

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİMLERİNİN KENTSEL ISI ADALARINA OLAN
ETKİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL OLARAK ARAŞTIRILMASI**



DOKTORA TEZİ

Bahadır ÇELİK

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİMLERİNİN KENTSEL ISI ADALARINA OLAN
ETKİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**Bahadır ÇELİK
(501132601)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şinasi KAYA

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501132601 numaralı Doktora Öğrencisi Bahadır ÇELİK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİMLERİNİN KENTSEL ISI ADALARINA OLAN ETKİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL OLARAK ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Şinasi KAYA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Elif SERTEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent BAYRAM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 20 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 28 Haziran 2019





Biricik Eşime,



ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Programı'nda Doktora Tezi olarak hazırlanan bu çalışma sırasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve tezimin her aşamasında yanımda olan çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şinasi KAYA'ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmam sırasında bana hep destek olan ve fikirleri ile bana yön veren değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Bülent BAYRAM ve Prof. Dr. Elif SERTEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez çalışmam sırasında desteklerini benden esirgemeyen değerli arkadaşım, Öğr. Gör. Mehmet İŞİLER'e teşekkür ederim.

Son olarak, tüm eğitim hayatım boyunca beni hep destekleyen ve yanımda olan aileme ve tezimin hazırlanması aşamasında sevgi, sabır ve anlayışla bana destek olan çok değerli eşim Demet ÖZTÜRK ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Haziran 2019

Bahadır ÇELİK
(Jeodezi ve Fotogrametri Yüksek Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Temel Kavramlar.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı	5
1.3 Literatür Araştırması	5
2. ÇALIŞMA BÖLGESİ, KULLANILAN VERİLER VE YÖNTEMLER.....	17
2.1 Çalışmada Kullanılan Veriler	18
2.1.1 Meteorolojik veriler (MODIS mod11 görüntüleri)	18
2.1.2 Landsat uydu görüntüleri	19
2.2 Kullanılan Yöntemler	21
2.2.1 Yüzey sıcaklık görüntüleri (LST) hesaplama yöntemleri	21
2.2.1.1 Işınimsal transfer denklemi yöntemi	21
2.2.1.2 Tek-kanal (single-channel) yöntemi	24
2.2.2 Yüzey yayıcılık (emissivity) görüntüleri hesaplama yöntemleri	25
2.2.2.1 Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi ile yayıcılık görüntülerinin hesabı.....	26
2.2.2.2 NDVI eşikleme yöntemi ile yayıcılık görüntülerinin hesabı	26
2.2.2.3 Spektral karışım analizi yöntemi ile yayıcılık görüntülerinin hesabı.....	27
2.2.2.4 Saf yüzey bileşenlerinin yayıcılık değerlerinin hesaplanması	28
2.2.3 Aritmetik bant işlemleri ve index görüntüleri	29
2.2.4 Spektral karışım analizleri	31
2.2.4.1 Lineer spektral karışım analizi	33
3. UYGULAMA VE BULGULAR	35
3.1 Isıl ve Çok-Spektrumlu Görüntülerin Ön İşlemesi	36
3.1.1 Isıl görüntülerin radyometrik kalibrasyonu.....	36
3.1.2 Landsat C1 seviyesindeki yüzey yansıtım görüntülerin ön işlemesi	37
3.2 Yüzey Yayıcılık ve Sıcaklık Haritalarının Oluşturulması.....	37
3.2.1 Yayıcılık haritalarının oluşturulması	37
3.2.2 Yüzey sıcaklık (LST) haritalarının oluşturulması.....	44
3.3 NDBI ve NDVI İndeks Haritalarının Oluşturulması.....	49
3.4 Arazi Örtüsü/Kullanım Haritalarının Oluşturulması.....	49
3.5 Hesaplanan Yeryüzü Sıcaklık Görüntülerinin MODIS Mod11 Sıcaklık Görüntüleri Yardımıyla Doğrulanması	52
3.6 NDVI ve NDBI İndeksleri İle Arazi Kullanımı Değişimlerinin Analizi	54

3.7 NDVI ve NDBI İndeksleri İle Yüzey Sıcaklıkları Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi.....	58
3.8 Arazi Örtüsü ve Kullanımı Değişimlerinin LSMA Bileşen Görüntüleri ve Sınıflandırma Görüntüleri Yardımıyla İncelenmesi.....	64
3.9 Kentsel Isı Alanı Değişimi İndeksi (UTFVI) Haritalarının Oluşturulması	70
3.10 Kentsel Isı Alanı Değişimi İndeksi Haritaları Yardımıyla Isı Alanlarının Belirlenmesi ve Arazi Örtüsü/Kullanımı İle İlişkisinin İncelenmesi	72
3.10.1 Kentsel ısı alanlarının güçlü olduğu alanlarda arazi örtüsü/arazi kullanımlarının yüzey sıcaklıkları ile ilişkilendirilmesi.....	75
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	79
KAYNAKLAR.....	83
EKLER	91
ÖZGEÇMİŞ.....	113



KISALTMALAR

AWEI	: Automated Water Extraction Index
BLHI	: Boundary Layer Heat Island
BM	: Birleşmiş Milletler
CLHI	: Canopy Layer Heat Island
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
LST	: Land Surface Temperature
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NDBI	: Normalized Difference Built-up Index
NDWI	: Normalized Difference Water Index
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
OLI	: Operational Land Imager
SAVI	: Soil-Adjusted Vegetation Index
SUHI	: Surface Urban Heat Island
TIRS	: Thermal Infrared Sensor
TM	: Thematic Mapper
UBL	: Urban Boundary Layer
UCL	: Urban Canopy Layer
UHI	: Urban Heat Island
UTFVI	: Urban Thermal Field Variance Index



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Kentsel ısı adası tipleri ve temel özellikleri (United States, E., 2008)...	2
Çizelge 2.1 : Çalışmada kullanılan Landsat verileri.....	20
Çizelge 2.2 : Landsat ısı bantları için ısı dönüşüm sabitleri.....	23
Çizelge 2.3 : Standart atmosfer profilleri ve ortalama atmosfer sıcaklığı bağıntıları(Qin, Z. ve diğ., 2001).....	25
Çizelge 2.4 : Farklı sıcaklık profilleri için toplam su buharı değeri ve atmosferik geçirgenlik arasındaki ilişkiler (Qin, Z. ve diğ., 2001).....	25
Çizelge 2.5 : UTFVI indeksi için ekolojik değerlendirme seviyeleri ve eşik değerleri.	31
Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılan Landsat ısı bantlarının kalibrasyon parametreleri.	36
Çizelge 3.2 : ASTER spektral kütüphanesinden çıkartılan spektralar.....	38
Çizelge 3.3 : Saf yüzey bileşeni bant karşılık değerleri.....	39
Çizelge 3.4 : Isıl bantların atmosferik düzeltmesi için hesaplanan parametreler.	44
Çizelge 3.5 : Sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk analizi sonuçları.	52
Çizelge 3.6 : Landsat LST - MODIS Mod11 LST değerlerinin karşılaştırılması.	53
Çizelge 3.7 : İlçe bazında ortalama NDVI ve NDBI değerleri ve farkları.	55
Çizelge 3.8 : LST ve NDVI ve NDBI doğrusal regresyon katsayıları ve R^2 değerleri.	59
Çizelge 3.9 : Orman sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 1984.....	63
Çizelge 3.10 : Yapay yüzeyler sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 1984.	63
Çizelge 3.11 : Yarı doğal alanlar sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 1984.	63
Çizelge 3.12 : Tarım alanları sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 1984..	63
Çizelge 3.13 : Orman sınıfı NDVI, NDBI ve LST korelasyon matrisi - 2017.....	63
Çizelge 3.14 : Yapay yüzeyler sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 2017.	63
Çizelge 3.15 : Yarı doğal alanlar sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 2017.	63
Çizelge 3.16 : Tarım alanları sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 2017..	64
Çizelge 3.17 : Her bir arazi örtüsü/kullanımı sınıfı için alan ve yüzde değerleri.	64
Çizelge 3.18 : 1984 ve 2017 yılları arası arazi örtüsü sınıfları arası değişimler.	65
Çizelge 3.19 : Yıllara göre ilçe bazında ortalama yüzey bileşeni değerleri.	66
Çizelge 3.20 : UTFVI > 0.02 olan bölgelere ait arazi kullanımı ve sıcaklık değerleri.	73
Çizelge 3.21 : Örnek noktalar için konum ve arazi kullanımı bilgileri.	76
Çizelge B.1 : Standart atmosfer profili (Orta-enlem yaz).....	102
Çizelge B.2 : Standart atmosfer profili (Orta-enlem kış).	103



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Geçirimsiz yüzeyler ve buharlaşma arasındaki ilişki (United States, E., 2008).	2
Şekil 1.2 : Atmosferik sıcaklıklar ve yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi (United States, E., 2008).	3
Şekil 1.3 : Isı adaları türleri ve tespit yöntemleri (Vooght, J., 2015).	4
Şekil 2.1 : Çalışma bölgesi İstanbul.	17
Şekil 2.1 : Atmosferik düzeltme programı arayüzü (Url-2).	23
Şekil 2.2 : Landsat algılayıcı duyarlılık fonksiyonları (Url-2).	29
Şekil 2.3 : Heterojen yüzey bileşenleri için karışık piksel (Url-3).	31
Şekil 2.4 : Homojen yüzey bileşenleri için karışık piksel durumu (Url-3).	32
Şekil 3.1 : Çalışmanın iş akış şeması.	35
Şekil 3.2 : Saf yüzey bileşenleri yansıtım grafiği.	39
Şekil 3.3 : Yayıcılık hesabı için oluşturulan ERDAS modeli.	40
Şekil 3.4 : 1984 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.	41
Şekil 3.5 : 2000 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.	41
Şekil 3.6 : 2003 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.	42
Şekil 3.7 : 2007 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.	42
Şekil 3.8 : 2009 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.	43
Şekil 3.9 : 2011 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.	43
Şekil 3.10 : 2017 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.	44
Şekil 3.11 : 1984 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.	45
Şekil 3.12 : 2000 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.	46
Şekil 3.13 : 2003 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.	46
Şekil 3.14 : 2007 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.	47
Şekil 3.15 : 2009 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.	47
Şekil 3.16 : 2011 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.	48
Şekil 3.17 : 2017 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.	48
Şekil 3.18 : 1984 yılı arazi örtüsü/kullanımı haritası.	50
Şekil 3.19 : 2003 yılı arazi örtüsü/kullanımı haritası.	51
Şekil 3.20 : 2017 yılı arazi örtüsü/kullanımı haritası.	51
Şekil 3.21 : Landsat LST ve MODIS LST dağılım grafiği 2003.	53
Şekil 3.22 : Landsat LST ve MODIS LST dağılım grafiği 2007.	53
Şekil 3.23 : Landsat LST ve MODIS LST dağılım grafiği 2009.	54
Şekil 3.24 : Landsat LST ve MODIS LST dağılım grafiği 2011.	54
Şekil 3.25 : Beşiktaş, Şişli, Fatih ilçeleri NDVI ve NDBI dağılım grafiği.	56
Şekil 3.26 : Bağcılar ve Esenyurt ilçeleri NDVI ve NDBI dağılım grafiği.	57
Şekil 3.27 : Bahçelievler ve Küçükçekmece ilçeleri NDVI ve NDBI dağılım grafiği.	58
Şekil 3.28 : 1984 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.	59
Şekil 3.29 : 2000 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.	60
Şekil 3.30 : 2007 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.	60

Şekil 3.31 : 2009 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.	61
Şekil 3.32 : 2011 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.	61
Şekil 3.33 : 2017 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.	62
Şekil 3.34 : V-I-S modeli (Ridd, M.K., 1995).	68
Şekil 3.35 : İstanbul V-I-S modeli (1984-2017).	69
Şekil 3.36 : 1984 yılı İstanbul UTFVI haritası.	70
Şekil 3.37 : 2003 yılı İstanbul UTFVI haritası.	71
Şekil 3.38 : 2017 yılı İstanbul UTFVI haritası.	71
Şekil 3.39 : Kentsel ısı alanlarının arazi örtüsüne göre değişiminin analizi için iş akış şeması.	72
Şekil 3.40 : UTFVI > 0.02 olan bölgelere ait arazi kullanımı - 1984.	74
Şekil 3.41 : UTFVI > 0.02 olan bölgelere ait arazi kullanımı - 2003.	74
Şekil 3.42 : UTFVI > 0.02 olan bölgelere ait arazi kullanımı - 2017.	75
Şekil 3.43 : Kentsel ısı alanı etkisinin güçlü olduğu bölgelerde yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu noktalar - 2017.	76
Şekil 3.44 : Yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu noktalar ve arazi kullanımları - 1.	77
Şekil 3.45 : Yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu noktalar ve arazi kullanımları - 2.	78
Şekil A.1 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 1984: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.	92
Şekil A.2 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2000: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.	93
Şekil A.3 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2003: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.	94
Şekil A.4 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2007: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.	95
Şekil A.5 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2009: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.	96
Şekil A.6 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2011: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.	97
Şekil A.7 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2017: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.	98
Şekil B.1 : Atmosferik profillere ilişkin bağıl nem, basınç ve sıcaklık grafikleri: (a)2000 yılı. (b) 2003 yılı.	99
Şekil B.2 : Atmosferik profillere ilişkin bağıl nem, basınç ve sıcaklık grafikleri: (a)2007 yılı. (b) 2009 yılı.	100
Şekil B.3 : Atmosferik profillere ilişkin bağıl nem, basınç ve sıcaklık grafikleri: (a)2011 yılı. (b) 2017 yılı.	101
Şekil B.4 : Çalışmada kullanılan 1984 yılına ait radiosonda verisi -1.	104
Şekil B.5 : Çalışmada kullanılan 1984 yılına ait radiosonda verisi -2.	105
Şekil C.1 : 1984 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.	106
Şekil C.2 : 2000 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.	107
Şekil C.3 : 2003 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.	108
Şekil C.4 : 2007 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.	109
Şekil C.5 : 2009 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.	110
Şekil C.6 : 2011 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.	111
Şekil C.7 : 2017 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.	112

ARAZİ ÖRTÜSÜ DEĞİŞİMLERİNİN KENTSEL ISI ADALARINA OLAN ETKİLERİNİN ZAMANSAL VE MEKANSAL OLARAK ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Birleşmiş Milletler tarafından 2017 yılında hazırlanan Dünya nüfus raporuna göre 2017 yılında 7.6 milyar olan Dünya nüfusunun 2030 yılında 8.6 milyarı aşması beklenmektedir. Dünya nüfustaki bu hızlı artış, yeni yerleşim alanlarına olan gereksinimin artmasına ve kentsel alanların genişlemesine yol açmaktadır. Birleşmiş Milletler'in 2018 yılında yayınladığı kentleşme raporuna göre 1950 yılında nüfusun sadece %30'u kentsel alanlarda yaşarken, bu değer 2018 yılında %55'lere ulaşmıştır.

Nüfus artışı ile beraber gerçekleşen hızlı ve kontrolsüz kentleşmenin, ekosistem ve iklim üzerinde önemli etkileri olmaktadır. Kentleşmeye bağlı olarak arazi örtüsü değişmekte, yerleşim alanlarının hızla genişlemesiyle birlikte, yeşil ve nem tutan doğal alanlar, geçirimsiz yapay yüzeylere dönüşmektedir. Bu antropojenik arazi örtüsü değişimlerinin mikro klima üzerinde önemli etkileri olmaktadır. Özellikle kentsel alanlardaki yapay yüzeylerin artışı ve bitki örtüsündeki azalma kent alanlarının çevresine göre daha sıcak olmasına yol açmaktadır. Bu durum kentsel ısı adaları olarak tanımlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Dünya'nın en kalabalık metropollerinden biri olan ve son otuz yılda aldığı göçler ile birlikte kentleşmede hızlı bir sürece giren İstanbul metropolitan alanında gerçekleşen arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimleri belirlenmiş ve arazi örtüsündeki bu değişimlerin yüzey sıcaklıkları ile ilişkisi çok spektrumlu optik uydu görüntüleri yardımıyla incelenmiştir. Çalışmada 1984, 2000, 2003, 2007, 2009, 2011 ve 2017 yıllarına ait Landsat TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydu algılayıcıları tarafından elde edilen optik görünür-kızılötesi bantlar ile ısı bantları kullanılmıştır.

Kentsel arazi kullanımı ile kentsel yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi kantitatif olarak belirlemek amacıyla, piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma algoritmaları yardımı ile arazi örtüsü/kullanımı haritaları ve ayrıca kentsel yüzeylerin değişimlerini piksel altı seviyede belirlemek amacıyla lineer karışım analizleri gerçekleştirilmiştir.

Arazi örtüsü değişimlerini belirlemek amacıyla bir diğer parametre olarak bant aritmetik işlemlerinden yararlanılmıştır. Optik uydu verilerinin bant değerlerine uygulanan aritmetik işlemler ve oranlama işlemleri yardımıyla elde edilen indeks görüntüleri yeryüzü bileşenleri hakkında önemli bilgiler verebilmektedir. Çalışmada bitki örtüsü varlığını tespit etmek amacıyla Normalize Edilmiş Bitki Fark İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index) (NDVI) ve yerleşim alanlarının dağılımını tespit etmek amacıyla Normalize Edilmiş Yerleşim Alanı İndeksi (Normalized Difference Built-up Index) (NDBI) görüntüleri hesaplanmıştır.

İstanbul genelinde arazi örtüsü değişimlerini incelemek amacıyla 1984, 2003 ve 2017 yıllarını içeren çok zamanlı sınıflandırılmış arazi örtüsü haritalarından yararlanılmıştır. Sınıflandırılmış görüntülerden elde edilen sonuçlara göre İstanbul'da 33 yıllık süreçte en büyük arazi örtüsü değişiminin, toplam çalışma alanının %16'sını kapsayan ve

45758.25 hektarlık bir alan artışı ile yapay yüzeyler sınıfında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Arazi örtüsü değişimleri sınıf bazında incelendiğinde en çok değişimin orman ve yarı doğal alanlardan yapay yüzeylere olduğu belirlenmiştir. Arazi örtüsü sınıfları ve kent yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla hesaplanan NDVI ve NDBI indekslerinden yararlanılmıştır. Her bir veri yılına ait NDVI, NDBI ve yüzey sıcaklıkları görüntüleri üzerinde rastgele dağılmış 200 nokta yardımı ile gerçekleştirilen örnekleme sonucunda, NDVI, NDBI ve yüzey sıcaklığı parametreleri arasında lineer regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir ve regresyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre NDVI ve yüzey sıcaklıkları arasında negatif bir korelasyon olduğu, bunun yanı sıra NDBI değerleri ile yüzey sıcaklıkları arasında pozitif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada indeks değerleri ve yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi arazi örtüsü sınıfları bazında incelemek için her bir yıla ait arazi örtüsü görüntülerinden ilgili sınıflar, coğrafi bilgi sistemleri ortamında kesilmiştir. Sınıf bazında 200 noktadan elde edilen veriler kullanılarak indeks değerleri ve yüzey sıcaklıkları arasında pearson korelasyon testi uygulanmış ve değişkenler arasında korelasyon matrisleri hesaplanmıştır.

Arazi yüzey bileşenlerinin yıllara göre değişimini incelemek için yapılan bir diğer çalışma ise lineer karışım analizi işlemi sonucunda elde edilen yüzey bileşen görüntülerinin Bitki Örtüsü-Yapay Yüzey-Toprak (Vegetation-Impervious-Soil) (V-I-S) modeli yardımıyla modellenmesidir. 1984, 2003 ve 2017 yıllarına ait yüzey bileşen görüntüleri, uygulamada İstanbul'a ait ilçe idari sınırları verisi yardımıyla kesilmiş ve coğrafi bilgi sistemleri yazılımında bölgesel istatistik fonksiyonu kullanılarak her bir ilçe için ortalaması alınmıştır. İlçe bazında elde edilen ortalama bileşen değerleri ile V-I-S modeli kullanılarak üçgensel çizim diyagramları oluşturulmuştur. V-I-S diyagramları incelendiğinde 1984 yılından 2017 yılına kadar yüzey bileşen oranları dikkate alındığında değerlerin düşük ve orta yoğunluktaki yerleşim alanı bölgesinden yüksek yoğunluk yerleşim alanına doğru geçiş yaptığı belirlenmiştir. Bu durum 33 yıllık süreçte İstanbul'da gerçekleşen kentleşmenin göstergesi olarak ifade edilebilir.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen son analiz ise Kentsel Isı Alan Değişimi İndeksi (Urban Thermal Field Variance Index) (UTFVI) görüntülerinin hesaplanmasıdır. UTFVI, yeryüzü sıcaklık haritaları ve bu haritalardan hesaplanan ortalama yüzey sıcaklıkları ile oluşturulmuştur. Hesaplanan sonuç UTFVI haritaları daha sonra kentsel ısı alanlarının etkilerini sınıflandırmak üzere oluşturulan 6 adet ekolojik eşik değerine yoğunluk dilimleme yardımıyla bölünmüştür. Bu yoğunluk dilimleme işlemi sonrasında oluşturulan kentsel ısı alanı değişim indeksi haritaları incelendiğinde 1984 yılından 2003 yılına ve 2003 yılından 2017 yıllarına kadar ısı alanı etkilerinin çok güçlü olduğu alanların genişlediği saptanmıştır.

Uygulamada, kentsel ısı alanları etki sınıflarının, arazi örtüsü sınıfları ile ilişkilerini görmek ve bu etki alanları içinde kalan her bir arazi örtüsü sınıfı için yıllara göre ortalama sıcaklık değerlerini belirlemek amacıyla, kentsel ısı alanı etki değeri güçlü olarak eşiklenen alanlar coğrafi bilgi sistemleri yardımı ile çıkartılmıştır. Bu alanları kapsayan arazi örtüsü sınıfları çıkartılan eşik görüntüsü yardımı ile maskelenmiş ve alanlara ait ortalama sıcaklık değerleri bölgesel istatistik yöntemi ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, güçlü ısı alan etkisinin bulunduğu bölgelerde, en büyük arazi örtüsü değişiminin yapay yüzeyler sınıfında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu bölge içinde yapay yüzey alanları 1984 ve 2017 yılları arasında 45758.25 hektar artış göstermiş ve ortalama sıcaklık değeri ise 10.4 kelvin artmıştır.

Yüzey ısı alanı etkisinin güçlü olduğu bölgelerde kalan bir diğer önemli arazi örtüsü sınıfı ise yarı doğal alanlar olmuştur. Yarı doğal alanlarda 1984 ve 2017 yılları arasında değişim 15898.91 hektar olmuş ve bu artışa paralel olarak, ortalama yüzey sıcaklıkları 10.19 K artmıştır.





SPATIO-TEMPORAL ANALYSES OF LAND COVER CHANGES AND ITS IMPACTS ON URBAN HEAT ISLANDS

SUMMARY

According to 2017 World Population Prospects report prepared by United Nations, the world population is currently 7.6 billions and it is expected to exceed 8.6 billions in 2030. This rapid growth in world population lead to an important increase in demand of new residential areas. According to the World Urbanization Report of United Nations published in 2018, while the %30 of the population lived in residential areas in 1950, by the 2018 it will reached to %55

The rapid and uncontrolled urbanization caused by population growth, has important effects on climate and ecosystem. In conjunction with urbanization, permeable, green and moisture holding natural areas transform into impermeable impervious surfaces. This anthropogenic land cover changes have significant effects on microclimate. Especially, the increase of impervious surfaces and the decrease of vegetation over urban areas cause the urban areas to be warmer than its surroundings. This phenomena is called the urban heat islands.

In this study, land use and land cover changes and it's impacts on urban thermal environment is analyzed in Istanbul which is one of the World's most crowded metropolitan areas. The city has been an intense migration taking city over 30 years. Thus the rate of urbanization increased every year.

The quantitative analyses of land cover changes and it's impacts on urban thermal environment is performed using Landsat5 TM and Landsat 8 OLI/TIRS multi-spectral and thermal satellite imageries. The images used in the study are acquired respectively in 1984, 2000, 2003, 2007, 2009, 2011 and 2017. In order to obtain land surface temperature (LST) maps, atmospheric corrections of thermal bands are carried out using radiative transfer equation and single-channel LST retrieval algorithm. Atmospheric parameters are calculated using NCEP atmospheric profile data and MODTRAN radiative transfer code simulations.

In order to quantitatively determine the land cover/ land use changes, a maximum-likelihood supervised classification is performed on multi-spectral images of Landsat. Four information classes compatible with CORINE classification nomenclature is chosen. The classes are determined as "Forest Areas", "Semi-natural Areas", "Urban Areas" and "Agricultural Areas. The results indicates that over 33 years, the highest amount of land cover change occurred in urban areas with total amount of 45758.25 hectares covering %16 of the study area. The maximum land use/land cover changes occur between semi-natural areas, forest areas and urban areas. The results of change analysis indicates that semi-natural and forest areas transforms into urban areas in Istanbul.

Band arithmetic operations are also used as another parameter to determine the land cover changes. The band arithmetic operations and band rationing techniques are widely used in land cover change determination studies using remote sensing techniques.

In this study two index values are used to demonstrate the land cover types. The normalized difference vegetation index (NDVI) and the normalized difference built-up index (NDBI). A linear regression model is used in order to demonstrate the relationship between NDVI, NDBI and land surface temperatures. For each data acquisition date, data sampling is accomplished by using a total number of 200 randomly generated points distributed homogeneously over the study area. The linear regression coefficients are calculated. According to the results, there was a negative correlation between NDVI and surface temperatures, and a positive correlation between NDBI values and surface temperatures. The results indicate that lack of vegetation cover in land surface components results in an increase in land surface temperatures.

