, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 191s.
- TÜİK, 2013b. Seçilmiş Göstergelerle Ankara 2013, Türkiye İstatistik Kurumu Yayın No, 4226, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 176s.
- TÜİK, 2013c. Seçilmiş Göstergelerle İzmir 2013, Türkiye İstatistik Kurumu Yayın No, 4194, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 182s.
- TÜİK, 2013d. Seçilmiş Göstergelerle Bursa 2013, Türkiye İstatistik Kurumu Yayın No, 4210, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 174s.
- TÜİK, 2013e. Seçilmiş Göstergelerle Trabzon 2013, Türkiye İstatistik Kurumu Yayın No, 4284, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 176s.
- TÜİK, 2013f. Seçilmiş Göstergelerle Gaziantep 2013, Türkiye İstatistik Kurumu Yayın No, 4326, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 166s.
- TÜİK, 2013g. Seçilmiş Göstergelerle Erzurum 2013, Türkiye İstatistik Kurumu Yayın No, 4296, Türkiye İstatistik Kurumu Matbaası, Ankara, 183s.
- United Nations, 2014. Department of Economic and Social Affairs, Population Division World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352).
- Unger, J., Sümeghy, Z., Gulyás, Á., Bottyán, Z. ve Mucsi, L., 2001. Land-Use and Meteorological Aspects of The Urban Heat Island, Meteorological Applications, 8, 2, 189-194.
- Unger, J., 2006. Modelling of the Annual Mean Maximum Urban Heat Island Using 2D and 3D Surface Parameters, Climate Research, 30, 3, 215-226.
- URL-1, http://www.epa.gov/heatisld/resources/pdf/EPA_How_to_measure_a_UHI.pdf, Erişim tarihi: 24.04.2015.

- URL-2, <http://www.tandd.com/product/tr77ui/spec.html>, Erişim tarihi: 26.04.2015.
- URL-3, <http://www.usgs.gov/>, Erişim tarihi: 26.04.2015.
- URL-4, <http://rda.ucar.edu/>, Erişim tarihi: 26.04.2015.
- URL-5, <http://resources.arcgis.com/en/help/>, Erişim tarihi: 26.04.2015.
- Uysal, M. ve Polat, N., 2015. An Investigation of The Relationship Between Land Surface Temperatures and Biophysical Indices Retrieved From Landsat TM In Afyonkarahisar (Turkey), Tehnički Vjesnik, 22, 1, 177-181.
- Valor, E. ve Caselles, V., 1996. Mapping Land Surface Emissivity From NDVI: Application to European, African, and South American Areas, Remote Sensing of Environment, 57, 167-184.
- Vapnik, V.N., 2000. The Nature of Statistical Learning Theory. 2nd ed, Springer-Verlag, New York.
- Vermote, E.F., Tanré, D., Deuze, J.L., Herman, M. ve Morcette, J.J., 1997. Second Simulation of The Satellite Signal in The Solar Spectrum, 6S: An Overview, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35, 3, 675-686.
- Vicente-Serrano, S.M., Cuadrat, J.M. ve Sánchez, S., 2005. Spatial Patterns of The Urban Heat Island in Zaragoza (Spain), Climate Research, 30, 1, 61-69.
- Voogt, J.A. ve Oke, T.R., 1991. Validation of An Urban Canyon Radiation Model For Nocturnal Long-Wave Fluxes, Boundary-Layer Meteorology, 54, 347-361.
- Voogt, J.A. ve Oke, T.R., 1998. Effects of Urban Surface Geometry on Remotely-Sensed Surface Temperature, International Journal of Remote Sensing, 19, 5, 895-920.
- Voogt, J.A., 2000. Image Representations of Complete Urban Surface Temperatures, Geocarto International, 15, 3, 21-32.
- Voogt, J.A., ve Oke, T.R., 2003. Thermal Remote Sensing of Urban Climates, Remote Sensing of Environment, 86, 3, 370-384.
- Voogt, J., 2007. How Researchers Measure Urban Heat Islands. United States Environmental Protection Agency (EPA), State and Local Climate and Energy Program, Heat Island Effect, Urban Heat Island Webcasts and Conference Calls.
- Vukovich, F.M., Dunn III, J.W. ve Crissman, B.W., 1976. A Theoretical Study of The St. Louis Heat Island: The Wind and Temperature Distribution, Journal of Applied Meteorology, 15, 5, 417-440.
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q. ve Li, Z.L., 2002. Validation of the Land-Surface Temperature Products Retrieved From Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data, Remote Sensing of Environment, 83, 1, 163-180.

- Watson, K., 1992. Spectral Ratio Method For Measuring Emissivity, Remote Sensing of Environment, 42, 2, 113-116.
- Weng, Q., 2003. Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69, 5, 555-566.
- Weng, Q., Lu, D. ve Schubring, J., 2004. Estimation of Land Surface Temperature-Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies, Remote Sensing of Environment, 89, 467-483.
- Wooldridge, J.M., 2003. Introductory Econometrics: A Modern Approach, South-Western, Mason, Ohio.
- Yilmaz, S., Toy, S., Irmak, M.A. ve Yilmaz, H., 2007. Determination of Climatic Differences In Three Different Land Uses In The City of Erzurum, Turkey, Building and Environment, 42, 4, 1604-1612.
- Yilmaz, S., Toy, S., Yildiz, N. D. ve Yilmaz, H., 2009. Human Population Growth and Temperature Increase Along With The Increase In Urbanisation, Motor Vehicle Numbers and Green Area Amount In The Sample of Erzurum City, Turkey, Environmental Monitoring and Assessment, 148, 1-4, 205-213.
- Yoshikado, H., 1990. Vertical Structure of the Sea Breeze Penetrating Through A Large Urban Complex, Journal of Applied Meteorology, 29, 9, 878-891.
- Yoshikado, H., 1992. Numerical Study of The Daytime Urban Effect and Its Interaction with The Sea Breeze, Journal of Applied Meteorology, 31, 10, 1146-1164.
- Yuan, F. ve Bauer, M.E., 2007. Comparison of Impervious Surface Area and Normalized Difference Vegetation Index As Indicators of Surface Urban Heat Island Effects In Landsat Imagery, Remote Sensing of Environment, 106, 3, 375-386.
- Zhou, J., Chen, Y., Wang, J. ve Zhan, W., 2011. Maximum Nighttime Urban Heat Island (UHI) Intensity Simulation By Integrating Remotely Sensed Data and Meteorological Observations, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 4, 1, 138-146.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Trabzon’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimi aynı ilde tamamladı. 2003 – 2007 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Harita Mühendisliği anabilimdalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2010 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı ve aynı anabilimdalında doktora eğitimine başladı. 2012 – 2015 yılları arasında TÜBİTAK 112Y038’nolu araştırma projesinde Bursiyer olarak görev yaptı. Halen, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Yazar iyi düzeyde İngilizce bilmektedir.

Tezden Üretilmiş SCI kapsamındaki Makaleler:

Dihkan, M., Karsli, F., Guneroglu, A. ve Guneroglu, N., 2015. Evaluation of Surface Urban Heat Island (SUHI) Effect on Coastal Zone: The Case of Istanbul Megacity, Ocean & Coastal Management, doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.03.008.