A linear spectral unmixing method is also utilized for Landsat images acquired respectively in 1984, 2003 and 2017. The endmembers of surface components are defined as vegetation, impervious and soil. The pure spectra values of endmembers are extracted from ASTER spectral library. The high resolution spectra of man-made materials, vegetation and soil are then convolved to bandpass functions of Landsat bands in order to calculate band equivalent reflectances. A fully constrained LSMA model is utilized using ESA SNAP software and endmember fraction images are obtained for each year.

In order to reveal the changes of surface components in district level, the resultant fraction maps of each component are clipped using administrative boundaries of districts in Istanbul. The mean values of the components for each district are calculated in geographical information software using the zonal statistics function. The resultant mean endmember values of each district are then visualized using a V-I-S model.

The resultant ternary diagrams of V-I-S model show that from 1984 to 2017 the direction of mean fraction values for each district converge on upper left side of the diagram. This result clearly indicates that for each district there is a significant increase in the ratio of impervious surfaces. When the results of V-I-S model are related to land cover types, from 1984 to 2017, urban areas of Istanbul transform into high density urban areas from low to medium density.

As a last analysis an urban thermal field variance index (UTFVI) is calculated for Landsat data acquired in 1984, 2003 and 2017. UTFVI index images are created using LST images. The mean temperature of each year is extracted from band statistics.

To further investigate the effects of urban heat fields and the existence of urban heat islands 6 ecological threshold values are implemented to UTFVI images using density slicing method. The threshold value of $UTFVI > 0.02$ points out the areas with strong UHI effects. The resultant UTFVI maps show that the areas under strong UHI effect had an important increase from 1984 to 2017.

Aiming to relate the urban heat variance maps with land cover types, the areas with strong UHI effects are extracted using geographical information software and the land cover types covered by the strong UHI effects are clipped for each data acquisition year respectively as 1984, 2003 and 2017.

For each land cover type in strong UHI effect, the mean LST values are calculated using zonal statistics function. The results of zonal statistics reveals that from 1984 to 2017 the maximum change occurred in urban area land cover type with a value of 45758.25 hectares. When the mean LST differences analyzed it is also seen that the maximum LST increase occurs in urban areas with a value of 10.4 Kelvin.





1. GİRİŞ

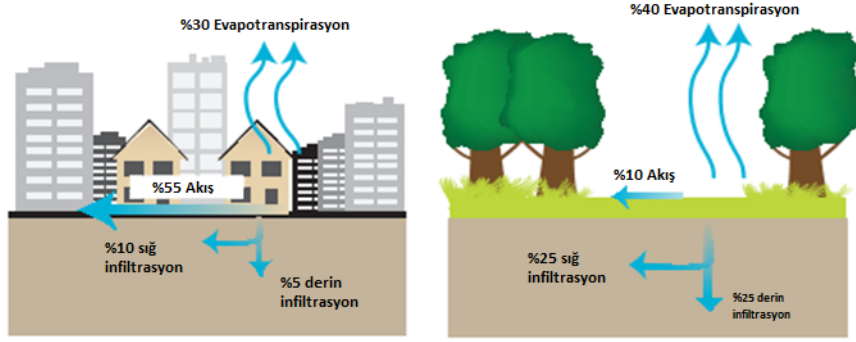
1.1 Temel Kavramlar

2014 yılında BM tarafından yayınlanan Dünya kentleşme raporuna göre Dünya nüfusunun %54'ü kentsel alanlarda yaşamaktadır ve bu oranının, özellikle gelişmekte olan ülkelerde hızlı bir şekilde artacağı ve 2050 yılında %60 oranına ulaşacağı öngörülmektedir (United Nations, 2014). Dünya nüfusundaki bu hızlı artışa paralel olarak, insanların doğa üzerindeki etkileri de artmaktadır. Örneğin, artan nüfusun ihtiyaçları doğrultusunda yeni tarım alanları açılmış, kentsel alanlar genişletilmiş, bunun bir sebebi olarak da orman alanları tahrip edilmiştir. Doğa üzerindeki insan kaynaklı bu değişimler beraberinde çölleşme ve küresel ölçekte iklim değişiklikleri gibi problemleri de getirmiştir.

İnsan kaynaklı ve az miktarda da olsa doğal kaynaklı arazi örtüsü değişimlerinin iklim üzerinde önemli etkilerinin olduğu literatürde birçok çalışma tarafından ortaya koyulmuştur. Bu arazi örtüsü değişimlerinden biri olan kentleşme, biyoçeşitliliği ekolojik sistemi, bölgesel ölçekte iklimi ve bunların bir sonucu olarak da insan sağlığı ve yaşam kalitesini dramatik bir şekilde etkilemektedir (Li, J.X. ve diğ., 2011).

Kentsel alanlar genişledikçe, bir zamanlar geçirgen ve nem tutan arazi örtüsü, beton, asfalt ve diğer benzer geçirgen olmayan materyaller ile kaplı alanlara dönüşür. Bu durum sonucunda kırsal alanlarda, güneş enerjisi gün boyunca bitki örtüsü ve topraktaki suyun buharlaşmasına ve soğumaya neden olurken, kentsel alanlarda ise güneşten gelen ısı enerjisi geçirimsiz yüzeyler tarafından yutuluma uğrar (Şekil 1.1). Bu sebepten dolayı kentsel alanlar ve kentsel atmosfer, çevresindeki kırsal alanlara göre daha sıcak olmaktadır.

Bir milyon ve daha fazla nüfusa sahip bir kentin yıllık ortalama hava sıcaklığı, çevresindeki yüzeylere göre 1°C ile 3°C arasında daha sıcaktır ve açık ve rüzgarsız bir gecede bu sıcaklık farkı 12 °C'a kadar çıkabilmektedir (Thompson, R.D. & Perry, A.H., 1997).



Şekil 1.1 : Geçirimsiz yüzeyler ve buharlaşma arasındaki ilişki (United States, E., 2008).

Literatürde bu durum “Kentsel Isı Adası” (Urban Heat Island) (UHI) olarak tanımlanmaktadır ve ilk defa İngiliz bir kimyager olan Luke Howard tarafından 1818 yılında ortaya atılmıştır (Oke, T.R., 1982; Voogt, J.A. & Oke, T.R., 2003). Kentsel Isı Adaları, “Atmosferik kentsel ısı adaları” ve “Yüzey Isı Adaları” (SUHI) olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bu iki tip ısı adası, oluşum şekillerine, tespit edilmesinde ve ölçülmesinde kullanılan tekniklere, etkilerine ve etkilerini azaltmak için kullanılan yöntemlere göre farklılıklar gösterir (United States, E., 2008). Aşağıdaki çizelgede yüzey ısı adaları ile atmosferik ısı adalarının temel özellikleri gösterilmektedir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 : Kentsel ısı adası tipleri ve temel özellikleri (United States, E., 2008).

Özellik	Yüzey Isı Adaları	Atmosferik Isı Adaları
Zamansal değişim	- Her zaman (Gece ve gündüz) - Yaz aylarında ve gündüz saatlerinde en yoğun.	- Gündüz saatlerinde düşük yoğunlukta. - Kış aylarında ve gece daha yoğun.
En yoğun olduğu durumlar	Zamansal ve Mekansal Değişim Yüksek: - Gündüz : 10-15°C - Gece : 5-10°C	Değişim Az: - Gündüz : -1-3°C - Gece : 7-12°C
Belirleme Yöntemi	Dolaylı Ölçme Teknikleri: Uzaktan Algılama	Doğrudan Ölçme Teknikleri: - Sabit Meteoroloji İstasyonları - Mobil istasyonlar - İzoterm(Eşsıcaklık) haritaları - Sıcaklık Grafikleri
Görselleştirme	Isıl (Termal) Görüntüler	

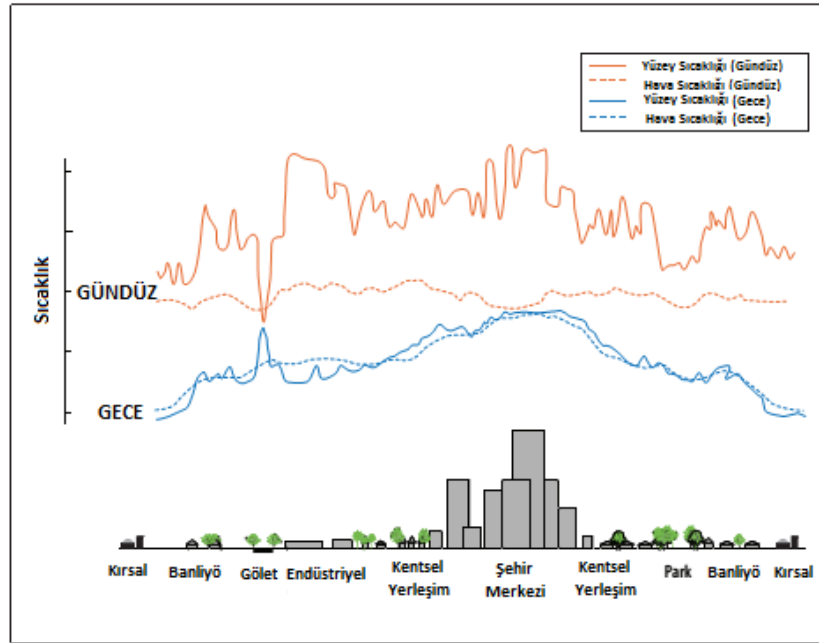
Isı adaları, kent atmosferinin farklı tabakaları ve kentsel yüzey ve alt yüzeyleri için ayrı ayrı tanımlanabilir. Önemli olan, altında yatan mekanizmaları farklı olan bu ısı adası türlerini doğru bir şekilde ayırt edebilmektir.

Isı adası denildiğinde aksi belirtilmediği sürece, kent atmosferinin, çevresindeki diğer kentleşmemiş bölgelere göre daha sıcak olması anlamına geldiği bilinmelidir (Oke, T.R., 1982).

İki temel ısı adası türlerinden olan atmosferik ısı adaları ve yüzey ısı adaları atmosferin farklı tabakaları ve farklı yüzey tiplerine göre aşağıdaki gibi 3 alt kategoriye ayrılır.

- Kanopi Isı Adası (CLHI)
- Sınır Katmanı Isı Adası (BLHI)
- Yüzey Isı Adası (SUHI)

Kanopi tabakası (UCL), kentsel atmosferin, yeryüzünden, ortalama bina yüksekliğine kadar olan kısmını ifade etmektedir. Kanopi tabakası ısı adaları kentsel bölgedeki binaların yüksekliklerinden ve geometrisinden etkilenir. Diğer bir atmosferik ısı adası olan sınır katmanı ısı adası ise kanopi tabakasının üstünde, yaklaşık 1.5 km yüksekliğinde bir tabakadır (Oke, T.R., 1982). Atmosferik ısı adaları, geceleri daha yoğun iken yüzey ısı adaları gündüz, geçirimsiz yüzeylerin yaptığı ısı yayınımdan dolayı daha yoğundur (Roth, M. ve diğ., 1989) (Şekil 1.2).



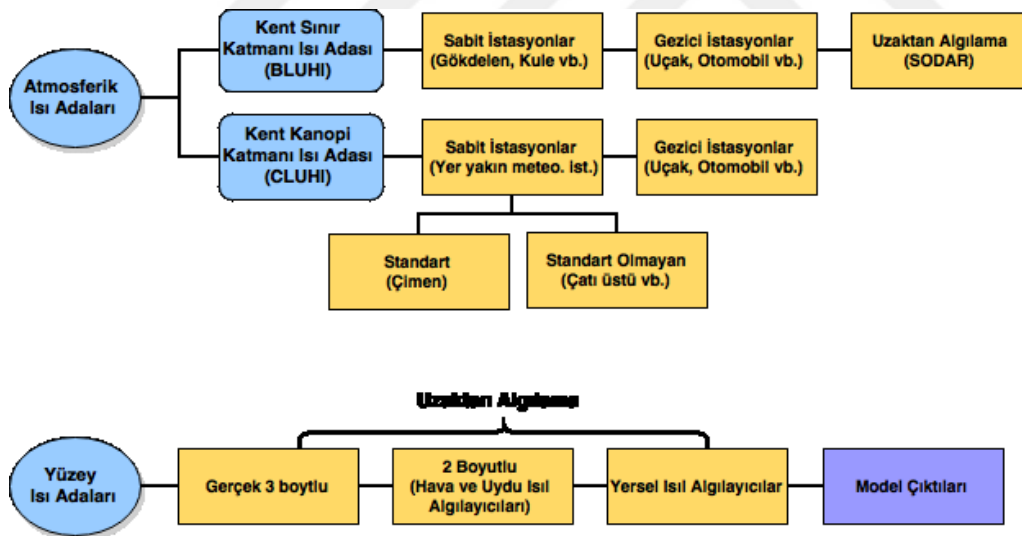
Şekil 1.2 : Atmosferik sıcaklıklar ve yüzey sıcaklıklarının zamana göre değişimi (United States, E., 2008).

Kentsel ısı adalarının belirlenmesi için farklı teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler, doğrudan ve dolaylı ölçme teknikleri, numerik modelleme ve deneysel modeller üzerinden kestirim teknikleridir.

Kanopi tabakası ısı adaları, sabit istasyonlardaki meteorolojik algılayıcılardan elde edilen veriler veya araç üzerine monte edilmiş gezici istasyonlardan elde edilen veriler ile tespit edilir. Sınır katmanı ısı adalarının tespitinde ise radyasonda balonları, yüksek gökdelenler üzerinde monte edilmiş algılayıcılar veya uçak üzerine monte edilmiş algılayıcılar kullanılmaktadır. Bu tip doğrudan ölçme tekniklerinde, ölçülen skaler büyüklükler hava türbülansı vb gibi değişik parametrelerden etkilenmektedir.

Atmosferik ısı adaları doğrudan ölçme teknikleri ile meteorolojik istasyon ağlarından elde edilen hava sıcaklıkları ile tespit edilir iken, yüzey ısı adaları ise genellikle hava veya uydu platformunda kullanılan ısıal kızılötesi algılayıcılar tarafından elde edilen yeryüzü sıcaklıkları (LST) ile tespit edilir (Yuan, F. & Bauer, M.E., 2007).

Aşağıdaki şekilde ısı adası türleri ve ölçme teknikleri genel olarak özetlenmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 : Isı adaları türleri ve tespit yöntemleri (Vooght, J., 2015).

Isıl uzaktan algılama yöntemleri ile tespit edilen yüzey ısı adaları, dolaylı ölçme tekniği ile elde edildiğinden dolayı, bazı parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Örneğin, kent yüzeyinden yayılan ısıal ışınımın uydudaki ısıal algılayıcılara ulaşana kadar kat ettiği atmosferdeki etkileşimleri, kent yüzeyini oluşturan yüzey bileşenlerinin yayıcılık özellikleri yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında önemlidir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, özellikle 1980’li yılların sonlarına doğru aldığı göçler nedeniyle büyüyen ve bunun sonucunda kentleşmede hızlı bir gelişme sürecine giren İstanbul metropolitan alanında meydana gelen arazi örtüsü/kullanımı değişimlerini zamansal ve mekansal olarak ortaya koymak, kent alanlarındaki büyümeyi tespit etmek ve bu büyüme ile yüzey ısı adaları arasındaki ilişkiyi ısı görüntüleri ve çok spektrumlu görüntüler kullanarak belirlemektir. Ayrıca elde edilen sonuçlar ile karar vericiler için mevcut durumun analizini yapabilmelerine, ileriye yönelik strateji geliştirmelerine yardımcı olacak altlıkları hazırlamaktır.

1.3 Literatür Araştırması

Literatürde uzaktan algılama tekniği ile yüzey ısı adalarının tespiti ile ilgili ilk çalışma (Rao, P., 1972) tarafından yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda, günümüze kadar yapılan çalışmalara bakıldığında ısı uzaktan algılama teknikleri ve algılayıcı teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak kentsel ısı adaları ile ilgili çalışmaların arttığı görülmektedir. Bu çalışmalarda çeşitli algılayıcı-platform kombinasyonları (yersel, uydu, hava) kullanılmıştır. Voogt, J.A. ve Oke, T.R. (2003) yaptığı çalışmada, o tarihe kadar olan SUHI tespiti ile ilgili yayınları incelemiş ve bunun sonucunda tüm yayınların üç ana tema altında toplandığını görmüştür ve bu üç ana temayı şu şekilde açıklamaktadır;

- Kent ısı dokusunun mekansal dağılımını ve bu dağılımın kent yüzey karakteristikleri ile ilişkilerinin incelenmesi.
- Kentsel ısı adaları ve atmosferik ısı adaları arasındaki ilişkilerin incelenmesi. (Bazı çalışmalarda uzaktan algılama ısı verileri ile yersel gözlemler kombine edilmiştir. Diğer çalışmalarda ise bu kombinasyona kent atmosferik modelleri de dahil edilmiştir.)
- Kent atmosferine ilişkin iklim modelleri ile uzaktan algılama verilerinin eşleştirilmesi. (Bu çalışmalarda tek-boyutlu atmosferik modeller ve ısı uzaktan algılama verileri kombine edilerek yüzey enerji dengeleri hakkında kestirimler yapılmıştır. Atmosferik model çıktıları ile uzaktan algılama tekniği ile elde edilen sıcaklıklar arasında regresyon yöntemi ile yüzey özellikleri hakkında (yüzey nem ve yayıcılık bilgisi) kestirimler yapılmıştır).

Voogt, J.A. ve Oke, T.R. (2003) tarafından yapılan çalışmada sunulan yukarıdaki üç ana temanın çıkarımının yapıldığı 1972 ile 2003 yılları arasında kentsel ısı adalarının tespitine ilişkin literatür araştırması şu şekildedir.

Balling Jr, R.C. ve Brazel, S.W. (1988) çalışmasında, yeryüzü sıcaklıklarının dokusu ve arazi kullanımı arasındaki ilişkiyi ve bu sıcaklık değerlerinin günlük değişimlerinin mekansal olarak analizini AVHRR uydu verilerini kullanarak gerçekleştirmiştir.

Dousset, B. (1989) AVHRR uydu verilerinden elde edilmiş bulutluluk görüntüleri yardımıyla yüzey ve atmosfer sıcaklıkları arasında ilişkiyi incelemiştir.

Henry, I. ve diğ. (1989) Amerika Birleşik Devletlerinin Florida eyaletindeki Alachua şehri için kentsel ısı adalarının belirlenmesi amacıyla yaptığı çalışmada uydu platformlu uzaktan algılama sistemleri, yersel gözlemler ve modelleme tekniklerini kullanmış ve bu tekniklerin birbirleri ile karşılaştırmasını gerçekleştirmiştir.

Carnahan, W.H. ve Larson, R.C. (1990) Landsat TM algılayıcısından elde edilen çok-spektrumlu görünür ve kızılötesi bantları ve ısı bantları kullanarak, kentsel ve kırsal alanlar için ısınma ve soğuma farklarını incelemiştir.

Caselles, V. ve diğ. (1991) İspanya'nın Valencia şehrindeki ısı adası etkilerini incelemek üzere NOAA uydu verilerini ve bu veriler ile eş-zamanlı olarak araç üzerine bağlı algılayıcılar ile elde edilen yakın yeryüzü sıcaklıklarını kullanmıştır.

Dousset, B. (1991) Amerika Birleşik Devletleri, California eyaletine bağlı Los Angeles şehrinde yaptığı çalışmasında AVHRR NOAA uydusuna ait 48 adet termal görüntüyü ve SPOT 1 uydusuna ait çok-spektrumlu görünür ve kızılötesi bantların kontrollü sınıflandırılması sonucunda elde ettiği arazi kullanım haritalarını kullanarak yüzey sıcaklıkları ve arazi kullanımı arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Johnson, G. ve diğ. (1991) çalışmasında çatı seviyesi altı, kent kanopi katmanında oluşan ısı adalarının gece soğuma koşullarını, numerik modeller ve yersel kızıl ötesi termometrelerden elde edilen sıcaklık verileri ile incelemiştir.

Eliasson, I. (1992) helikopter platformuna bağlı Agema Thermovision 870 (2-5 μm) ve FLIR (8-14 μm) ısı kızılötesi algılayıcılardan elde ettiği ısı görüntüleri ve klinometreler yardımıyla ölçülen bina yükseklik açıları ile hesaplanan gökyüzü açıklığı faktörü değerlerini kullanarak farklı şehir yapıları için kentsel ısı adalarının değişimini araştırmıştır.

Stoll, M.J. ve Brazel, A.J. (1992) Amerika Birleşik Devletleri, Phoenix, Arizona kentinde gerçekleştirdiği çalışmasında 70 günlük periyotta yersel kızılötesi algılayıcılar tarafından saatlik ortalama olarak elde ettiği yakın yeryüzü sıcaklıkları (1.5-3.0m), güneş radyasyonu verileri, rüzgar hızı verilerini ve helikoptere bağlı kızıl ötesi algılayıcılar ile elde ettiği hava sıcaklığı verilerini kullanarak kentsel alanlar için yakın yeryüzü sıcaklıkları ve hava sıcaklığı arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Lee, H.-Y. (1993) Güney Kore’de Seul başta olmak üzere nüfusu 300,000 den büyük 14 şehirde gerçekleştirdiği çalışmasında kentsel ısı adalarının analizinde NOAA-9 ve NOAA-10 uydusuna ait ısı bantlarından elde ettiği parlaklık sıcaklığı verilerini kullanmış ve bu sıcaklık verilerini meteorolojik istasyonlardan elde ettiği hava ve yakın-yer sıcaklığı verileri ile karşılaştırmıştır.

Johnson, G.L. ve diğ. (1994) Amerika Birleşik Devletlerinin 37 şehri için gerçekleştirdiği çalışmasında kutupsal yörüngeli uydular yardımıyla kentsel bölge sıcaklıklarının kırsal bölgelere göre farkını incelemek amacıyla NOAA-11 uydusuna ait HIRS/2 yüksek çözünürlüklü yakın kızılötesi kanallı sondası ve MSU2 Mikrodalga sonda ünitesi verilerini kullanmıştır. Ayrıca çalışma bölgelerindeki şehirleşmenin gelişimini belirlemek amacıyla NOAA-11 uydu platformundaki AVHRR algılayıcısının yakın kızılötesi ve kırmızı bantlarını kullanarak hesapladığı NDVI görüntülerini kullanmıştır.

Quattrochi, D.A. ve Ridd, M.K. (1994) farklı kent yüzey gruplarının gece ve gündüz olarak iki farklı zamanda yayınım yaptığı ısı enerji farklarını ölçmek için uçağa bağlı TIMS ısı algılayıcıları ile elde edilmiş ısı görüntüleri kullanmıştır. Sonuç olarak yüzey bileşenlerinin nem tutma kapasitesinin, yüzeyden yayınan ısı enerjinin şiddeti ve değişkenliği üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir.

Shoshany, M. ve diğ. (1994) çalışmasında kentsel yüzey ısı adalarının incelenmesinde çatı yüzeylerinden yayınan ısı enerjinin elimine edilmesi amacıyla yeni bir metodoloji geliştirmiştir. Bu metodoloji ile Güney Afrika’nın Johannesburg kenti için yaptığı uygulamada uçağa bağlı Texas Instruments RS-25 ısı tarayıcılarla elde ettiği ısı görüntülerden ve pankromatik hava fotoğraflarından yararlanarak bina çatılarının çıkarılması işlemini gerçekleştirmiştir.

Aniello, C. ve diğ. (1995) Amerika Birleşik Devletleri’nin Texas eyaletine bağlı Dallas şehrinde Landsat TM ısı bantları ve çok-spektrumlu bantlarını kullanarak

gerçekleştirdiği çalışmasında, çok spektrumlu bantların kontrolsüz sınıflandırılmasından elde edilen arazi kullanım haritalarını ve ısı bantlarından elde ettiği parlaklık sıcaklığı görüntülerini coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla analiz etmiştir. Sonuç olarak mikro-kentsel ısı adalarının bitki örtüsünün az olduğu yeni yerleşim alanlarında, otopark alanlarında, iş merkezlerinde, apartman komplekslerinde ve alışveriş merkezlerinde daha yoğun olarak oluştuğunu tespit etmiştir.

Epperson, D.L. ve diğ. (1995) çalışmasında AVHRR uydusuna ait görünür ve kızılötesi bantlardan hesapladığı NDVI görüntülerini, DMSP uydusuna ait OLS (Operational Linescan System) algılayıcısından elde ettiği kentsel alan gece ışıkları görüntülerini ve meteorolojik istasyonlardan aldığı yukarı atmosfer hava sıcaklığı verilerini kullanarak çoklu regresyon analizleri yardımıyla kentsel ve kırsal alan yüzey sıcaklığı farklarının kestirimini gerçekleştirmiştir.

Gallo, K.P. ve diğ. (1995) kentsel ısı adalarının etkilerinin uydu tabanlı tekniklerle değerlendirilmesi, mevcut uydu algılayıcıları ve bu araştırmaların geleceği hakkında derleme çalışması gerçekleştirmiş ve sonuç olarak DMSP/OLS uydu algılayıcısı tarafından sağlanan kentsel alan gece ışığı verileri ve NDVI verilerinin kentsel alanların tespitinde önemli veri kaynakları olduğunu vurgulamışlardır.

Iino, A. ve Hoyano, A. (1996) çalışmasında uzaktan algılama tekniğini ve coğrafi bilgi sistemlerini birlikte kullanarak hissedilir ısı akısı (Sensible Heat Flux) prensibine dayanan ve kentsel alan yeryüzü sıcaklıklarının dağılımının incelenmesinde kullanılan ısı adası potansiyeli indexini (HIP) geliştirmiştir. Çalışmada ayrıca yan bakışlı (side-looking) geometriye sahip uçak platformuna bağlı çok spektrumlu görüntüler yardımıyla Japonya'nın Kawasaki şehrine ait HIP index görüntülerini oluşturmuş ve farklı kentsel yüzey bileşenleri için yeryüzü ısı dağılımı hesaplamıştır.

Lougeay, R. ve diğ. (1996) kent içi ısı dağılımının ve bununla ilişkili olarak arazi kullanımının nasıl değişiklik gösterdiğini incelemek amacıyla Landsat TM ısı bantlarını ve çok spektrumlu bantlarını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda çevre sıcaklığı ile evapotranspirasyonun yüzey oranları arasında güçlü bir korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir.

Nichol, J.E. (1996) Yüzey sıcaklıkları ile kent morfolojisi arasındaki ilişkinin mekansal olarak araştırılmasını amaçlayan çalışmasında Landsat TM algılayıcısına ait ısı bantları ve sahada yapılan yakın yeryüzü sıcaklıkları ve hava sıcaklıklarını

kullanmıştır. Çalışmada farklı zamanlarda elde edilen ve farklı güneş yükseklik açısına sahip görüntülerin ve yüksek binaların geometrilerinin farklı sıcaklık dokuları oluşturduğu gözlemlenmiş ve Singapur şehri için yapılan uygulamada, uydu ısı bantları ile gündüz için hesaplanan yeryüzü sıcaklık değerlerini ısı adalarının incelenmesinde iyi bir veri kaynağı olduğu belirtilmiştir.

Ben-Dor, E. ve Saaroni, H. (1997) İsrail'in Tel-Aviv şehrinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında helikopter platformuna bağlı yüksek mekansal çözünürlüklü TVR ısı görüntüleyici (3-12 μm) ve sahada eş zamanlı olarak ölçülen yakın yüzey hava sıcaklıklarını kullanmış ve Tel-Aviv şehri için mikro ölçekte kentsel ısı adalarının belirlemişlerdir.

Nichol, J. (1998) Landsat TM ısı bantları ve sahada yapılan kent içi sıcaklık ölçme verilerini kullanarak, coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla 2-boyutlu ısı uydu verilerini 3-boyutlu olarak görselleştirmiştir. Bu görselleştirme tekniği ile bina geometrilerinden dolayı oluşan mikro ölçekteki sıcaklık değişimleri ve ısı adaları oluşumları çok daha detaylı olarak incelenebilmektedir.

Owen, T. ve diğ. (1998) oransal bitki örtüsü ve toprak nem mevcudiyeti değerlerini parametre olarak kullanarak kentleşmenin bölgesel ölçekte iklimsel etkilerini araştırmıştır. Çalışmada toprak nem mevcudiyeti ve oransal bitki örtüsü değerleri AVHRR uydu görüntülerinden hesaplanmış ve bu değerler Landsat TM algılayıcısının bantlarının kontrollü sınıflandırılmasından elde edilen arazi kullanım haritaları ve AVHRR uydu algılayıcısına ait ısı bantlardan hesaplanan yüzey sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kentleşmeye bağlı olarak bitki örtüsü değerlerinde oluşan azalmanın kent yüzey iklimindeki değişimlerle ilişkili olduğu ortaya konulmuştur.

Voogt, J.A. ve Oke, T. (1998) kentlerin, özellikle yüksek binaların yoğun olduğu metropollerin 3-boyutlu yapısından kaynaklanan yüksek orandaki yüzey pürüzlülüğünün, güneş azimut ve yükseklik açısı değerlerinin uzaktan algılama tekniği elde edilen ısı görüntülerde sıcaklık değişimlerine neden olup olmadığını araştırmak amacıyla Kanada'nın Vancouver şehrinde helikopter platformuna bağlı AGEMA Thermovision 880 ısı görüntüleyicisi ile çalışma gerçekleştirmiştir. Farklı bakış açıları kullanarak (nadir ve off-nadir (45°)) elde ettiği ısı görüntülerde yöne bağlı olarak, özellikle kent merkezlerinde 9°C'ye varan sıcaklık varyasyonları olduğunu

gözlemlemiş ve bu varyasyonların yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanan ısı anizotropi olduğunu ortaya koymıştır.

Carlson, T. ve Sanchez-Azofeifa, G.A. (1999) Costa Rica'nın başkenti San José şehrinde 7 yıllık periyod için gerçekleştirdiği çalışmasında AVHRR uydusuna ait çok-spektrumlu görünür ve kızılötesi bantlardan hesapladığı oransal bitki örtüsü, yüzey nem içeriği ve evapotranspirasyon haritaları ile ısı bantlardan hesapladığı yüzey sıcaklıklarını kullanarak, kentleşmenin 7 yıllık süreçte şehrin mikroiklimine olan etkisini incelemiştir. Sonuç olarak şehirleşmenin hızlı ve yoğun olarak devam ettiği bölgelerde bitki örtüsünün azaldığını buna bağlı olarak nem tutan yüzeylerde oluşan azalmadan dolayı yüzey sıcaklıklarının arttığını ve evapotranspirasyon değerlerinin düştüğünü gözlemlemiştir.

Hafner, J. ve Kidder, S.Q. (1999) Kentsel ısı adalarının uydu görüntüleri ile modellenmesine ilişkin gerçekleştirdikleri çalışmalarında AVHRR uydu verileri kullanarak albedo, toprak nemi ve toprak yüzey sıcaklığı değerlerini elde etmişlerdir. Bu değerler hidrostatik 3-boyutlu bir numerik modele parametre olarak girilerek kent ısı adaları modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

Hoyano, A. ve diğ. (1999) çalışmasında tekil binalar için hissedilir ısı akışını ölçmek amacıyla farklı yüzey karakteristiklerine sahip iki binanın yaz ve kış dönemleri için zaman sıralı termal görüntülerini elde etmiştir. Her iki binanın ısı karakteristiklerini şekil, materyal, konum ve ısı görüntüler yardımıyla hesaplamıştır.

Wald, L. (1999) çalışmasında hava kalitesini belirleyen parametrelerin kestiriminde çok-spektrumlu uydu verilerinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla Fransa'nın Nantes şehrinde gerçekleştirdiği çalışmada yer istasyonlarından elde ettiği siyah partikül, sülfür dioksit, ve diğer kirleticilere dair ölçmeler ile Landsat TM uydusuna ait ısı bantları kullanmıştır. Sonuç olarak siyah partikül verilerinin mekansal dağılımı ile uydu verilerinden elde edilen sıcaklık verileri arasında yüksek korelasyon olduğu tespit edilmiştir.

Quattrochi, D.A. ve diğ. (2000) Amerika Birleşik Devletleri'nin 4 büyük şehrinde (Atlanta, Georgia; Baton Rouge, Louisiana; Salt Lake City, Utah; ve Sacramento, California) gerçekleştirdiği çalışmasında uçak platformuna bağlı ATLAS algılayıcısından elde ettiği çok-spektrumlu görünür, kızıl ötesi ve ısı bantları kullanarak arazi kullanın haritaları ve yeryüzü sıcaklık haritalarını oluşturmuştur. Bu

haritaları kullanarak karar vericilerin, şehir plancıların ve diğer araştırmacıların kentsel ısı adalarının incelenmesinde yararlanabileceği bir karar destek bilgi sistemi altyapısı önermiştir.

Voogt, J.A. ve Grimmond, C. (2000) Kanada'nın Vancouver şehrinde gerçekleştirdikleri çalışmada endüstriyel alanlarda hissedilir ısı akışı ve yüzey pürüzlülüğünü modellemek amacıyla helikoptere bağlı AGEMA 880 ısı algılayıcısından elde ettikleri ısı görüntüleri, yerden 28.5 m yükseklikte bir kuleye monte edilmiş REBS (Radiation and Energy Balance Systems) algılayıcısından elde ettikleri ısı ışıınım verilerini ve yerden 9 m yükseklikte bir kuleye bağlı meteorolojik algılayıcılardan elde ettikleri rüzgar hızı, bağıl nem ve hava sıcaklığı verilerini kullanmışlardır.

Geçmiş ısı adaları çalışmalarında genellikle yersel ölçme yöntemlerinden elde edilmiş meteorolojik verilerden yararlanılmıştır. Bununla birlikte, özellikle büyük alanları kapsayan çalışmalarda, yersel meteorolojik verilere erişim, çoğu zaman idari kısıtlamalar ve yüksek ücretli olmalarından dolayı zordur. “Yersel meteorolojik verilerin kapsadığı mekansal alan küçük olduğu için ısı adası dokusunu tam olarak yansıtmamaktadır.” (Wang, J. ve diğ., 2015)

Uzaktan algılama tekniği ise, sağladığı sinoptik görüş özelliği sayesinde geniş bölgelerde yapılacak ısı adaları tespiti çalışmalarında büyük avantaj sağlamaktadır. Yukarıda da bahsedildiği gibi, uzaktan algılama tekniği ile ısı adalarının tespitinde üç ana tema bulunmaktadır. Bu tez çalışması bu üç ana temanın ilki olan kent ısı dokusunun mekansal dağılımı ve bu dağılımın kent yüzey karakteristikleri ile ilişkilerinin araştırılması temasını baz almaktadır.

Aşağıda 2003 ve sonrasındaki yıllarda bu konuda yapılan çalışmalar ve çalışmalarda kullanılan veri ve yöntemlerinin detaylı literatür incelemesi bulunmaktadır.

Chen, X.L. ve diğ. (2006) Çin Halk Cumhuriyeti'nde İnci Irmağı Deltası'nda bulunan Guangdong şehrinde gerçekleştirdikleri çalışmada, arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimleri ile kentsel ısı adalarının oluşumu arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Bu amaçla Landsat TM ve Landsat ETM+ uydu algılayıcısının görünür ve kızıl ötesi bantlarının kontrollü sınıflandırılmasından elde ettikleri arazi kullanım haritalarını ve indeks haritalarını (Normalize edilmiş bitki fark indexi (NDVI), Normalize edilmiş yapılaşma fark indeksi (NDBI), Normalize edilmiş su fark indeksi (NDWI)) ayrıca

Landsat ısı bantlarından hesapladıkları parlaklık sıcaklığı görüntülerini kullanmışlardır. Ayrıca çalışmada kentsel alanların yüzey bileşenlerinden biri olan toprak alanların tespit edilmesi amacıyla yeni bir indeks olarak normalize edilmiş çıplak toprak fark indeksi (NDBaI) önerilmiştir. Sonuç olarak, NDVI indeksinin kısıtlı aralığa sahip olduğu alanlarda NDVI, NDWI ve NDBaI değerleri ve parlaklık sıcaklığı değerleri arasında negatif bir korelasyon olduğunu, NDBI indeks değerleri ve parlaklık sıcaklığı değerleri arasında ise pozitif bir korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir.

Yuan, F. ve Bauer, M.E. (2007) kentsel ısı adalarının uydu verileri ile tespiti çalışmalarında kullanılan NDVI değerleri ile geçirimsiz yapay yüzey yüzdesi verilerinin karşılaştırmasını yapmıştır. Sonuç olarak her dört mevsim için yüzey sıcaklıkları ile geçirimsiz yapay yüzey yüzdesi değerleri arasında güçlü bir ilişki tespit edilirken, NDVI değerleri ve yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkinin mevsimlere göre değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Rajasekar, U. ve Weng, Q.H. (2009) kentsel ısı adalarının tanımlanması için parametrik olmayan bir model önermiştir. Çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'nin Indianapolis şehrine ait Landsat 5 TM ve Landsat 7 ETM+ ısı görüntüleri kullanılmış, görüntüler kentsel ısı adalarının tanımlanması için iki değişkenli gauss fonksiyon kullanılarak kernel konvolüsyon işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra bu görüntüler zamansal ve mekansal olarak incelenmiş ve 1985-2000 yılları arasında Indianapolis şehri için kentsel ısı adalarının dağılımının batı-doğu yönünde 13.9 km'den 21.6 km'ye kadar, kuzey-güney yönünde 10.98 km'den 15.9 km'ye kadar arttığı gözlemlenmiştir.

Zhang, X. ve diğ. (2009a) çalışmasında Landsat ETM+ ısı bantları ile yüzey sıcaklıklarını elde etmiş, IKONOS görüntüleri yardımı ile arazi örtüsü haritasını oluşturmuş ve geçirimsiz yapay yüzey yüzdesi değerlerinin kestirimini gerçekleştirmiştir. Ayrıca NDVI görüntüleri, bitki örtüsü yüzdesi, NDBI görüntüleri ve geçirimsiz yüzey yüzdesi ile LST değerleri arasında lineer regresyon katsayılarını hesaplamıştır.

Zhang, X. ve diğ. (2009b) Landsat ETM+ ısı bantları yardımıyla yeryüzü sıcaklık haritalarını oluşturmuş, IKONOS görüntüleri yardımıyla çalışma bölgesi için bitki peyzaj metriklerini AD (Alan yoğunluğu), ED (Kenar yoğunluğu), MAD (ortalama

alan yoğunluğu) hesaplamış ve yeryüzü sıcaklık değerleri ile regresyon modelleri kullanılarak aralarındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Ma, Y. ve diğ. (2010) Linear spektral karışım analizleri yardımı ile bitki fraksiyonu ve geçirimsiz yüzey yüzdesi görüntülerini hesaplamıştır. Ayrıca normalize edilmiş geçirimsiz yüzey indisi (NDISI), SAVI, ve indeks tabanlı yerleşim indisi (IBI) gibi indisleri kullanarak yeryüzü sıcaklıkları ile aralarında jeostatistik analizler gerçekleştirerek kentsel ısı adalarının tespitini gerçekleştirmiştir.

Cai, G.Y. ve diğ. (2011) kentsel ısı adalarının uydu verileri yarımıyla zamansal ve mekansal olarak izlenmesi amacıyla Çin Halk Cumhuriyeti'nin başkenti Pekin'de gerçekleştirdikleri çalışmada Landsat TM ve ASTER uydusuna ait ısı ve görünür bantları kullanmışlardır. Sonuç olarak ısı adalarının daha çok endüstriyel alanlar, şehirleşmenin yoğun olduğu kent merkezleri ve ulaşım ağlarının yoğunlaştığı alanlarda oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Chen, X.Z. ve diğ. (2012) kent içi yeşil parkların kent atmosferine olan serinletici etkisini araştırmak amacıyla, Çin Halk Cumhuriyeti'nin Guangzhou şehrinde gerçekleştirdikleri çalışmada, şehirdeki parklara ait 80 adet istasyonda hava sıcaklıklarını ölçmüş ve landsat TM ısı bantlarından elde ettikleri yüzey sıcaklıkları ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, yeşil park alanları ve etrafını kaplayan çıplak alanlar arasında yaklaşık 1.74°C sıcaklık farkı bulunduğu ve %69 dan fazla yeşil alan oranına sahip, en ve boy oranı birbirine eşit olan parkların yeşil alan oranları ile çevresine olan sıcaklık farkları arasında lineer bir ilişki olduğunu ($R^2 > 0.82$) tespit etmişlerdir. Ayrıca yeşil alan miktarı $10,566 \text{ m}^2$ 'den küçük olan parkların çevresine serinletici etkisinin az olduğunu ve serinletici etkiye sahip olacak parkların yeşil alan oranlarının en uygun olduğu alan aralığının $10,566 \text{ m}^2$ ile $740,000 \text{ m}^2$ olduğunu hesaplamışlardır.

Ogashawara, I. ve Bastos, V.D.B. (2012) Brezilya'nın São José dos Campos şehrinde ısı adalarını tespit için gerçekleştirdikleri çalışmada Landsat TM ısı bantlarından elde ettikleri yüzey sıcaklıklarını, çok-spektrumlu bantlardan elde ettikleri arazi kullanım haritaları ve NDWI, NDVI ve NDBI gibi indeks verilerini kullanmışlardır.

Tang, Q. ve diğ. (2012) vegetation-impervious-soil surface (V-I-S) modeli ve yüzey sıcaklıkları yardımıyla ısı adalarının analizi için yeni bir değerlendirme tekniği

önermişlerdir. Bu amaçla istatistiksel rastgeleştirme ve kappa-hata diyagramlarını entegre ederek girdilerin ve sınıflandırıcıların tutarlılığını araştırmışlardır.

Xiong, Y. ve diğ. (2012) Guangzhou şehrinde gerçekleştirdikleri çalışmada NDVI ve NDBI indeksleri ile ısı adası dağılımları arasındaki ilişkiyi regresyon analizleri ile incelemişlerdir. Sonuç olarak 1990 ile 2009 yılları arasında kentleşmenin hızlı şekilde devam ettiği bölgelerde, nüfusun yoğun olduğu alanlarda ve ağır sanayi bölgelerinde sıcaklık anomalilerinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Deng, C.B. ve Wu, C.S. (2013) geliştirdikleri spektral ayrıştırma ve termal karıştırma (SUTM) metodunu kullanarak, arazi kullanım verileri ile ısı adaları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmada SUTM modelinin performansını geleneksel NDVI, oransal bitki örtüsü ve yapay yüzey alan yüzdesi gibi değerlerin bağımsız değişken olarak kullanıldığı doğrusal ve kuadratik regresyon modelleri ile karşılaştırmış ve SUTM modelinin hesaplanan sıcaklıklarda en düşük karesel ortalama hata (2.98K) ile daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Tan, M.H. ve Li, X.B. (2013) Çin'in Bejing şehrine ait ısı adalarının analizi için kent içi 98 yeşil alanda LST değerleri ile NDVI arasında çoklu regresyon analizleri yapmış ve bu analizler sonucu yeşil alanlar ve yapılaşma alanları arasındaki NDVI farkları, yeşil alanların büyüklükleri ve şekilleri, yeşil alanların soğutucu adalarına etki ettiği gözlemlenmiştir.

Zhang, Y.S. ve diğ. (2013a) çalışmasında kompleks şehir dokusunda, antropojenik ısı çıkışının, hissedilebilir ısı akışı formunda kestiriminin gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda alt-piksel seviyesinde, lineer spektral karışım analizi yardımıyla oransal bitki örtüsü(FVC) değerlerini hesaplamış ve bu değerler gizli ısı akışının (Latent Heat Flux) kestirimini yapmak ve antropojenik ısı çıkışı ile solar ışıınımdan kaynaklı ısı çıkışını birbirinden ayırmak için kullanmıştır.

Zhang, Y.S. ve diğ. (2013b) peyzaj metrikleri, arazi kullanım haritaları ve landsat ısı bantlarından elde edilen yüzey sıcaklık verilerinin, coğrafi bilgi sistemleri yardımı ile analizini ve kentsel ısı adalarının arazi kullanımı ile ilişkisinin araştırılmasını gerçekleştirmiştir.

Zhou, J. ve diğ. (2013) Beijing şehrinin ısı adalarının günlük değişimlerini ASTER, Landsat TM/ETM ısı görüntüleri yardımıyla ve günlük sıcaklık döngüsü genetik algoritması (DTC-GA) yardımıyla modellemiş ve hergün için 1 saatlik aralıklarla yeryüzü sıcaklık haritalarının oluşturmuştur.

Maimaitiyiming, M. ve diğ. (2014) çalışmasında kentsel ısı adalarının çeşitli peyzaj dokusu ile ilişkilerinin incelenmesi için, ısı bantlardan hesaplanan yüzey sıcaklıkları ile PLAND (peyzaj yüzdesi) ED (Kenar yüzdesi) PD (Yama Yüzdesi) gibi peyzaj metrikleri kullanmış ve (MİM) (mutual information measure) metodu ile karşılaştırma analizlerini gerçekleştirmiştir.

Alavipanah, S. ve diğ. (2015) Almanya'nın Münih kenti için, MODIS 8 günlük kompozit MYD11A2 kodlu yüzey sıcaklık görüntüleri ve 2002 ve 2012 yılları arasında CORINE veritabanından elde edilmiş arazi kullanım verisi yardımıyla yüzey ısı adalarının tespiti ve arazi kullanımı ile arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Jiang, Y.T. ve diğ. (2015) NDVI, NDWI, Fv gibi indisler ile LST değerlerinin TVX (Sıcaklık-bitki örtüsü indeksi uzayı) yöntemiyle analizi ve ısı adalarının bu indisler ile ilişkilerinin ortaya koyulmasını çalışmıştır.

Sheng, L. ve diğ. (2015) HJ-1B uydusunun optik bantlarının sınıflandırılması ile arazi kullanım görüntüleri elde etmiş ve ayrıca ısı bantlardan yüzey sıcaklıkları hesaplamıştır. Çalışmada kullanılan bir diğer indikatör de geçirimsiz yüzey yüzdesidir. Çalışma sonucunda geçirimsiz yüzey yüzdesinin, LST ve gece zamanlı yer-yakın hava sıcaklıklarının ilişkilendirilmesinde önemli bir indikatör olduğu belirlenmiştir.

Kentsel ısı aladaları ile ilgili ülkemizde yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Yüksel, Ü.D. (2005) 1985 ile 2005 yılları arasında Ankara metropolitan alanı için gerçekleştirdiği çalışmada yapılaşmış alanların değişimi ile ortaya çıkan yüzey sıcaklık farklılıklarını ve kentsel ısı adalarının bu süreçteki değişimini sabit meteorolojik istasyon verileri yardımıyla incelemiştir.

Kaya, S. ve diğ. (2012) çalışmasında İstanbul metropolitan alanı için kentsel ısı adaları ve şehirleşmedeki büyüme arasındaki ilişkiyi Landsat 5 TM ısı bantları kullanarak incelemiştir. Çalışmada şehir çevresindeki daha sıcak yüzeylerin mekansal dağılımları tanımlanmıştır.

Aslan, N. ve Koc-San, D. (2016) Antalya'nın merkez ilçelerinde gerçekleştirdiği çalışmasında Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI/TIRS verilerini ve random forest sınıflandırıcısını kullanarak elde ettiği arazi örtüsü haritaları, NDVI haritaları ve ısı bantlarından elde ettiği yüzey sıcaklık haritaları yardımıyla arazi örtüsü ile yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Yavaşlı, D.D. (2017) İzmir ilinde kentsel ısı adalarının ve yüzey sıcaklıklarının zamansal ve mekansal değişimlerini incelemek için gerçekleştirdiği çalışmasında, 2000-2015 yılları arasında İzmir ili için Terra ve Aqua uydu platformlarına bağlı MODIS algılayıcısından elde ettiği yüzey sıcaklık görüntülerini kullanmıştır. Çalışmada 2000 ve 2015 yılları arasında kent alanlar ve kırsal alanlar arasındaki sıcak farkları incelenerek kentsel ısı adalarının yoğunluğu incelenmiştir. Kentsel ısı adalarına ait trendi belirlemek için parametrik olmayan Mann-Kendall (M-K) testi kullanılmıştır.

Özkök, M.K. ve diğ. (2017) çalışmasında Terra uydu platformuna ait MODIS algılayıcısından elde ettiği yüzey sıcaklık görüntülerini kullanarak Trakya bölgesindeki Çorlu/Çerkezköy/Ergene/Kapaklı alt bölgelerinde 2000 – 2012 yılları arasındaki arazi yüzey sıcaklıklarının değişimlerini incelemiştir. Çalışmada ayrıca, arazi yüzey sıcaklıklarındaki değişimlerin kentsel gelişim ve planlama sürecindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Dihkan, M. ve diğ. (2018) İstanbul, Bursa, Ankara, İzmir, Gaziantep, Erzurum ve Trabzon illerinde gerçekleştirdiği çalışmasında ASTER uydusuna ait ısı bantlarından elde ettiği yüzey sıcaklık görüntülerini kullanarak bu şehirlerde 1984 ve 2011 yılları arasında oluşan kentsel ısı adası etkilerini belirlemiş ve modellemiştir.

Son otuz yıllık süreçte nüfustaki bu geniş çaplı büyüme, kentleşmede çarpıcı bir artışa yol açmıştır. Yoğun göçle birlikte artan nüfus, yeni yerleşim alanlarının oluşmasına, geçirimsiz yüzeylerin artmasına, doğal alanların yok olmasına neden olmuştur.

2.1 Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmada kullanılan veriler, elde edilme yöntemleri ve kullanım alanlarına göre iki gruba ayrılmaktadır.

a) Meteorolojik Veriler

- MODIS MOD11A1 Yeryüzü sıcaklıkları görüntüleri
- NCEP tarafından üretilen küresel atmosfer profilleri

b) Çok Spektrumlu Landsat Optik Uydu Görüntüleri

- Görünür ve kızıl ötesi bantlar

2.1.1 Meteorolojik veriler (MODIS mod11 görüntüleri)

Landsat ısı bantları ile yüzey sıcaklıklarını hesaplamak amacıyla kullanılacak olan tek-kanal algoritmalarında ısı bantların atmosferik düzeltilmesi için gerekli parametrelerin en önemlilerinden biri toplam atmosferik su buharı değeridir. Bu parametre meteorolojik istasyonlarda gerçekleştirilen ravisonde rasatlarından elde edilebilmektedir. Ravisonde rasatlarına radiosonde veya radyosonda adı verilmektedir. Ravisonde rasatları genel olarak meteorolojik istasyonlardan atmosfere bırakılan balonlara bağlı radyosonda cihazları yardımı ile belirli yüksekliklerde ölçülen basınç, nem, sıcaklık ve rüzgar hızı bilgileridir.

Ülkemizde Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO) ağına bağlı 7 adet ravisonde istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlar, Samsun, İstanbul, Ankara, İzmir, Isparta, Diyarbakır ve Adana şehirlerinde bulunmaktadır.

Toplam atmosferik su buharı değeri ravisonde rasatları ile elde edilebildiği gibi çok-spektrumlu uydu verileri yardımıyla radyometrik olarak da hesaplanabilmektedir. Bu amaçla TERRA uydu platformuna bağlı MODIS algılayıcısının çok-spektrumlu bantlarından edilen MODIS MOD05 kodlu toplam atmosferik su buharı verileri NASA tarafından web tabanlı Earth Science Data Systems (EDS) adı verilen veri sistemi üzerinden ücretsiz olarak yayımlanmaktadır. MOD05 toplam atmosferik su buharı verileri Kaufman, Y.J. ve Gao, B.-C. (1992) tarafından geliştirilen yakın kızıl-ötesi su buharı algoritması (Near-Infrared Water Vapor Algorithm) yardımıyla global

ölçekte 1x1 km lik mekansal çözünürlükte üretilmektedir. Yakın kızıl-ötesi su buharı algoritması hakkında detaylı teorik bilgi NASA (2015a) tarafından yayınlanan algoritma teorik temeller dokümantasyonundan elde edilebilir.

Çalışmada kullanılan bir diğer meteorolojik veri ise yine TERRA platformuna bağlı MODIS algılayıcısının ısı bantlarından elde edilen MODIS MOD11 kodlu küresel yeryüzü sıcaklığı ve yayıcılığı (Land Surface Temperature & Emissivity) verisidir. MOD11 verileri 1x1 km ve 5x5 km olarak iki farklı mekansal çözünürlükte NASA tarafından EDS üzerinden yayımlanmaktadır. MODIS MOD11 verileri ile ilgili detaylı teorik bilgi NASA (2015b) tarafından yayınlanan algoritma teorik temeller dokümantasyonundan elde edilebilir.

2.1.2 Landsat uydu görüntüleri

Landsat, Amerikan Havacılık ve Uzay Ajansı (NASA) ve Amerikan Jeoloji Servisi (USGS) tarafından ortak yürütülen ve 1972 yılından bu yana Dünya yüzeyinin sürekli olarak algılanması ve gözlenmesi için uydu verileri sağlayan bir uydu programıdır. Landsat uydu verileri, jeoloji, haritacılık, planlama ve tarım gibi doğa bilimleri alanlarında çalışan araştırmacılar için önemli bir kaynaktır.

Bu çalışmada, çalışma bölgesi olan İstanbul, USGS tarafından Landsat verilerinin kataloglanması için tasarlanan WRS-2 referans sisteminde iki görüntü ile tanımlanmaktadır. WRS-2 referans sisteminde Landsat görüntüleri Dünya yüzeyi üzerinde kapladıkları alanlara göre kataloglanarak satır ve sütun sayıları ile ifade edilmektedir. İstanbul idari sınırları WRS-2 referans sisteminde satır ve sütun sayıları 180-31 ve 180-32 olan iki görüntü ile kaplanmaktadır. Bu sebeple, çalışma bölgesine ait görüntüler her tarih için çiftler halinde temin edilmiştir.

Uygulamada kullanılan Landsat uydu görüntüleri Haziran 1984, Temmuz 2000, Temmuz 2003, Haziran 2007, Haziran 2009, Haziran 2011 ve Temmuz 2017 tarihli olmak üzere yedi çift Landsat5 TM, Landsat 8 OLI/TIRS uydu verileridir (Çizelge 2.1). Tüm Landsat verileri USGS'nin yeryüzü kaynakları izleme ve bilimi (EROS) merkezi tarafından yürütülen ve "Bilimsel Veri İşleme Mimarisi" (Science Processing Architecture (ESPA)) adı verilen veri dağıtım merkezinden ücretsiz olarak elde edilmiştir. İlk altı çift; Haziran 1984, Temmuz 2000, Temmuz 2003, Haziran 2007, Haziran 2009 ve Haziran 2011 tarihli Landsat görüntüleri ESPA arayüzü üzerinden edinilen "Collection-1 (C1) Higher Level Surface Reflectance" adı verilen ve

atmosferik düzeltmeleri 6s ışımsal transfer kodu yardımıyla MODIS algılayıcısına ait atmosferik düzeltme rutinleri ile gerçekleştirilen yüzey yansıtım görüntüleridir. Bu görüntülerin atmosferik düzeltmeleri Maryland Üniversitesi ve NASA tarafından geliştirilen LEDAPS adı verilen yazılım ile gerçekleştirilmektedir. En son çift olan Temmuz 2017 tarihli Landsat-8 OLI verisi de yine USGS ESPA tarafından yayımlanan atmosferik düzeltmesi yapılmış, “Collection-1 (C1) Higher Level Landsat 8 Surface Reflectance Code (LaSRC)” adı verilen yüzey yansıtım görüntüleridir.

Çalışmada atmosferik düzeltilmesi yapılmış verilerin yanısıra atmosfer-üstü (TOA) parlaklık sıcaklığı ve yeryüzü sıcaklığı değerlerini hesaplamak amacıyla NASA ESPA arayüzü üzerinden her bir 7 çift görüntü için C1 Level-1 adı verilen 1. Seviye radyometrik kalibrasyonu ve topografik düzeltilmesi yapılmış Landsat5 TM ve Landsat 8 TIRS görüntüleri elde edilmiştir. Landsat TM algılayıcısına ait ısı bant olan 6. bant ve Landsat 8 TIRS algılayıcısına ait ısı bantlarından olan 10. bant sıcaklık görüntülerini hesaplamak için kullanılmıştır. Kullanılan tüm Landsat verilerine ait detaylı bilgi Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Çalışmada kullanılan Landsat verileri.

Uydu	Algılayıcı	İşleme Seviyesi	WRS-2 Satır/Sütun	Veri Tarihi	Bantlar/Dalgaboyu(μm)
Landsat-5 TM		C1 Higher Level (LEDAPS) Surface Reflectance	180/31 180/32	12.06.1984	Bant-1 / 0.45-0.52
				26.07.2000	Bant-2 / 0.52-0.60
				03.07.2003	Bant-3 / 0.63-0.69
				12.06.2007	Bant-4 / 0.76-0.90
				17.06.2009	Bant-5 / 1.55-1.75
				23.06.2011	Bant-7 / 2.08-2.35
Landsat-5 TM		C1 Level -1	180/31 180/32	12.06.1984	Bant-6 / 10.40-12.5
				26.07.2000	
				03.07.2003	
				12.06.2007	
				17.06.2009	
				23.06.2011	
Landsat-8 OLI		C1 Higher Level (LASRC) Surface Reflectance	180/31 180/32	09.07.2017	Bant-1 / 0.43-0.45
					Bant-2 / 0.45-0.51
					Bant-3 / 0.53-0.59
					Bant-4 / 0.64-0.67
					Bant-5 / 0.85-0.88
					Bant-6 / 1.57-1.65
					Bant-7 / 2.11-2.29
Landsat-8 TIR		C1 Level -1	180/31 180/32	09.07.2017	Bant-10 / 10.6-11.9

2.2 Kullanılan Yöntemler

2.2.1 Yüzey sıcaklık görüntüleri (LST) hesaplama yöntemleri

Yüzey sıcaklıkları hesaplama yöntemleri Landsat verilerinin elde edildiği tarihlerdeki meteorolojik verilerin uygunluğu dikkate alındığında iki grupta toplanmaktadır. Yüzey sıcaklıklarının hesaplanması aşamasında önemli parametrelerden biri olan atmosferik geçirgenlik katsayısı, meteorolojik verilerden toplam su buharı yardımıyla elde edilmektedir. Toplam atmosferik su buharı iki şekilde hesaplanmaktadır.

- a) Çalışma bölgesine ait atmosferik profil bilgileri ve ışımsal transfer kodları (MODTRAN) yardımıyla.
- b) Diğer ise yakın kızılötesi algoritmalar yardımıyla uzaktan algılama teknikleri ile hesaplanan Terra uydusuna ait Modis MODIS MOD05 su buharı verileri.

Çalışmada, 2000 ve öncesine ait Landsat görüntüleri için MOD05 görüntülerinin sağlanması imkansız olduğundan dolayı ravisonde rasatlarına ihtiyaç duyulmuştur. Çalışma bölgesinde bulunan İstanbul/Göztepe radyosonda istasyonundan elde edilen verilerin kısıtlı olması ve MODTRAN yardımıyla modellenmesi gerektiğinden dolayı bu tarihten önceki ısı görüntülerin işlenmesinde NASA'ya ait Barsi, J.A. ve diğ. (2003) tarafından geliştirilen MODTRAN tabanlı atmosferik düzeltme programı kullanılmıştır.

2.2.1.1 Işımsal transfer denklemi yöntemi

Bu yöntem ile yüzey sıcaklıklarının hesabında temel olarak iki aşama vardır. İlk aşamada ışımsal transfer denklemi yardımıyla atmosferik düzeltme işlemi gerçekleştirilip, atmosfer-üstü, uyduda kaydedilen ısı ışınlam, yüzey ısı ışınlam değerlerine dönüştürülür. Daha sonra ters Planck fonksiyonu yardımıyla ısı ışınlam değerlerinden yüzey sıcaklıkları hesaplanır. Işımsal transfer denkleminin genel hali aşağıdaki şekildedir (2.1).

$$L_{uydu} = [\epsilon_{\lambda} B_{\lambda}(T_S) + (1 - \epsilon_{\lambda}) L_{atm,\lambda}^{\downarrow}] \tau_{\lambda} + L_{atm,\lambda}^{\uparrow} \quad (2.1)$$

Bu denklemde $L_{atm,\lambda}^{\uparrow}$ herhangi bir λ dalga boyunda atmosferden uyduya doğru yukarı yönde yapılan ışınlamı (upwelling radiance), τ_{λ} atmosferin λ dalga boyundaki geçirgenlik katsayısını, $L_{atm,\lambda}^{\downarrow}$, λ dalga boyunda atmosferden yeryüzüne doğru aşağı

yönde yapılan ışıını (downwelling radiance), ε_λ , yeryüzü bileşenlerinin λ dalga boyundaki yayıcılık (emissivity) değerini, $B_\lambda(T_s)$ ise T_s sıcaklık değerine sahip yeryüzü bileşenlerinin λ dalga boyunda gerçekleştirdiği Planck ışıını kanunu ile ifade edilen ışıını değeridir. Burada τ_λ atmosferik geçirgenlik katsayısını ifade etmekte olup, atmosferik profil bilgileri ve bu bilgilerin MODTRAN, LOWTRAN, 6s vb. ışıınısal transfer kodları kullanılarak gerçekleştirilen similasyonları ile hesaplanmaktadır.

ışıınısal transfer denklemi yardımıyla yüzey objelerine ait ısı ışıının hesaplanabilmesi için $B_\lambda(T_s)$ yüzey ışıını değerinin çekilip denklemin 2.2’de gösterilen formuna dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$B_\lambda(T_s) = \frac{L_{uydu_\lambda} - L_{atm,\lambda}^\uparrow}{\varepsilon\tau} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} L_{atm,\lambda}^\downarrow \quad (2.2)$$

Bu çalışmada NASA’ya ait Landsat Isıl görüntülerinin atmosferik düzeltmesinde kullanılan, MODTRAN tabanlı web modülü kullanılmıştır (Url-2). Bu program yardımıyla ilgili tarihteki Landsat görüntüsüne ait görüntü elde edilme zamanı, algılayıcı duyarlılık fonksiyonu ve opsiyonel olarak ilgili tarihteki yüzey meteorolojik koşulları (Bölgenin ortalama rakımı, hava sıcaklığı, basınç ve bağıl nem) bilgileri girilerek, ışıınısal transfer yönteminde kullanılacak olan geçirgenlik yeryüzüne doğru yapılan ışıını ve atmosfer tarafından yukarı yönde yapılan ışıını değerleri hesaplanabilmektedir. Web tabanlı bu modül NOAA’ya bağı çevre tahmin merkezi (NCEP) tarafından global ölçekte sağlanan atmosferik profil bilgilerini kullanmaktadır. Çalışma bölgesi için atmosferik profil bilgileri program arayüzü üzerinden iki şekilde seçilebilmektedir. Bu seçeneklerden ilki görüntü merkezinin coğrafi koordinatlarına en yakın profil bilgilerini kullanırken, diğr seçenek ile görüntü merkezinin coğrafi koordinatlarına yakın olan birden fazla atmosferik profilin enterpolasyonu ile elde edilen profil verilerini kullanmaktadır. Programın arayüzü Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

Year:	Month:	Day:
GMT Hour:	Minute:	
Latitude: + is North, - is South	Longitude: + is East, - is West	
☐ Use atmospheric profile for closest integer lat/long help ☒ Use interpolated atmospheric profile for given lat/long help		
☐ Use mid-latitude summer standard atmosphere for upper atmospheric profile help ☒ Use mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile help		
☐ Use Landsat-8 TIRS Band 10 spectral response curve ☒ Use Landsat-7 Band 6 spectral response curve ☐ Use Landsat-5 Band 6 spectral response curve ☐ Output only atmospheric profile, do not calculate effective radiances		
Optional: Surface Conditions (If you do not enter surface conditions, model predicted surface conditions will be used. If you do enter surface conditions, all four conditions must be entered.)		
Altitude (km):	Pressure (mb):	
Temperature (C):	Relative Humidity (%):	
Results will be sent to the following address: Email:		
Calculate Clear Fields		

Şekil 2.1 : Atmosferik düzeltme programı arayüzü (Url-2).

Yüzey sıcaklıklarını hesaplamadaki ikinci aşama ise ışımsal transfer denklemi ile hesaplanan yeryüzüne ait ısı ışınmı değerlerinin ters Planck fonksiyonu yardımıyla sıcaklık değerlerine dönüştürülmesidir. Landsat uydusu için ters Planck fonksiyonunun genel hali aşağıdaki şekildedir (2.3).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (2.3)$$

Bu denklemde, T_s yeryüzü sıcaklıklarını, L_λ ışımsal transfer denklemi ile hesaplanan yüzey ısı ışınmı değerlerini, K_1 ve K_2 değerleri ise Landsat uydusuna ait ısı algılayıcının ısı dönüşüm sabitleridir. Landsat 5 TM ve Landsat 8 TIRS algılayıcılarına ait ısı dönüşüm sabitleri Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 : Landsat ısı bantları için ısı dönüşüm sabitleri.

Uydu	Algılayıcı	Bant	K_1	K_2
Landsat 5	Thematic Mapper (TM)	Bant 6	607.76	1260.56
Landsat 8	Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Bant 10	774.885	1321.0789

2.2.1.2 Tek-kanal (single-channel) yöntemi

Yeryüzü sıcaklıklarının Landsat TM algılayıcısı ile elde edilmesinde, ilgili ısı algılayıcısının ısı kızılötesi spektrumunda algılama yapan sadece bir bandı olmasından dolayı ısı ışıının atmosferde uğradığı yutulunun miktarını hesaplamak zordur. Bu durumda, ışıımsal transfer denklemi ile gerçekleştirilecek çözümlerde meteorolojik parametrelere, yani atmosferik profil bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu profil bilgilerine ise çoğu zaman çalışma bölgesine ait herhangi bir meteorolojik istasyon bulunmamasından dolayı erişmek zor veya mümkün olmamaktadır.

Bu sebepten dolayı Qin, Z. ve diğ. (2001) gerçekleştirdikleri çalışmasında Landsat TM ısı algılayıcısı ile atmosferik düzeltme işlemini gerçekleştirerek yeryüzü sıcaklıklarının hesaplanması işleminde atmosferik profil bilgilerine duyulan gereksinimi ortadan kaldırmak amacıyla tek-kanal yöntemini geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntemin genel formülasyonu şu şekildedir (2.4).

$$T_s = \frac{1}{C_6} [a_6(1 - C_6 - D_6) + (b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6)T_6 - D_6T_a] \quad (2.4)$$

Yukarıdaki denklemdeki parametrelerden; $C_6 = \varepsilon\tau$ şeklinde ve $D_6 = (1 - \tau)[1 + (1 - \varepsilon)\tau]$ şeklinde ifade edilmektedir. a_6 ve b_6 ısı dönüşüm katsayı değerleri sırasıyla $a_6 = -67.355351$ ve $b_6 = 0.458606$ dır. T_6 değeri Landsat TM algılayıcısının ısı bandı olan 6. bandında kaydedilen atmosferüstü parlaklık sıcaklığı değerini, T_a parametresi ortalama atmosfer sıcaklığı değerini, C_6 ve D_6 parametrelerindeki τ ve ε katsayıları ise sırasıyla yüzey bileşenlerinin yayıcılık katsayısını ve atmosferik geçirgenlik katsayısını temsil etmektedir.

Bu yöntemde LOWTRAN 7 ışıımsal transfer kodu içinde yer alan dört standart atmosfer kullanılmıştır. Işıımsal transfer kodları içinde bulunan standart profiller, atmosfer için açık gökyüzü ve türbülanssız genel durumları ifade eden ve gerçek profil verilerinden hesaplanan bilgilerdir (Qin, Z. ve diğ., 2001).

Qin, Z. ve diğ. (2001) çalışmasında Denklem 3.4'te verilen T_a ortalama atmosfer sıcaklığı değerinin T_0 yakın yüzey sıcaklıkları ile kestirimini yapabilmek amacıyla LOWTRAN 7 ışıımsal transfer kodu ile simülasyonlar gerçekleştirmiş ve bu iki değişken arasında dört standart atmosfer için aşağıdaki lineer bağıntıları hesaplamıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Standart atmosfer profilleri ve ortalama atmosfer sıcaklığı bağıntıları (Qin, Z. ve diğ., 2001).

Standart Atmosfer Profili	Bağıntı
USA 1976	$T_a = 25.9396 + 0.88045T_0$
Standart Tropik	$T_a = 17.9769 + 0.91715T_0$
Standart Orta-Enlem Yaz	$T_a = 16.0110 + 0.92621T_0$
Standart Orta-Enlem Kış	$T_a = 19.2704 + 0.91118T_0$

Qin, Z. ve diğ. (2001) ayrıca, tek-kanal algoritmasında yüzey sıcaklıklarının Landsat TM 6. bandı ile hesaplanmasındaki meteorolojik parametrelerden bir diğeri olan τ atmosferik geçirgenlik katsayısının toplam atmosferik su buharı değerleri yardımıyla kestirimi amacıyla LOWTRAN simülasyonları gerçekleştirmiş ve farklı hava sıcaklıkları için bu iki parametre arasında aşağıdaki lineer bağıntıları hesaplamıştır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 : Farklı sıcaklık profilleri için toplam su buharı değeri ve atmosferik geçirgenlik arasındaki ilişkiler (Qin, Z. ve diğ., 2001).

Sıcaklık Profili	Su Buharı (w) g/cm^2	Atmosferik Geçirgenlik
Düşük Hava Sıcaklığı	0.4-1.6	$\tau_6 = 0.982007 - 0.09611w$
	1.6-3.0	$\tau_6 = 1.053710 - 0.14142w$
Yüksek Hava Sıcaklığı	0.4-1.6	$\tau_6 = 0.974290 - 0.08007w$
	1.6-3.00	$\tau_6 = 1.031412 - 0.11536w$

2.2.2 Yüzey yayıcılık (emissivity) görüntüleri hesaplama yöntemleri

Uydu algılayıcılarının ısı bantlarından radyometrik olarak elde edilen ısı ışıınım değerleri ile yeryüzü sıcaklıklarının kestiriminin yapılmasında yayıcılık değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bir ısı bant, atmosferik etkilerden arındırıldıktan sonra dahi elde edilen değerler yüzey sıcaklıkları değildir. Bu değerler, parlaklık sıcaklığı adı verilen ve tüm yüzey için yayıcılık değerinin 1 olarak kabul edildiği sıcaklıklardır.

Isıl kızıl-ötesi spektrumda N adet ısı bantı sahip bir algılayıcı düşündüğümüzde parlaklık sıcaklıklarının yüzey sıcaklıklarına dönüşümü işleminde N adet dönüşüm denklemi oluşmaktadır. Fakat yayıcılık parametresi ile beraber bilinmeyen sayısı N+1'dir (Valor, E. & Caselles, V., 1996).

Yukarıda belirtilen problemin çözümü amacıyla yüzey yayıcılık değerlerinin hesaplanması için literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Aşağıda bu yöntemlerden tek bantlı ısı görüntülerin yayıcılık düzeltmeleri amacıyla en yaygın kullanılan üç yöntem açıklanmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla şu şekildedir.

- a) Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi
- b) NDVI Eşikleme Yöntemi
- c) Spektral Karışım Analizi Yöntemi

2.2.2.1 Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi ile yayıcılık görüntülerinin hesabı

Bu yöntemlerden ilki olan sınıflandırma yönteminde, Landsat görünür ve kızılötesi bantları yardımıyla kontrollü sınıflandırma işlemi ile arazi kullanım haritaları oluşturulmaktadır. Daha sonra, bu haritalarda oluşan her bir sınıf için ilgili sınıfa ait nesnelerin bilinen ortalama yayıcılık değerleri atanmaktadır. Sınıflandırma yöntemi ile yayıcılık haritalarının oluşturulması yönteminin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi çeşitli objelerin yansıtım değerlerini içeren karışık piksel durumunda sadece bir objeye ait yayıcılık değerinin atanabilmesi ve diğerlerinin göz ardı edilmesine yol açmaktadır.

2.2.2.2 NDVI eşikleme yöntemi ile yayıcılık görüntülerinin hesabı

Normalize edilmiş bitki fark indeksi eşikleme ile yüzey bileşenlerine ait yayıcılık değerlerinin hesaplanmasına ilişkin bu yöntem ilk defa Sobrino, J.A. ve Raissouni, N. (2000) tarafından önerilmiştir. Sobrino, J.A. ve Raissouni, N. (2000) çalışmasında AVHRR uydu algılayıcısının kırmızı ve yakın kızıl-ötesi bantlarını kullanmıştır. NDVI eşikleme yönteminin genel formülasyonu şu şekildedir (2.5).

$$\varepsilon = \begin{cases} \varepsilon_T & NDVI < NDVI_T \\ \varepsilon_B & NDVI > NDVI_B \\ \varepsilon_B P_B + \varepsilon_T (1 - P_B) + d\varepsilon & NDVI_T \leq NDVI \leq NDVI_B \end{cases} \quad (2.5)$$

Bu formülde $NDVI_T$ görüntüde toprak alanlar için NDVI eşik değerlerini, $NDVI_B$ bitki örtüsü kaplı alanlar için NDVI eşik değerini, ε_T ve ε_B değerleri sırasıyla çıplak toprak ve bitki örtüsü için ortalama yayıcılık değerlerini, ε değeri ise eşikleme işlemi sonrası piksellere atanacak yayıcılık değerini ifade etmektedir. Diğer bir değer olan P_B bitki örtüsü oranını belirtmekte ve aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir (2.6).

$$P_B = \left(\frac{(NDVI - NDVI_T)}{(NDVI - NDVI_B)} \right)^2 \quad (2.6)$$

Denklem 2.5'te gösterilen $d\varepsilon$ ifadesi ise yeryüzü objelerinin geometrisin yayıcılık değerleri üzerindeki etkisini ifade etmekte olup şu şekilde formüle edilmektedir (2.7).

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_T)\varepsilon_T(1 - P_B)F\varepsilon_B \quad (2.7)$$

Denklem 2.7'de F ile gösterilen değer yeryüzü topografyası için şekil faktörü katsayısıdır. Şekil faktörü katsayısı yeryüzü şekillerinin farklı geometrik dağılımları dikkate alındığında ortalama değeri 0.55 dir (Sobrino, J.A. ve diğ., 2004).

Denklem 2.5'te dikkate alındığında NDVI eşikleme yönteminin genel iş akışı şu şekildedir;

- NDVI değeri, toprak için eşik değer olarak verilen $NDVI_T$ değerinden küçük ise söz konusu piksel çıplak toprak olarak kabul edilir ve çıktı yayıcılık görüntüsünde değeri ε_T çıplak toprak için yayıcılık değeri olarak atanır
- NDVI değeri, bitki örtüsü için eşik değer olarak verilen $NDVI_B$ değerinden büyük ise söz konusu piksel bitki örtüsü kabul edilir ve çıktı yayıcılık görüntüsünde değeri ε_B bitki örtüsü için yayıcılık değeri olarak atanır
- NDVI değeri, $NDVI_T$ ve $NDVI_B$ değerleri arasında veya bunlara eşit bir değere sahip ise söz konusu piksel “karışık piksel” olarak ifade edilir ve yayıcılık değeri $\varepsilon_B P_B + \varepsilon_T(1 - P_B) + d\varepsilon$ denklemi yardımıyla hesaplanır.

2.2.2.3 Spektral karışım analizi yöntemi ile yayıcılık görüntülerinin hesabı

Kinetik sıcaklığın bir kestirimi olan yüzey sıcaklıklarının doğru hesaplanabilmesi için, ısı bantlarından elde edilen sıcaklık görüntülerinin yayıcılık değerleri yardımı ile düzeltilmesi gerekmektedir. Yüzey yayıcılık değerlerini hesaplama yöntemlerinden biri olan NDVI eşikleme yönteminde her ne kadar karışık piksel durumu gözetilse de, bitki örtüsü veya toprak alanlar için tüm piksel değerlerinin saf yüzey bileşeni olduğu varsayılır. Landsat gibi orta mekansal çözünürlüklü optik uydu görüntülerinde kompozit olmayan saf yüzey bileşenlerinin bulunduğu pikseller çok nadirdir. Uygulama alanı olan İstanbul gibi şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde genellikle görüntüdeki pikseller farklı yüzey bileşenleri içermektedir. Bu yüzden görüntüdeki tüm pikseller için piksel altı seviyede kompozit yansıtım değerlerini hesaplama

olanağı sağlayan spektral karışım analizleri kentsel bölgeler için yayıcılık görüntülerinin hesabında daha iyi sonuçlar verecektir.

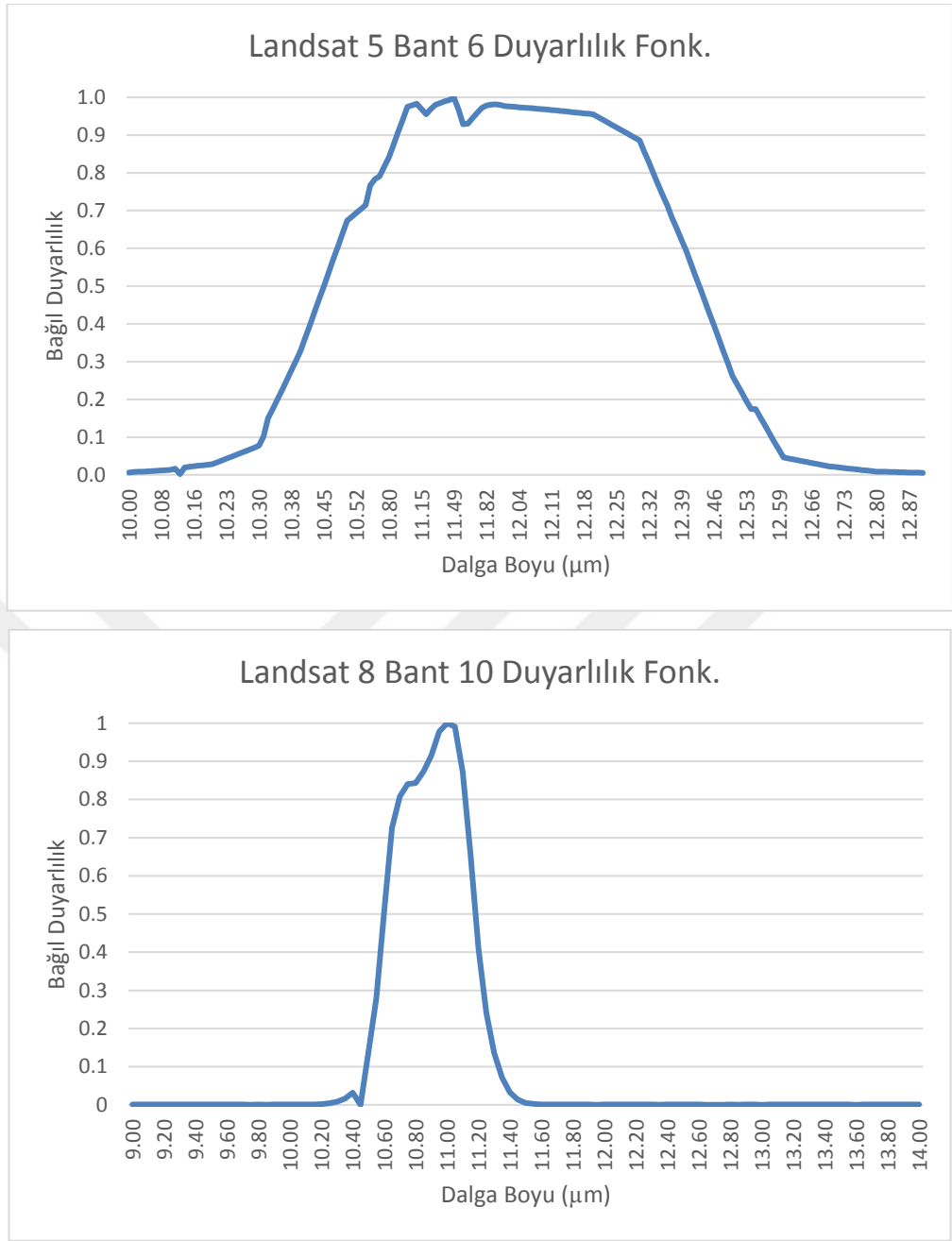
Spektral karışım analizlerinde, spektro-radyometrelerle bileşenler üzerinde farklı dalga boylarında yapılan ölçmelerden elde edilen bileşen numunesine ilişkin yansıtım değerleri veya hiper-spektral uydu verilerinden elde edilen saf yüzey bileşenlerinin yansıtım değerleri kullanılır. Elde edilen bu saf yüzey bileşenlerine ait yansıtım değerleri daha sonra spektral karışım analizlerine tabi tutulacak algılayıcının bant duyarlılık fonksiyonları ile konvole (katlama) edilir. Bu şekilde saf yüzey bileşenlerine ilişkin yansıtım değerlerinin bant karşılık yansıtım değerleri hesaplanmış olur. Yüzey bileşenlerinin bant karşılık yansıtım değerleri kullanılarak gerçekleştirilen spektral karışım analizi işlemi sonucunda bileşen sayısı kadar fraksiyon görüntüleri oluşur. Bu fraksiyon görüntülerindeki her bir piksel değeri, o pikseldeki yüzey bileşeninin kompozit yansıtıma olan katkı oranını ifade eder. Herhangi bir piksel için tüm fraksiyon görüntülerindeki karşılık değerlerin toplamı 1'e eşit olmaktadır. Spektral karışım analizleri yardımıyla yayıcılık görüntülerinin hesaplanmasında bileşenlere ait bu fraksiyon değerleri kullanılmaktadır.

2.2.2.4 Saf yüzey bileşenlerinin yayıcılık değerlerinin hesaplanması

NDVI eşikleme yöntemi ve spektral karışım analizleri yöntemi ile yayıcılık görüntülerinin hesaplanması işleminde saf yüzey bileşenlerinin (bitki, toprak ve geçirimsiz yüzey) öncül yayıcılık bilgileri gerekmektedir. Bu yayıcılık bilgileri, arazide yapılacak radyometrik ölçmelerden veya spektral kütüphanelerden temin edilebilmektedir. İlgili yollarla elde edilen yüksek çözünürlüklü spektraların yayıcılık görüntüleri hesabında kullanılabilmesi için ısı bandındaki karşılıklarının hesaplanması gerekmektedir. Bu işlem algılayıcının bant duyarlılık fonksiyonu ile yüzey bileşeninin spektralarının konvolüsyonu olarak ifade edilir ve şu şekilde formüle edilir. (2.8)

$$e_i = \frac{\int_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} f_i \varepsilon(\lambda) \partial \lambda}{\int_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda_2} f_i \partial \lambda} \quad (2.8)$$

Bu denklemde f_i , Landsat algılayıcısının ısıl bandının duyarlılık fonksiyonunun (λ) dalga boyunda aldığı değeri, $\varepsilon(\lambda)$ ilgili spektranın λ dalga boyundaki yayıcılık değerini ifade etmektedir. Landsat 5 TM bant 6 ve Landsat 8 TIRS bant 10 ısıl bantlarına ait duyarlılık fonksiyonlarına ait grafikler Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Landsat algılayıcı duyarlılık fonksiyonları (Url-2).

2.2.3 Aritmetik bant işlemleri ve index görüntüleri

Çalışmada kullanılan NDVI, literatürde yaygın olarak kullanılan bir bitki indeksidir. Bitki örtüsündeki klorofil içeriğine olan duyarlılığı ve topoğrafyadan kaynaklanan gölge gibi gürültü etkilerini, atmosferik etkileri ve farklı güneş yükseklik açılarından kaynaklanan aydınlanma değişimlerini, normalizasyon yolu ile minimize etmesi bu indeksin en önemli özellikleridir.

NDVI indeksi şu şekilde hesaplanmaktadır (2.9);

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (2.9)$$

Burada NIR bant, Yakın-kızılötesi spektrumda elde edilen spektral yansıtım değerlerini, Red bant ise kırmızı spektrumda elde edilen spektral yansıtım değerlerini ifade etmektedir.

Arazi örtüsü değişimlerini incelemek amacıyla kullanılan ikinci indeks ise Zha, Y. ve diğ. (2003) tarafından geliştirilen ve Landsat TM bantları ile yerleşim alanlarının otomatik olarak haritalanması için tasarlanmış olan NDBI indeksidir. NDBI indeksi yapay yeryüzü nesnelerinin ortak kızılötesi spektrumda, yakın-kızılötesi spektrumdakine göre daha fazla yansıtım yapma özelliğini temel almaktadır. NDBI indeksi şu şekilde hesaplanmaktadır (2.10).

$$NDBI = \frac{\rho_{MIR} - \rho_{NIR}}{\rho_{MIR} + \rho_{NIR}} \quad (2.10)$$

Burada ρ_{MIR} ve ρ_{NIR} sırasıyla orta-kızılötesi ve yakın-kızılötesi bölgedeki spektral yansıtım değerlerini ifade etmektedir.

Çalışmada arazi örtüsü değişimleri yanı sıra kentsel ısı adalarının dağılımını ve etkilerini incelemek amacıyla görünür bantlar harici sadece ısı bantlarının kullanıldığı kentsel ısı alanı değişimi indeksi (UTFVI) kullanılmıştır. UTFVI indeksi Zhang, Y. ve diğ. (2006) tarafından geliştirilmiştir ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (2.11).

$$UTFVI = \frac{T_s - T_m}{T_s} \quad (2.11)$$

Burada T_s ısı görüntülerden hesaplanan yeryüzü sıcaklıklarını T_m çalışma alanı için ortalama yeryüzü sıcaklık değerini ifade etmektedir. Zhang, Y. ve diğ. (2006) çalışmasında 6 adet ekolojik değerlendirme indisini kullanarak UTFVI indeksi değerleri için 6 adet değerlendirme seviyesi hesaplamıştır. Bu seviyeler aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 : UTFVI indeksi için ekolojik değerlendirme seviyeleri ve eşik değerleri.

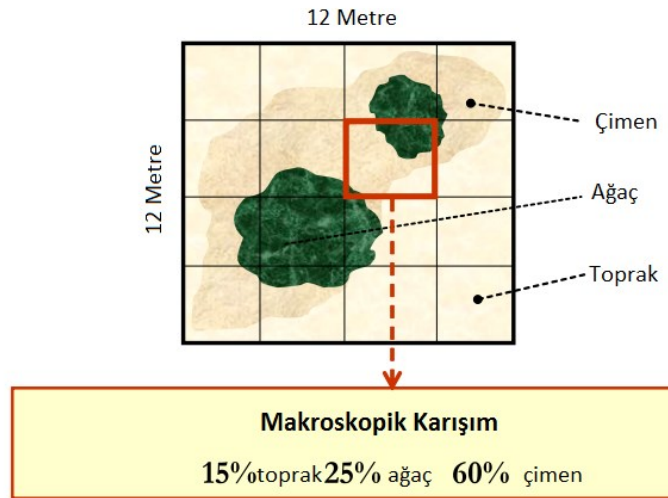
UTFVI Eşik Değeri	Kentsel Isı Adası Etkisi
0<	Yok
0.000–0.005	Zayıf
0.005–0.010	Orta Seviye
0.015–0.015	Güçlü
0.015–0.020	Daha Güçlü
>0.020	Çok Güçlü

2.2.4 Spektral karışım analizleri

Orta mekansal çözünürlüklü uydu görüntülerinde her piksel farklı yüzey bileşenlerinden gelen ışıınım değerlerinin bir kombinasyonu olarak algılayıcıda kaydedilmektedir. Literatürde bu durum (mixed pixel) karışık piksel olarak ifade edilmektedir.

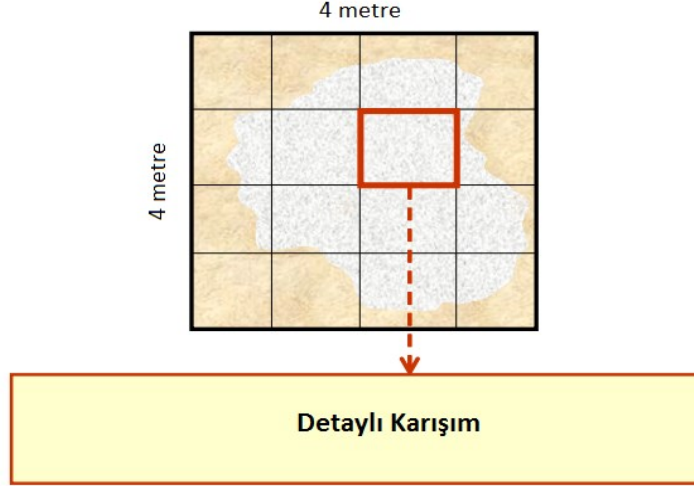
Karışık piksel durumu iki şekilde oluşmaktadır;

- Heterojen yapıdaki yüzey bileşenleri uydu görüntüsündeki bir pikselde tek ışıınım değeri olarak algılanıyorsa (Şekil 2.3);



Şekil 2.3 : Heterojen yüzey bileşenleri için karışık piksel (Url-3).

- Homojen yapıdaki, toprak ve mineral gibi yüzey bileşenlerinin karışımı ile oluşan karışık piksel durumu (Şekil 2.4);



Şekil 2.4 : Homojen yüzey bileşenleri için karışık piksel durumu (Url-3).

Spektral karışım analizlerinde amaç, karışık piksellerin kompozit yansıtımını oluşturan saf yüzey bileşenlerinin belirlenmesi ve bu bileşenlerin kompozit yansıtımdaki oranlarını gösteren fraksiyon görüntülerinin oluşturulmasıdır. Bu işlem genellikle spectral unmixing (Spektral ayrıştırma) olarak ifade edilmektedir.

Spektral ayrıştırma tekniği çalışma alanındaki yüzey karakteristiklerine göre 2 duruma ayrılır.

- Lineer Spektral Ayrıştırma

Eğer yüzey bileşenleri, mekansal olarak ayrık durumda ise (heterojen), karışık pikselin spektrumu yüzey bileşenlerinin spektrumunun bileşenlerin alanlarına göre ağırlıklandırılmış lineer bir kombinasyondur.

- Lineer Olmayan Spektral Ayrıştırma

Eğer yüzey bileşenleri birbiri ile çok yakın ve karışık durumda ise (Örneğin, bir topraktaki farklı mineraller) elektromanyetik ışınım çoklu yansıtım yaparak birden fazla bileşen ile etkileşime girecektir. Bu durumda karışık pikselin spektrumu ile bileşenlerin spektrumu arasında lineer olmayan bir ilişki bulunacaktır.

2.2.4.1 Lineer spektral karışım analizi

Yüzey bileşenleri, mekansal olarak heterojen olduğu durumda, karışık pikselin spektrumunun yüzey bileşenlerinin spektrumunun bileşenlerin alanlarına göre ağırlıklandırılmış lineer bir kombinasyonu olduğundan bir önceki bölümde bahsedilmişti. Bu durumda kompozit yansıtımın saf yüzey bileşenlerinin yansıtımından belirlenmesi amacıyla Lineer Spektral Karışım Ayırıştırma (Linear Spectral Mixture Analysis)(LSMA) modeli kullanılmaktadır (Roberts, D.A. ve diğ., 1998).

Çalışma alanı olan İstanbul heterojen yüzey bileşenleri içeren yoğun yerleşime sahip bir metropol olduğundan dolayı kullanılacak spektral ayırıştırma yöntemi olarak LSMA seçilmiştir. Bu model şu şekilde ifade edilmektedir (2.12).

$$R_b = \sum_{i=1}^N f_i R_{i,b} + e_b \quad (2.21)$$

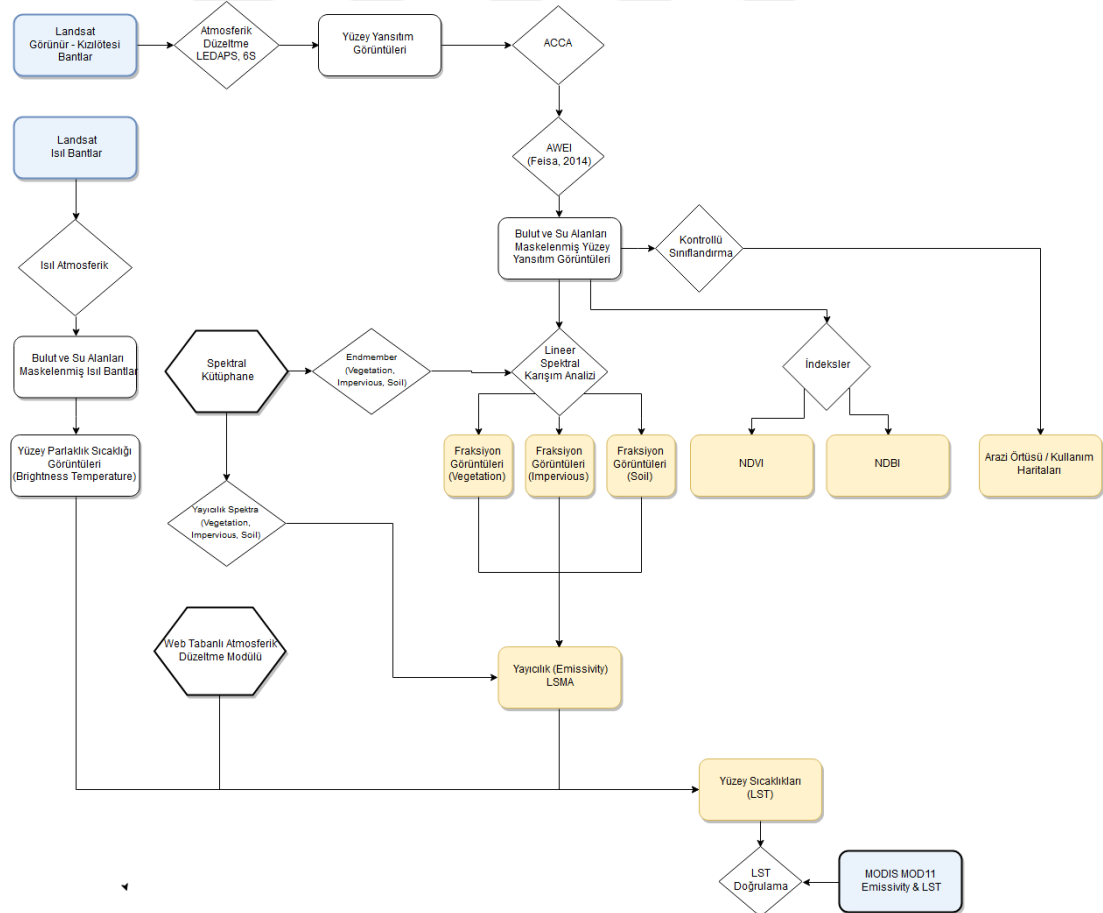
Burada, R_b karışık piksele bir b bandındaki ait kompozit yansıtım değerini, N toplam saf yüzey bileşeni sayısını, f_i yüzey bileşenin fraksiyonunu, $R_{i,b}$ ise herhangi bir yüzey bileşeninin b bandındaki yansıtım değerini ifade etmektedir.



3. UYGULAMA VE BULGULAR

Bu tez çalışmasında özellikle 1980’li yılların sonlarına doğru hızla göç olarak büyümeye başlayan ve bunun sonucunda kentleşmede hızlı bir büyüme sürecine giren İstanbul metropolitan alanında, bu süreçte meydana gelen arazi örtüsü değişimleri zamansal ve mekansal olarak ortaya koyulmuş, kent alanlarındaki bu büyüme ile kentsel yüzey ısı adaları arasındaki ilişkiler ısı ve çok spektrumlu uydu verileri kullanarak belirlenmiştir. Karar vericiler için mevcut durumun analizini yapabilmelerine ve ileriye yönelik strateji geliştirmelerine yardımcı olacak altlıklar hazırlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, yapılan çalışmalara ait iş akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Çalışmanın iş akış şeması.

3.1 Isıl ve Çok-Spektrumlu Görüntülerin Ön İşlemesi

3.1.1 Isıl görüntülerin radyometrik kalibrasyonu

Çalışmada kullanılan Landsat5 TM ve Landsat 8 TIRS algılayıcılarına ait ısı görüntülerin parlaklık (DN) değerlerinin fiziksel büyüklük olan radyans değerlerine dönüşümü iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunlardan biri olan kazanç-sapma yöntemi şu şekilde ifade edilir(3.1);

$$L_{\lambda} = gain \times DN + bias \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de L_{λ} , spektral radyans değerini ifade etmektedir ve birimi $W/m^2Sr\mu m$ ’dir. Kazanç ve sapma değerleri ise radyometrik kalibrasyonu yapılacak bandın DN değerleri ile spektral radyans değerleri arasındaki lineer ilişkinin parametreleridir.

Bir diğer kalibrasyon yöntemi ise spektral radyans ölçekleme yöntemidir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir(3.2).

$$L_{\lambda} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} (DN - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de L_{λ} , spektral radyans değerini, QCALMIN, bant için minimum DN değerini, QCALMAX, bant için maximum DN değerini, $LMAX_{\lambda}$ ve $LMIN_{\lambda}$ sırasıyla QCALMAX değerine ölçeklendirilmiş maximum spektral radyans değerini ve QCALMIN değerine ölçeklendirilmiş minimum spektral radyans değerini ifade etmektedir. $LMAX_{\lambda}$ ve $LMIN_{\lambda}$ değerleri veriye ait meta dosyasında “RADIANCE_MAXIMUM_BAND_ “ ve “RADIANCE_MINIMUM_BAND_” satırlarında bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan ısı bantlarına ait kalibrasyon parametreleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çalışmada kullanılan Landsat ısı bantlarının kalibrasyon parametreleri.

Veri Yılı	Algılayıcı / Band	Gain	Bias	$LMAX_{\lambda}$	$LMIN_{\lambda}$	$QCALMAX$	$QCALMIN$	Bit Değeri
1984								
2000								
2003	TM / 6	5.5375E-02	1.18243	15.303	1.238	255	1	8
2007								
2009								
2011								
2017	TIRS / 10	3.3420E-04	0.10000	22.00180	0.10033	65535	1	16

3.1.2 Landsat C1 seviyesindeki yüzey yansıtım görüntülerin ön işleme

Çalışmada kullanılan C1 Higher-Level seviyesindeki yüzey yansıtım görüntülerinin dağıtımını USGS tarafından LEDAPS ve LaSRC ürün kataloglarında belirttiği üzere 16-bit signed integer olarak yapılmaktadır. Bu görüntülerin piksel değerleri gerçek yansıtım değerlerine dönüştürülmek üzere ürün kataloglarında belirtilen, değeri 0.0001 olan ölçek faktörü ile çarpılıp yansıtım görüntüleri elde edilmiştir. Isıl görüntülerden yeryüzü sıcaklıklarının hesaplanmasının ardından bu yeryüzü sıcaklık görüntülerinin kentsel ısı adaları çalışmalarında kullanılabilmesi için çalışma bölgesinde görüntüde bulunan bulut ve su kütlelerinin çıkartılması gerekmektedir. Bu sebeple, ölçek düzeltmesinin ardından çalışma bölgesindeki su kütlelerine ait alanların görüntülerden çıkartılması amacıyla Feyisa, G.L. ve diğ. (2014) tarafından geliştirilen otomatik Su Kütleleri Çıkarım İndeksi (Automated Water Extraction Index) (AWEI) kullanılmıştır. Otomatik su kütleleri çıkarım indeksinin piksel tabanlı sınıflandırma tekniğine ve diğer su indekslerine göre en büyük avantajlarından biri, optik görüntülerde su kütleleri ile benzer yansıtıma sahip olan koyu yüzeylerin ve gölge alanların su kütlelerinden ayırımında daha iyi sonuçlar vermesidir. İndeks şu aşağıdaki şekilde formüle edilmektedir (3.3).

$$AWEI_{sh} = \rho_{band1} + 2.5 \times \rho_{band2} - 1.5 \times (\rho_{band4} + \rho_{band5}) - 0.25 \times \rho_{band7} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'te ρ Landsat TM algılayıcısına ait bant1, bant2, bant4 bant5, ve bant7 deki yüzey yansıtım değerlerini, $AWEI_{sh}$ ise çıktı su maskesi görüntüsünü ifade etmektedir. Denklemdaki “sh” alt indisi ise AWEI indeksinin gölge (shadow) ve koyu bölgeleri elimine etmek için tasarlandığını ifade etmektedir.

3.2 Yüzey Yayıcılık ve Sıcaklık Haritalarının Oluşturulması

3.2.1 Yayıcılık haritalarının oluşturulması

Bu çalışmada yayıcılık haritaları iki yöntemle oluşturulmuştur. Bunlardan ilki bölüm 2.3.4.1'de açıklanan lineer spektral karışım analizi yöntemidir. Lineer karışım analizinin görüntülere uygulamasında bu tekniğin özel bir durumu olan tam kısıtlamalı (fully constrained) yöntemi lineer karışım analizi yöntemi kullanılmıştır. Tam kısıtlamalı lineer karışım analizlerinde karışım modeli sonuç fraksiyon görüntülerinin

toplam değeri 1 olacak şekilde oluşturulmaktadır ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir(3.4).

$$R_b = \sum_{i=1}^N f_i R_{i,b} + e_b \quad \sum_{i=1}^N f_i = 1, f_i \geq 0 \quad (3.4)$$

Burada $\sum_{i=1}^N f_i = 1, f_i \geq 0$ ifadesi her bir fraksiyon görüntüsü için toplam değerin 1 olması kısıtıdır. Lineer spektral karışım analizinde kullanılan saf yüzey bileşenleri, geçirimsiz yapay yüzeyler, toprak kaplı alanlar ve bitki örtüsü olarak üç adet olarak belirlenmiştir. Bu saf yüzey bileşenlerine ait spektralar NASA'ya Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'ndeki Jet İtke Laboratuvarı'nda Baldrige, A.M. ve diğ. (2009) tarafından oluşturulan ASTER spektral kütüphanesinden çıkarılmıştır. Spektral kütüphane; John Hopkins Spektral Kütüphanesi, JPL (Jet İtke Laboratuvarı) Spektral Kütüphanesi, USGS Spektral Kütüphanesi olmak üzere üç ana kütüphaneden oluşmaktadır. Çalışmada, geçirimsiz yapay yüzey saf yüzey bileşenleri için John Hopkins Spektral Kütüphanesi'nin "insan-yapımı" (man-made) materyaller bölümünden beton, asfal ve zift, ve çatı malzemelerine ilişkin 19 adet spektra, bitki örtüsü saf yüzey bileşeni için aynı kütüphanenin iğne yapraklı ağaç, geniş yapraklı ağaç ve çimen spektraları ve toprak saf yüzey bileşeni için USGS kütüphanesi'nin farklı toprak cinslerine ait 15 adet spektra çıkartılmıştır. Spektralara ait kütüphane kodları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

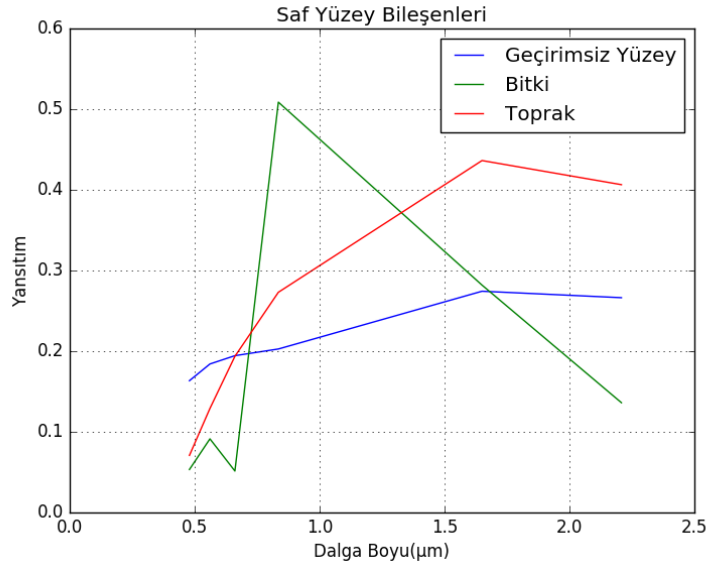
Çizelge 3.2 : ASTER spektral kütüphanesinden çıkartılan spektralar.

Asfalt ve Zift	Yapay Yüzey		Bitki Örtüsü		Toprak
	Beton	Çatı Malzemeleri	İğne ve Geniş Yapraklı Ağaçlar	Yeşil	
0095uuuasp	0092uuucnc	0484uuupot	İğne Yapraklı	Çimen	85P3707
0095uuuasp	0397uuucnc	0384uuualm	Geniş Yapraklı		85P4569
0674uuuasp	0424uuucnc	0525uuustlb			85P5339
0099uuutar	0425uuuasp	0682uuucop			86P1994
0100uuutar		0681uuucop			86P4561
		0692uuucop			86P4603
		0522uuutar			87P1087
		0523uuutar			87P2376
		0672uuuasp			87P2410
		0526uuustla			87P3130
					87P3468
					87P3665
					87P3855
					87P7060

Çizelge 3.2 ‘de verilen spektralar daha sonra denklem 2.8 yardımıyla Landsat uydu bantlarının duyarlılık fonksiyonlarına konvole edilmiş ve her bir spektra için bant karşılık değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak saf yüzey bileşenleri için bant karşılık yansıtım değerleri bulunmuştur. Saf yüzey bileşenleri için hesaplanan bant karşılık yansıtım değerleri Çizelge 3.3’de ve grafik olarak Şekil 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Saf yüzey bileşeni bant karşılık değerleri.

Bant merkezi dalgaboyu (μm)	Bitki Örtüsü	Geçirimsiz Yüzey	Toprak
0.479	0.0533	0.1634	0.0708
0.561	0.0913	0.1841	0.1290
0.661	0.0514	0.1944	0.1936
0.835	0.5087	0.2027	0.2730
1.65	0.2819	0.2743	0.4363
2.208	0.1361	0.2663	0.4064



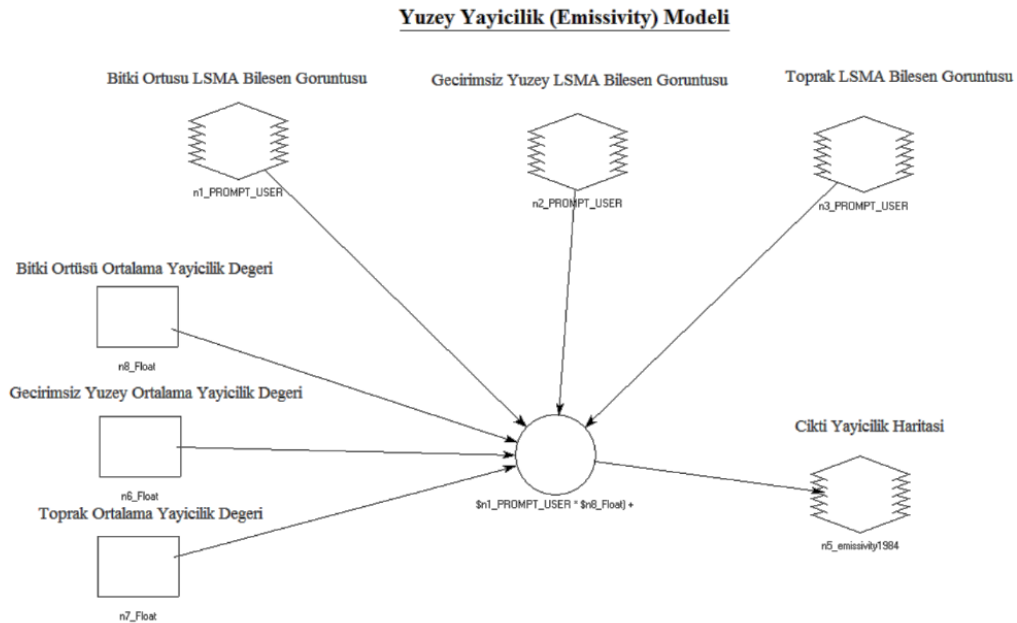
Şekil 3.2 : Saf yüzey bileşenleri yansıtım grafiği.

Çizelge 3.3’te verilen saf yüzey bileşen spektraları ile, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilen SNAP paket programının “Spektral Unmixing” modülü yardımıyla lineer spektral karışım analizi gerçekleştirilmiştir. Lineer karışım analizinde model olarak tam kısıtlamalı karışım modeli seçilmiştir. Karışım analizi sonrasında oluşturulan 1984, 2000, 2003, 2007, 2009, 2011 ve 2017 yıllarına ait yüzey fraksiyon görüntüleri ekler bölümünde verilmiştir (EK A).

Lineer spektral karışım analizi işleminden sonra yüzey yayıcılık haritaları, her bir veri yıl için yayıcılık haritaları fraksiyon görüntüleri kullanılarak Denklem 3.5 yardımıyla hesaplanmıştır.

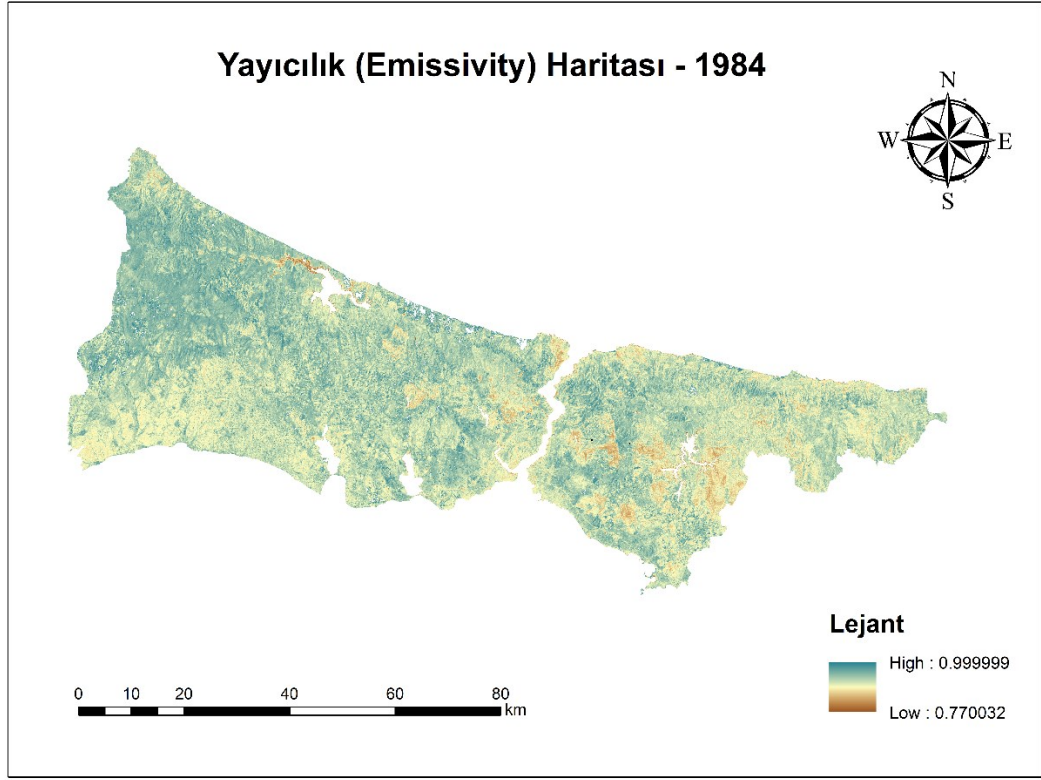
$$\varepsilon_p = \sum_{i=1}^N f_i \varepsilon_i \quad (3.5)$$

Bu denklemde f_i , “i” fraksiyon görüntüsündeki bileşenin piksel değerini, ε_p piksel için hesaplanacak yayıcılık değerini, N, toplam saf yüzey bileşeni sayısını (fraksiyon görüntüsü sayısı), ε_i ise saf yüzey bileşeninin ortalama yayıcılık değerini ifade etmektedir. Çalışmada, ε_i yayıcılık değerleri olarak Stathopoulou, M. ve diğ. (2007) tarafından ASTER spektral kütüphanesinden hesaplanan ortalama yüzey yayıcılık değerleri kullanılmıştır. Buna göre ortalama yüzey yayıcılık değerleri, geçirimsiz yapay yüzeyler için 0.92, bitki örtüsü için 0.98, toprak için 0.973’tür. Yayıcılık görüntülerinin hesabı ERDAS Imagine 9.1 görüntü işleme paket yazılımının modelleme aracı olan “Modeller” fonksiyonu yardımı ile yapılmıştır. Bu amaçla oluşturulan model Şekil 3.3’de gösterilmektedir.

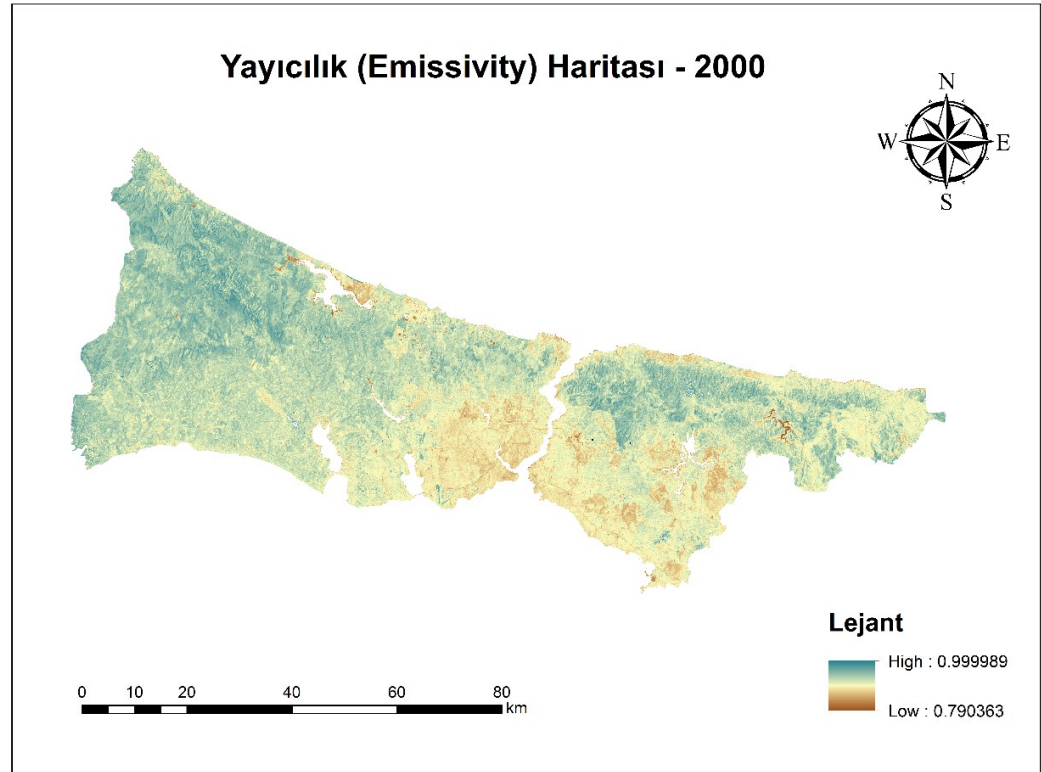


Şekil 3.3 : Yayıcılık hesabı için oluşturulan ERDAS modeli.

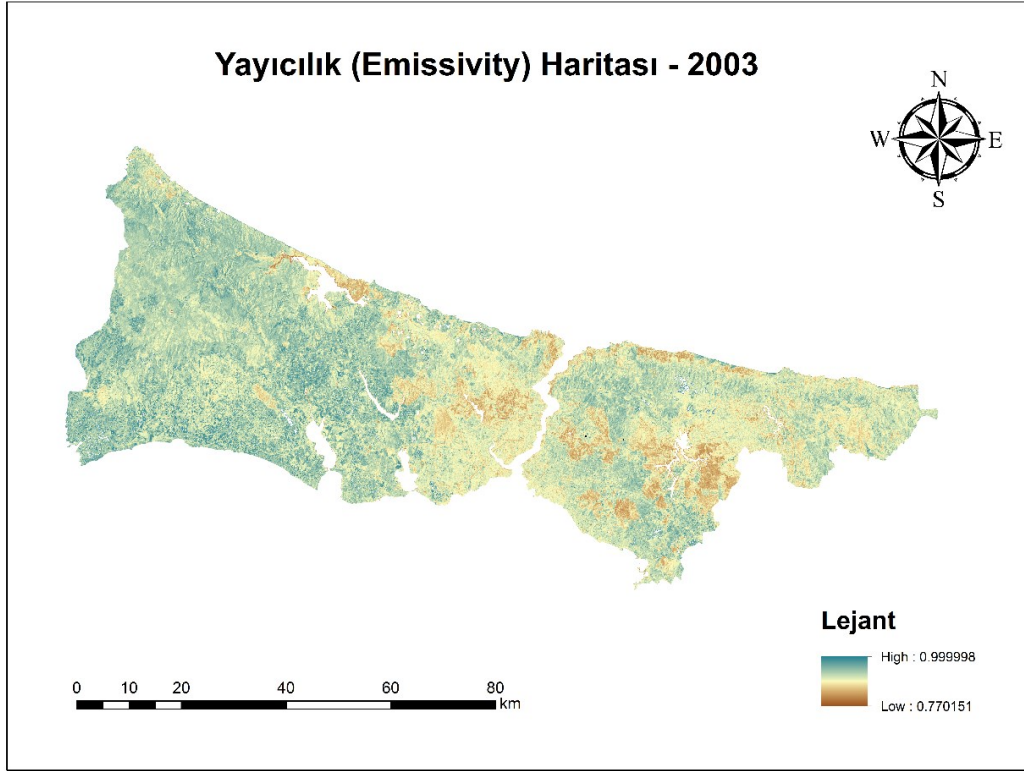
Model yardımıyla hesaplanan 1984, 2000, 2003, 2007, 2009, 2011 ve 2017 yıllarına ait yayıcılık görüntüleri sırasıyla, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da verilmiştir.



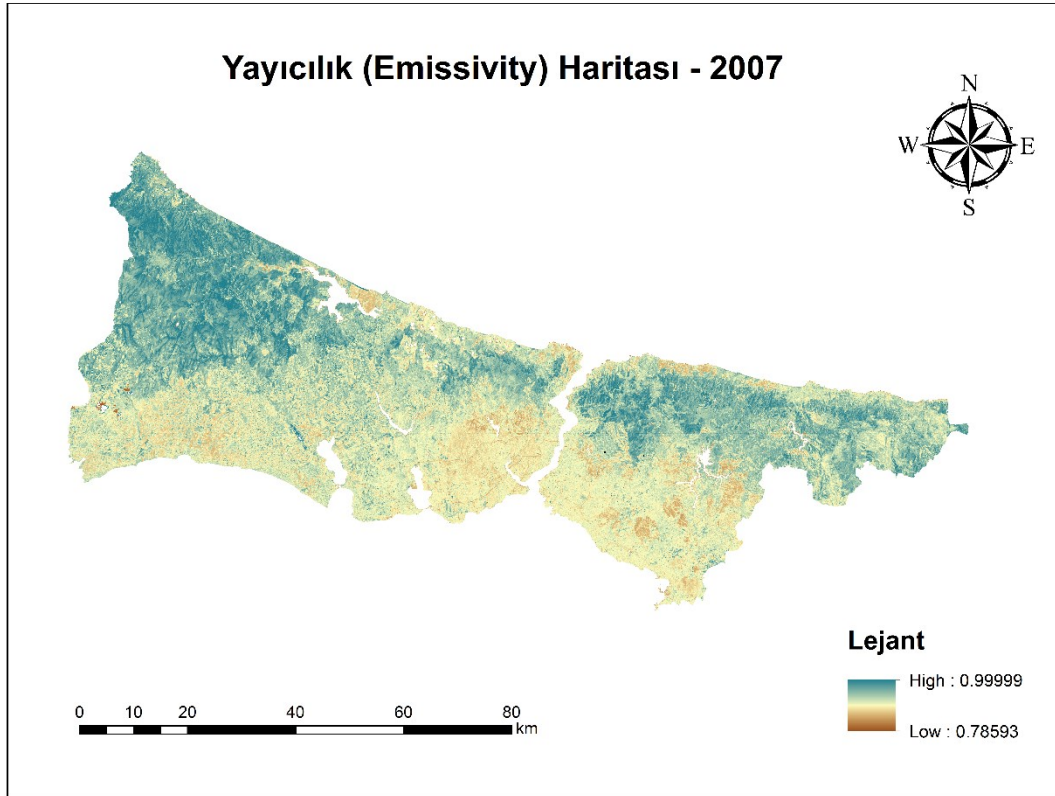
Şekil 3.4 : 1984 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.



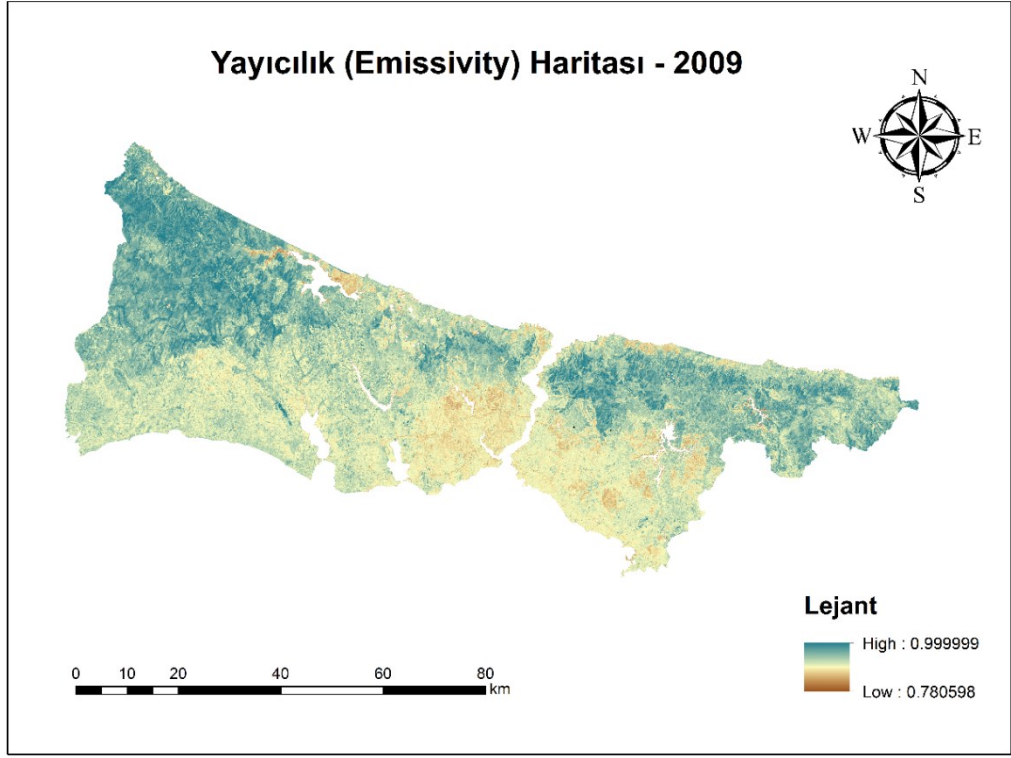
Şekil 3.5 : 2000 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.



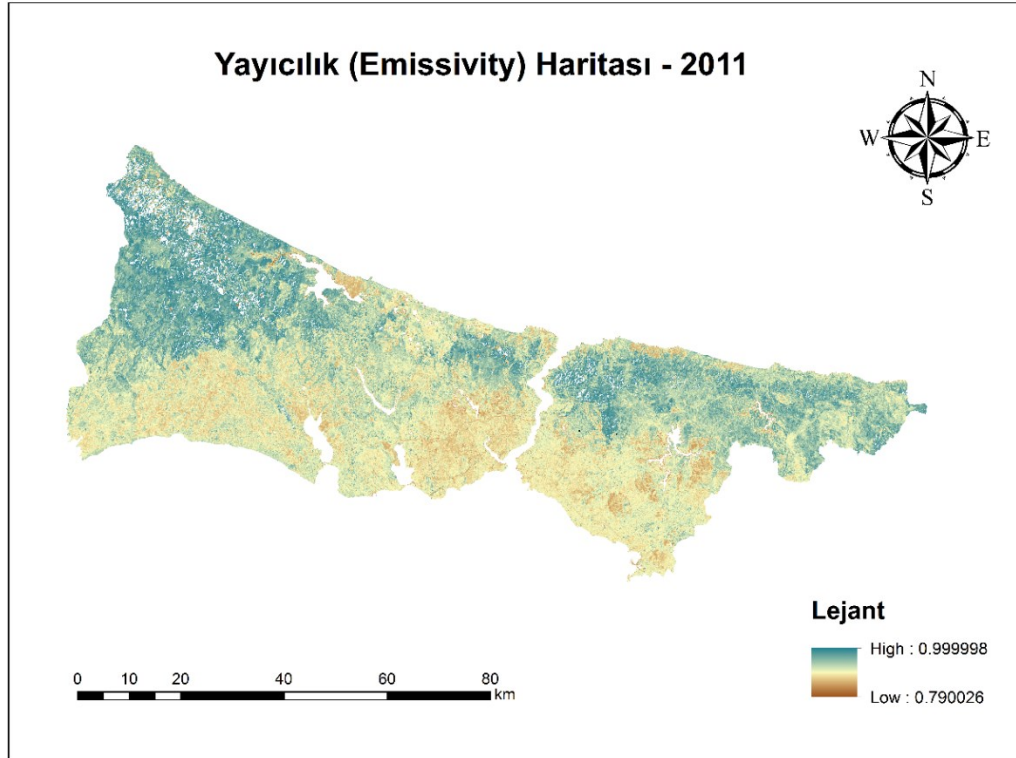
Şekil 3.6 : 2003 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.



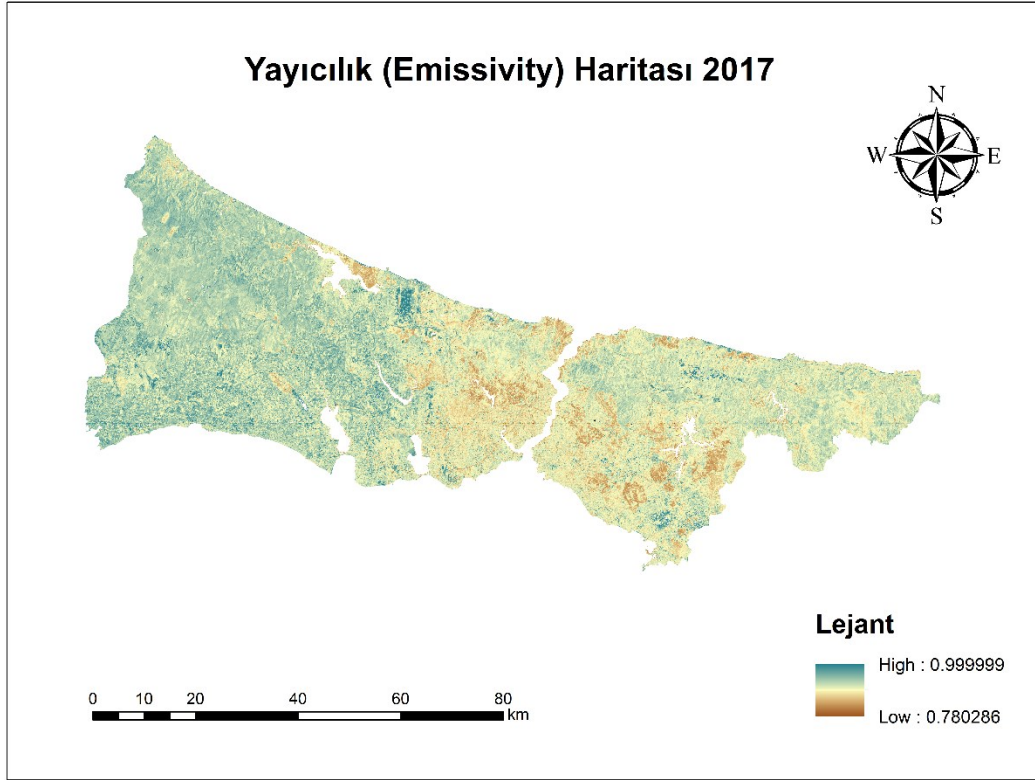
Şekil 3.7 : 2007 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.



Şekil 3.8 : 2009 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.



Şekil 3.9 : 2011 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.



Şekil 3.10 : 2017 yılı İstanbul yayıcılık (emissivity) haritası.

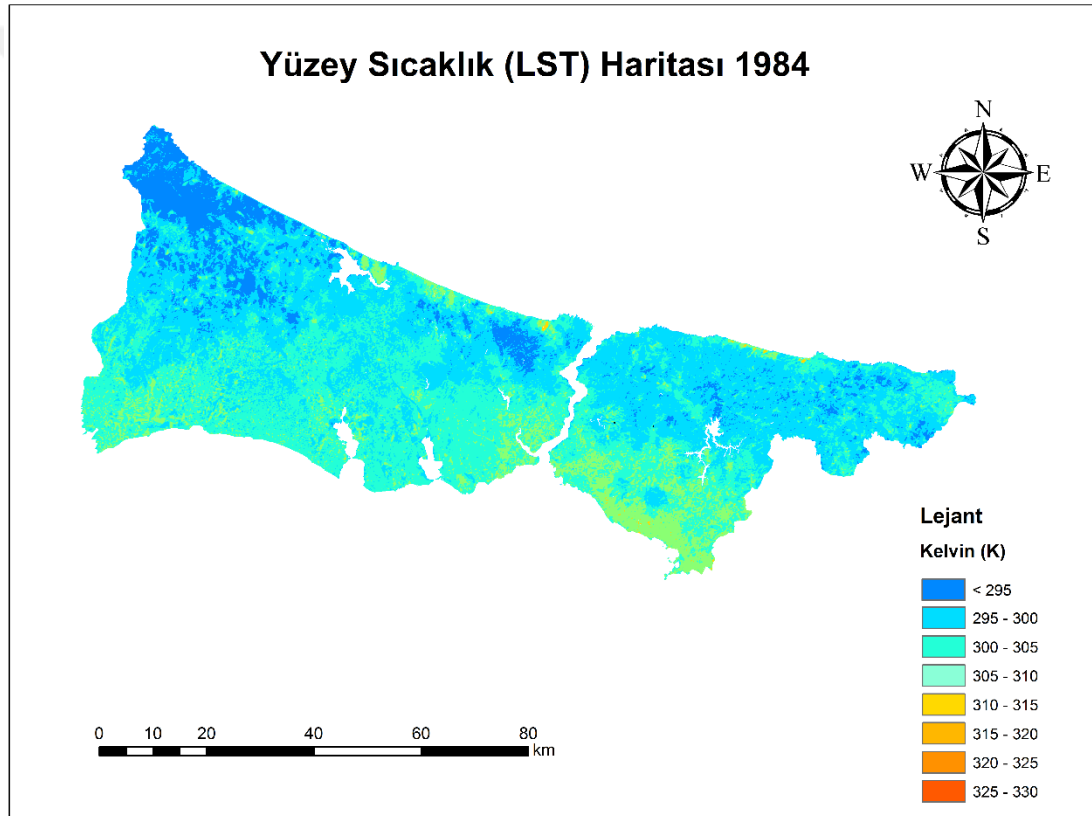
3.2.2 Yüzey sıcaklık (LST) haritalarının oluşturulması

Çalışmada 2000 yılı ve sonrası Landsat ısı görüntülerinin atmosferik düzeltmesi ve yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında Bölüm 2.2.1.1’de açıklanan ışımsal transfer denklemi yöntemi kullanılmıştır. Işımsal transfer denklemine girdi olan atmosferden yukarı ve aşağı yönde ısı ışıınım değerleri ve atmosferik geçirgenlik değerleri yine aynı bölümde açıklanan web tabanlı atmosferik düzeltme modülü yardımıyla hesaplanmıştır. Web tabanlı atmosferik düzeltme modülünden hesaplanan bu parametreler Çizelge 3.4’te, parametrelerin hesabında kullanılan atmosferik profillere ilişkin bağıl nem, basınç ve sıcaklık grafikleri ise ekler bölümünde verilmiştir (EK B).

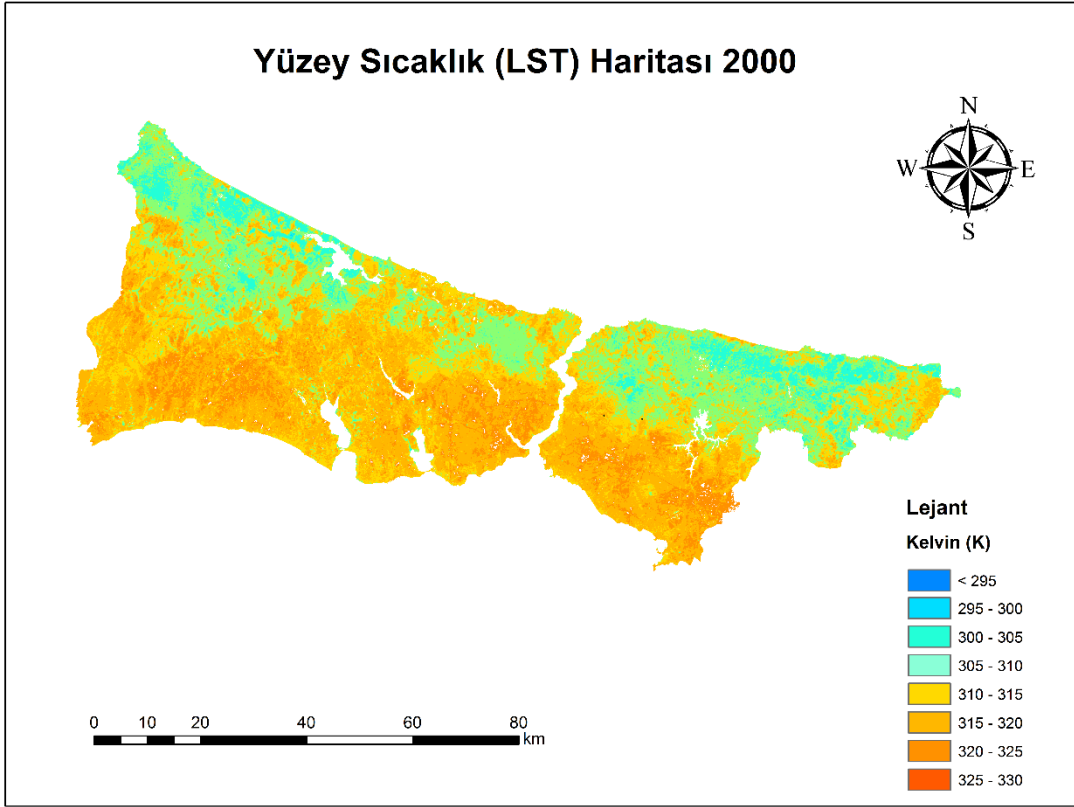
Çizelge 3.4 : Isıl bantların atmosferik düzeltmesi için hesaplanan parametreler.

Veri Tarihi	τ (Atmosfer Geçirgenliği)	Aşağı Yönde Işınım ($W/m^2 \cdot \mu m$)	Yukarı Yönde Işınım ($W/m^2 \cdot \mu m$)
2000	0.77	3.03	1.86
2003	0.78	2.97	1.84
2007	0.74	3.17	1.97
2009	0.67	3.90	2.47
2011	0.72	3.45	2.18
2017	0.66	4.23	2.68

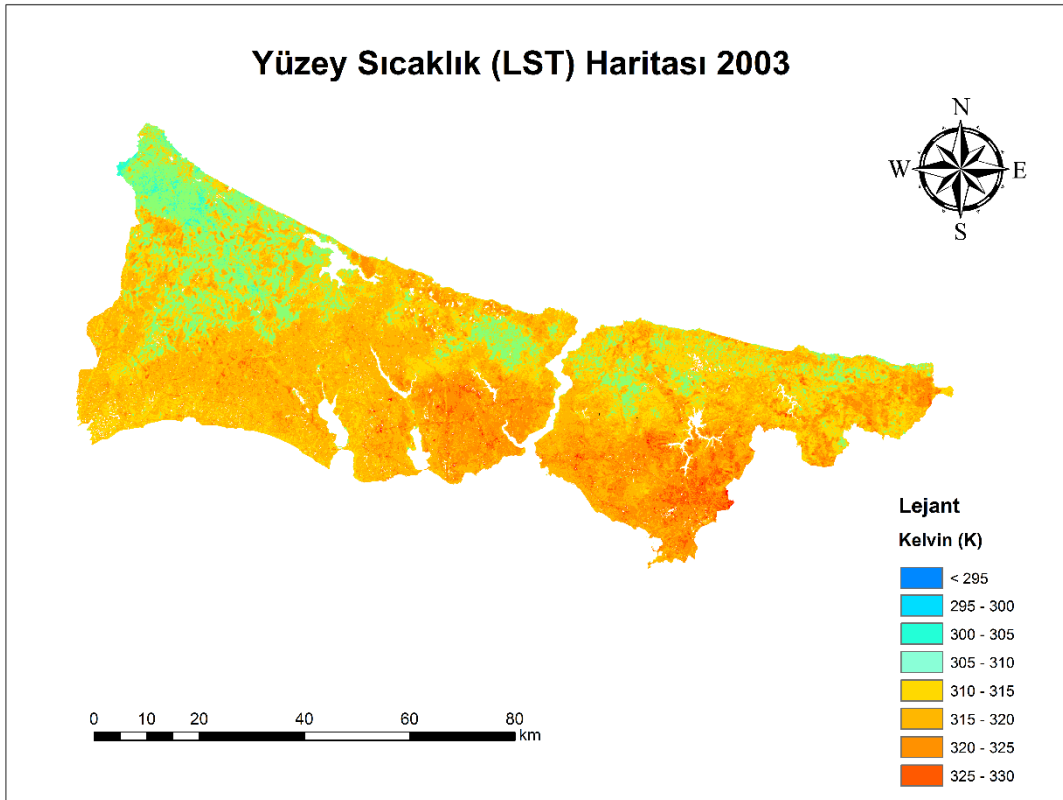
Diğer bir Landsat verisi olan 1984 yılına ait Landsat 5 TM ısı bantlarının atmosferik düzeltmesinde ise Bölüm 2.2.1.2 'de açıklanan tek-kanal yöntemi kullanılmıştır. Tek kanal yöntemine girdi olan görüntü ile eş tarihli T_0 yakın yeryüzü sıcaklıkları WMO'ya bağlı İstanbul/Göztepe meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir. İstasyona ait bu meteorolojik veriler, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Wyoming Üniversitesi'nin Atmosfer Bilimleri Bölümü'ne ait web sayfasından elde edilmiştir (Url-4). Kullanılan ravisonde rasatlarına ilişkin bilgiler ekler bölümünde verilmiştir (EK B). 1984, 2000,2003,2007,2009 ve 2017 yıllarına ait yüzey sıcaklık görüntüleri sırasıyla Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'da verilmiştir.



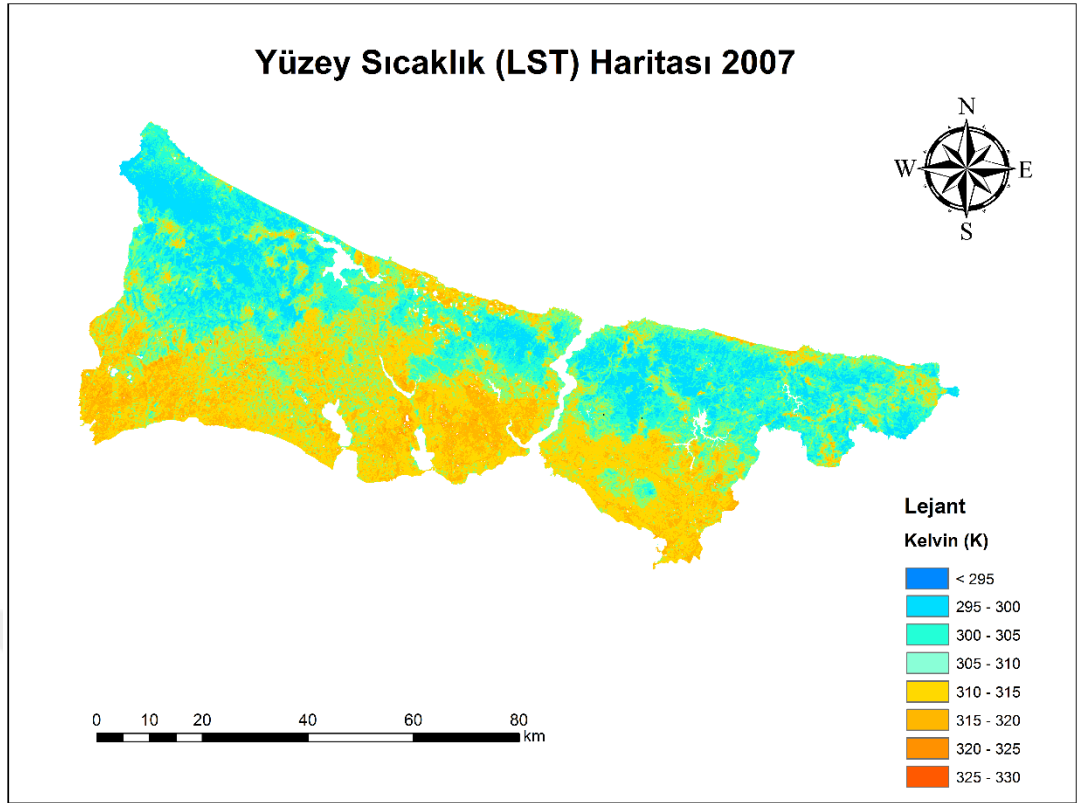
Şekil 3.11 : 1984 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.



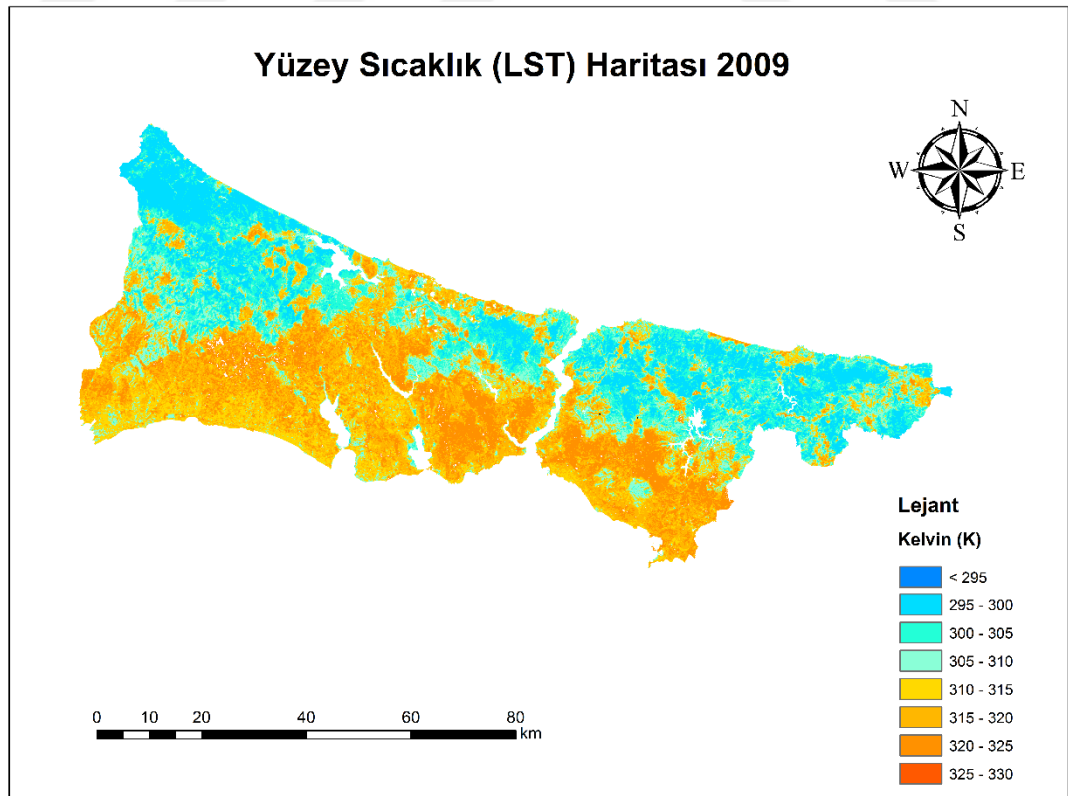
Şekil 3.12 : 2000 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.



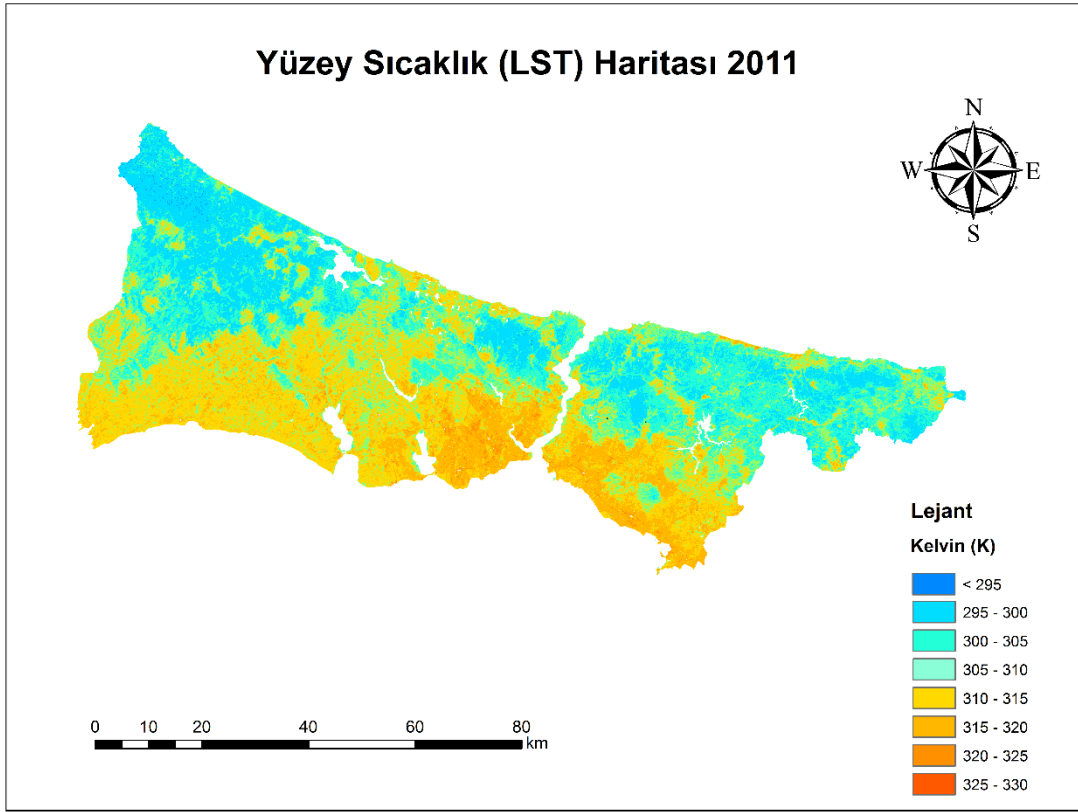
Şekil 3.13 : 2003 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.



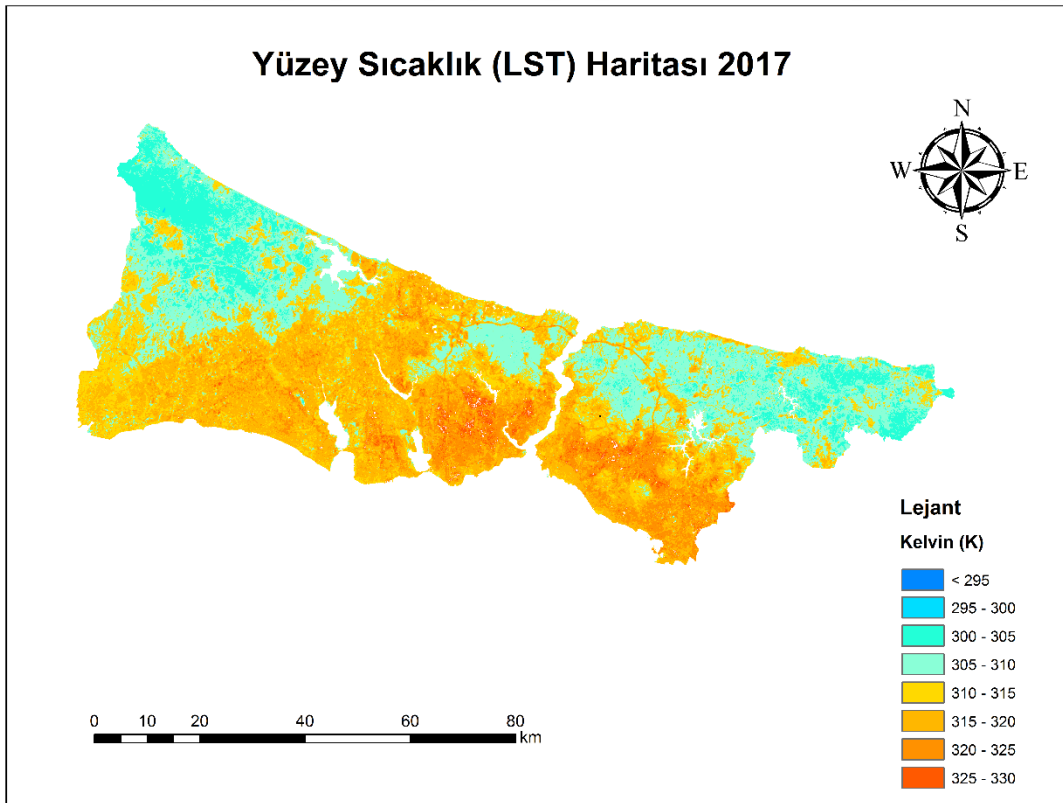
Şekil 3.14 : 2007 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.



Şekil 3.15 : 2009 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.



Şekil 3.16 : 2011 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.



Şekil 3.17 : 2017 yılı İstanbul yeryüzü sıcaklık (LST) haritası.

3.3 NDBI ve NDVI İndeks Haritalarının Oluşturulması

Çalışmada 1984, 2000, 2003, 2007 ve 2009 yıllarına ait atmosferik düzeltmesi yapılmış çok-spektrumlu optik ve kızılötesi bantlar yardımıyla Bölüm 2.2.3'te verilen eşitlikler kullanılarak her bir yıla ait görüntü için NDVI ve NDBI haritaları oluşturulmuştur. Hesaplanan NDVI ve NDBI haritaları ekler bölümümde verilmiştir (EK C).

3.4 Arazi Örtüsü/Kullanım Haritalarının Oluşturulması

Arazi örtüsü; yeryüzünde bulunan orman alanları, su kütleleri, yeşil alanlar, tarım alanları ve kentsel alanlar gibi doğal ve antropojenik nesneler olarak tanımlanmaktadır. Bu arazi örtülerinde meydana gelen özellikle insan kaynaklı olan değişimlerin ise yerel ve küresel ölçekte iklime etkileri önemlidir.

Araştırmacılar arazi örtüsü değişimlerinin izlenmesi ve tespit edilmesi amacıyla birçok teknik geliştirmiştir. Uydu teknolojileri ve algılayıcı teknolojilerindeki gelişmelerden önce küçük bölgeler için arazi örtüsü değişimi çalışmalarında hava fotogrametrisi ve yersel ölçmelerden yararlanılmıştır. Fakat bu yöntemler daha geniş coğrafi bölgeler için düşünüldüğünde her zaman, yüksek maliyetli, iş gücü yönünden verimsiz ve zaman alıcı olmuştur (Fonji, S.F. & Taff, G.N., 2014).

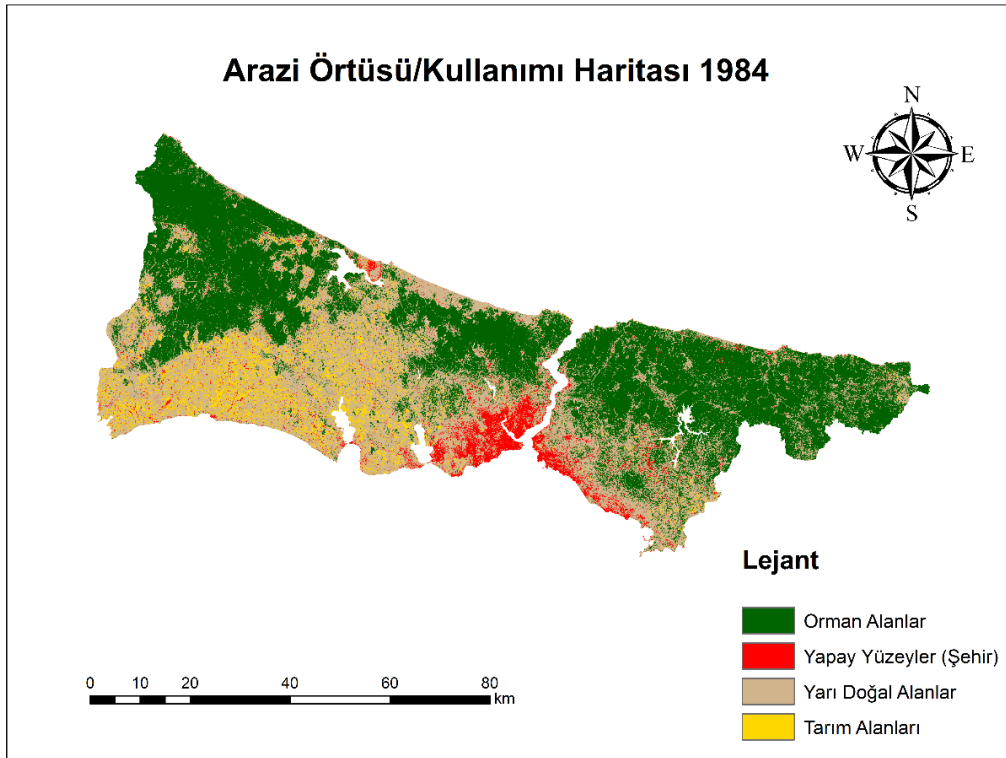
Uydu bazlı uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte, uzaktan algılama tekniğinin sağladığı sinoptik görüş özelliği ve yüksek zamansal çözünürlüklü veri elde etme yeteneği sayesinde geniş bölgelerde arazi örtüsü değişimi çalışmaları kolaylaşmıştır.

Bu çalışmada, İstanbul metropol alanında son otuz yıllık süreçte meydana gelen arazi örtüsü değişimlerini incelemek amacıyla uzaktan algılama teknolojisi ile elde edilen Landsat uydusuna ait görüntülerden yararlanılmıştır. 1984, 2003 ve 2017 yıllarına ait yüzey yansıtım görüntüleri piksel tabanlı kontrollü sınıflandırma yöntemi olan en yüksek olabilirlik (maksimum-likelihood) yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Arazi kullanım sınıfları olarak Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından belirlenen CORINE sınıflandırma sisteminin 1. seviyesine ait sınıflar seçilmiştir.

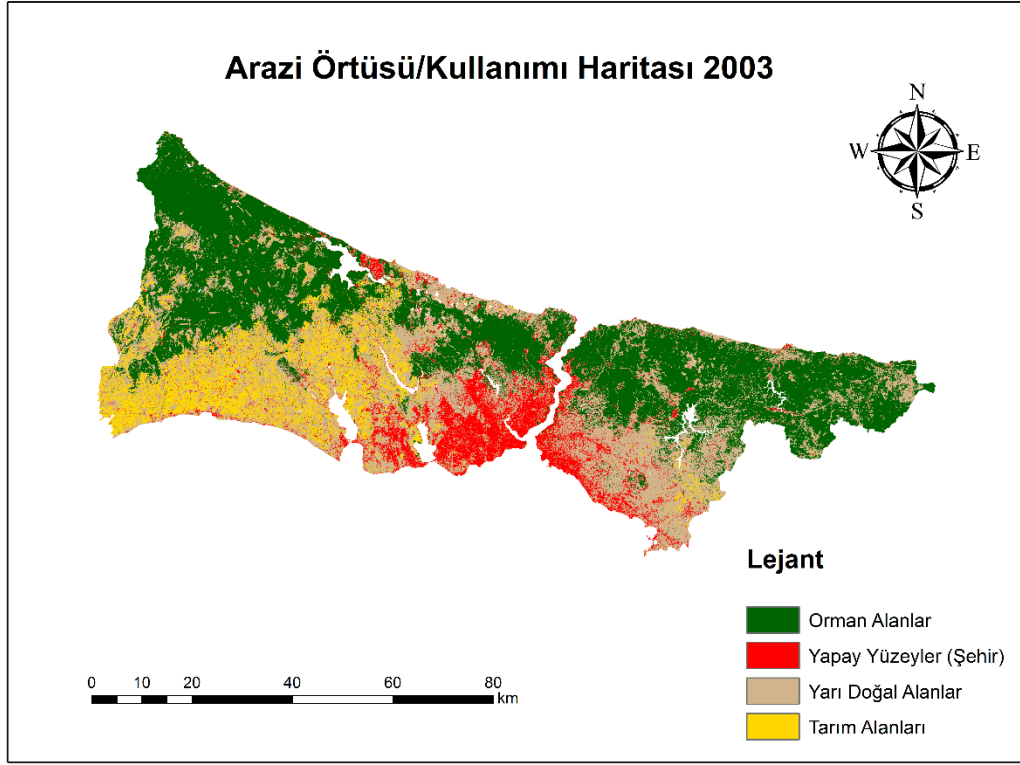
Bu bilgi sınıfları;

- Orman Alanları
- Yarı Doğal Alanlar (Yeşil alanlar, Çıplak Toprak Alanları)
- Tarım Alanları
- Yapay Yüzeyler (Şehir)

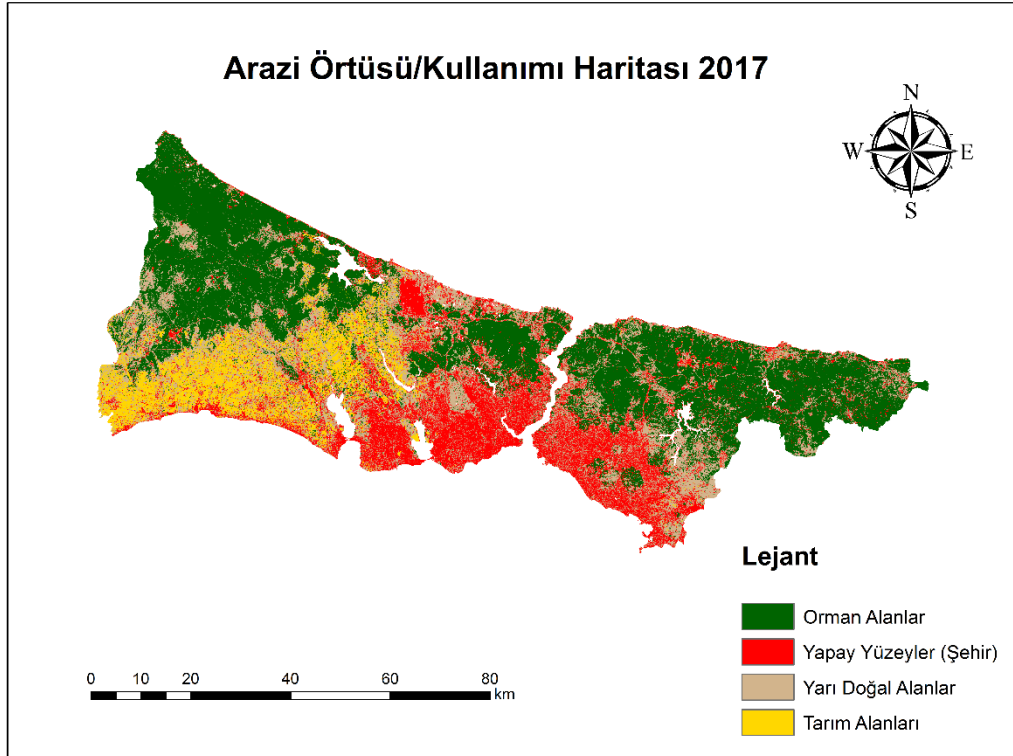
olarak dört sınıf şeklindedir. Sınıflandırma işlemi sırasında, eğitim örnekleri seçiminde görsel yorumlamaya dayalı olarak her bir sınıf için en az 50 piksel içerecek şekilde minimum 30 eğitim alanından örnekleme yapılmıştır. Kontrollü sınıflandırma işlemi sonucunda oluşturulan 1984, 2003 ve 2007 yıllarına ait arazi örtüsü/kullanımı haritaları sırasıyla Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.18 : 1984 yılı arazi örtüsü/kullanımı haritası.



Şekil 3.19 : 2003 yılı arazi örtüsü/kullanımı haritası.



Şekil 3.20 : 2017 yılı arazi örtüsü/kullanımı haritası.

Sınıflandırma işlemi sonucunda üretilen arazi örtüsü/kullanımı haritalarının tematik doğruluklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, elde edilen arazi örtüsü/kullanımı haritalarının tematik doğruluk analizi ERDAS Imagine 9.1 yazılımının doğruluk analizi (accuracy assessment) modülü kullanılarak rastgele örnekleme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesi üzerinde rastgele dağılmış 200 nokta seçilmiş ve sınıflara ait referans verisi olarak da hava fotoğrafları kullanılmıştır. Nokta dağılımları her bir yıla ait görüntüde sınıfların görüntünün toplam alanında kapladıkları orana göre dağıtılmıştır. 1984, 2003 ve 2017 yıllarına ait sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk analizi sonucuna ait kappa istatistiği katsayıları ve genel doğruluk değerleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk analizi sonuçları.

Veri Tarihi	Genel Doğruluk (%)	Kappa İstatistiği
1984	83	0.81
2003	82	0.79
2017	84	0.82

3.5 Hesaplanan Yeryüzü Sıcaklık Görüntülerinin MODIS Mod11 Sıcaklık Görüntüleri Yardımıyla Doğrulanması

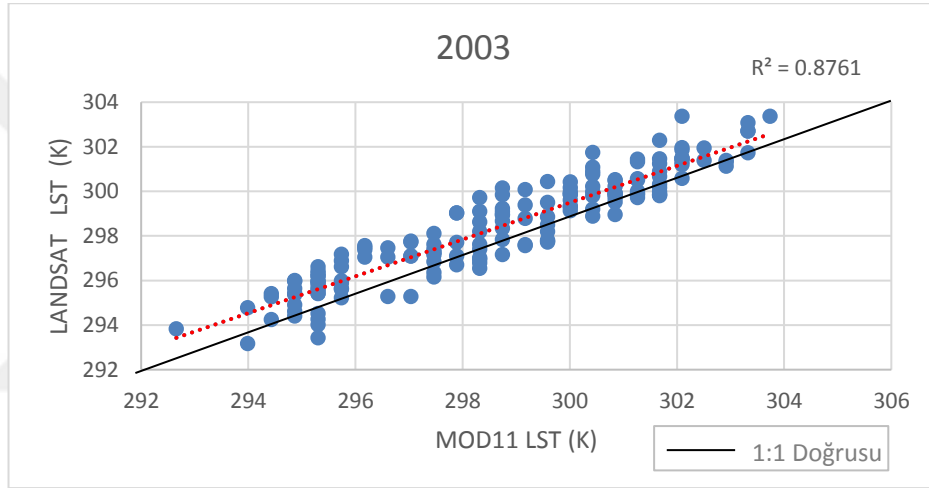
Landsat ısı bantları kullanılarak radyometrik olarak oluşturulan yüzey sıcaklık haritalarının doğruluğunun incelenmesi amacı ile 2003, 2007, 2009 ve 2011 yıllarına ait MODIS Mod11 yüzey sıcaklık görüntüleri referans olarak kullanılmış ve doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 2000 yılı öncesine ait MODIS verisi bulunmadığından dolayı 1984 yılına ait Landsat görüntüsü için ve ayrıca 2000 ve 2017 yıllarına ait Mod11 LST verilerinde kentsel alanlara ait bölgelerde analiz için yeterli veri bulunmadığından dolayı 2000 ve 2017 yıllarına ait Landsat görüntüleri için doğruluk analizi gerçekleştirmek mümkün olmamıştır.

Landsat ısı bantlarından elde edilen sıcaklık görüntüleri 120x120m mekansal çözünürlüğe sahip olduğundan dolayı 1000x1000m mekansal çözünürlükte olan Mod11 görüntüleri ile aynı mekansal çözünürlüğe getirilmiş (degrade) ve görüntülerde çalışma bölgesine rastgele dağılmış 200 nokta yardımı ile karşılaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Buna göre her görüntü için hesaplanan minimum ve maksimum sıcaklık farkları ve karesel ortalama hata değerleri Çizelge 3.6 da verilmiştir.

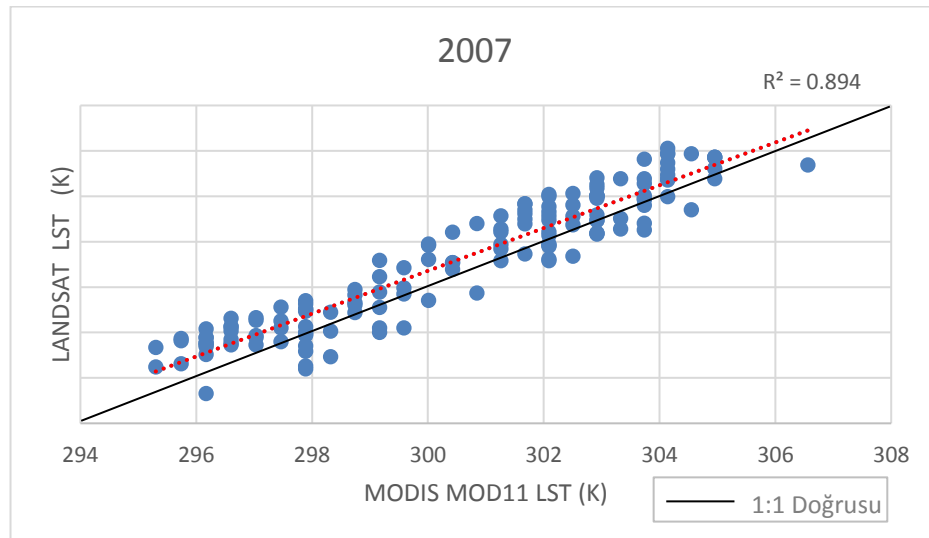
Çizelge 3.6 : Landsat LST - MODIS Mod11 LST değerlerinin karşılaştırılması.

Veri Tarihi	Minimum Sıcaklık Farkı (K)	Maksimum Sıcaklık Farkı (K)	Std. Sapma Değeri
2003	0.04	1.88	0.93
2007	0.01	-2.04	0.94
2009	0.03	-2.34	1.17
2011	0.02	-2.47	1.19

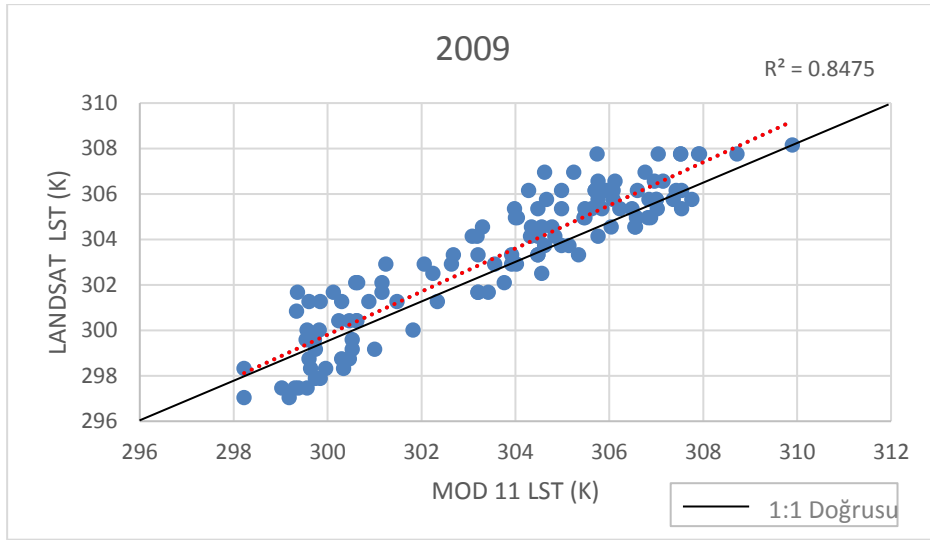
Bir diğer karşılaştırma yöntemi olarak mekansal çözünürlüğü yeniden örneklenmiş Landsat yüzey sıcaklık verileri ile MODIS Mod11 yüzey sıcaklık verilerinin dağılım grafikleri oluşturulmuş ve doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Buna göre regresyon analizi sonucunda hesaplanan R^2 değerleri ve dağılım grafikleri Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de verilmiştir.



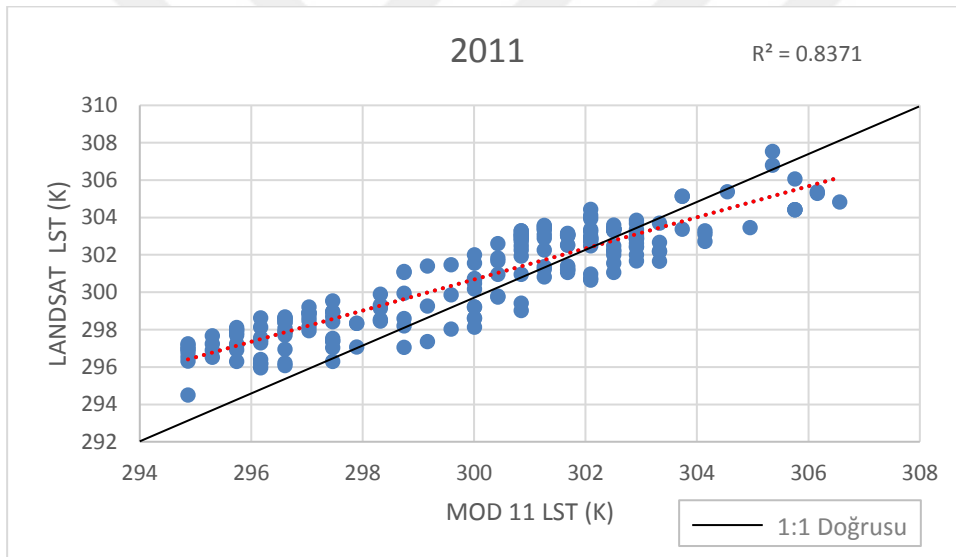
Şekil 3.21 : Landsat LST ve MODIS LST dağılım grafiği 2003.



Şekil 3.22 : Landsat LST ve MODIS LST dağılım grafiği 2007.



Şekil 3.23 : Landsat LST ve MODIS LST dağılım grafiği 2009.



Şekil 3.24 : Landsat LST ve MODIS LST dağılım grafiği 2011.

3.6 NDVI ve NDBI İndeksleri İle Arazi Kullanımı Değişimlerinin Analizi

İstanbul metropolitan alanında 1984 yılından 2017 yılına kadar olan arazi kullanımındaki değişimleri NDVI ve NDBI indeks görüntüleri yardımı ile ilçe bazında incelemek amacıyla, İstanbul'a ait ilçe idari sınırları vektör verisi kullanılarak coğrafi bilgi sistemleri ortamında indeks görüntüleri her ilçe için kesilmiştir. Her bir ilçe için coğrafi bilgi sistemleri “Zonal Statistics” fonksiyonu yardımıyla 1984, 2003 ve 2017 yılları için ilçe bazında ortalama NDVI ve NDBI değerleri ve yıllara göre değişimleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.7).

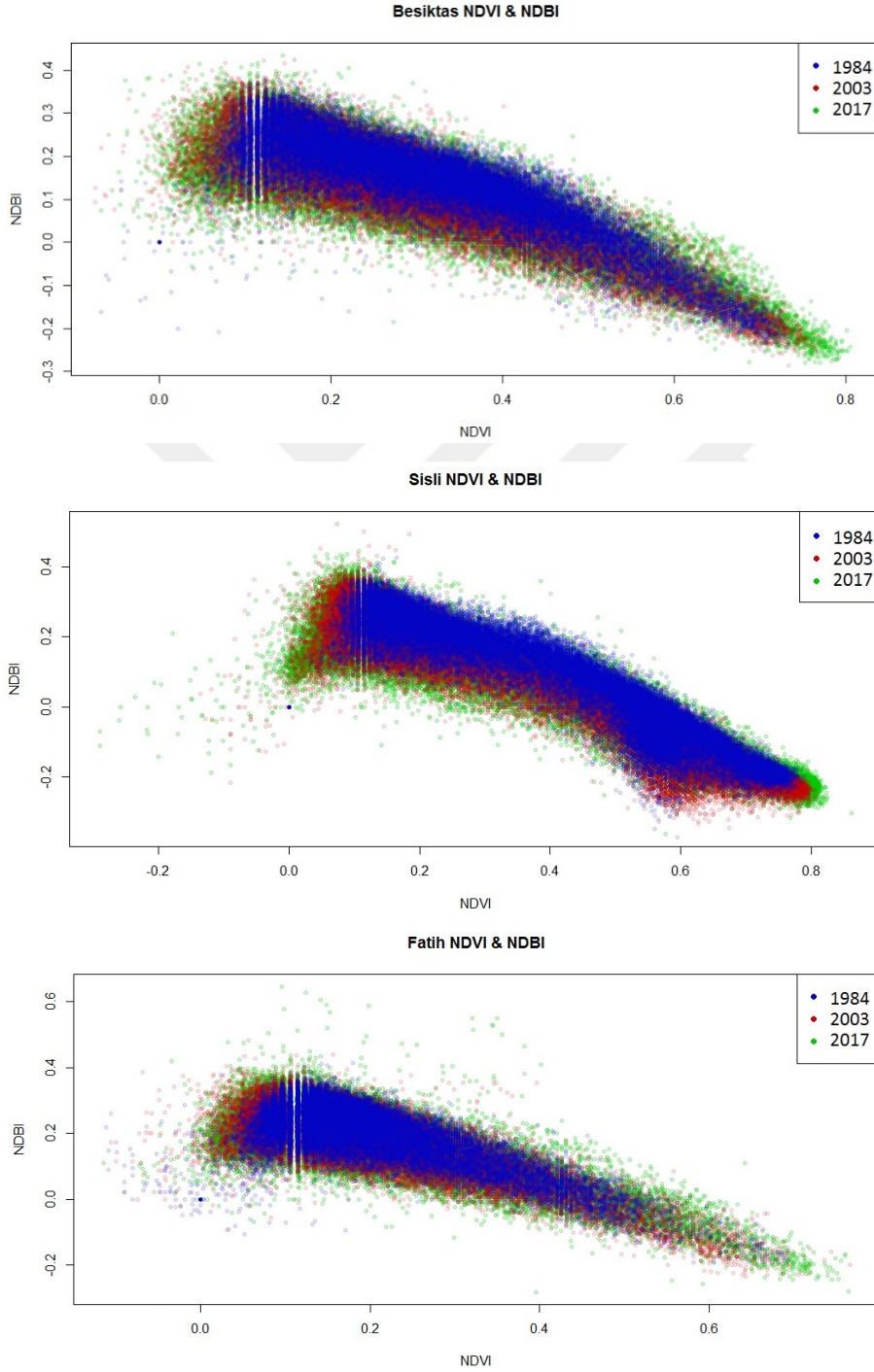
Çizelge 3.7 : İlçe bazında ortalama NDVI ve NDBI değerleri ve farkları.

İlçe	1984		2003		2017		1984-2003	1984-2003	1984-2017	1984-2017
	NDVI	NDBI	NDVI	NDBI	NDVI	NDBI	NDVI	NDBI	NDVI	NDBI
Arnavutkoy	0.28	-0.01	0.27	0.00	0.25	0.03	-0.014	0.008	-0.032	0.037
Atasehir	0.15	0.07	0.09	0.09	0.09	0.08	-0.061	0.017	-0.061	0.013
Avcilar	0.15	0.02	0.11	0.03	0.10	0.05	-0.038	0.013	-0.050	0.037
Bagcilar	0.19	0.09	0.09	0.12	0.08	0.13	-0.101	0.022	-0.108	0.032
Bahcelievler	0.21	0.13	0.11	0.15	0.10	0.16	-0.097	0.024	-0.106	0.036
Bakirkoy	0.16	0.07	0.11	0.07	0.12	0.09	-0.048	0.009	-0.040	0.022
Basaksehir	0.27	0.04	0.20	0.07	0.18	0.07	-0.069	0.032	-0.085	0.039
Bayrampasa	0.16	0.10	0.09	0.11	0.09	0.12	-0.067	0.015	-0.072	0.020
Besiktas	0.16	0.07	0.15	0.06	0.16	0.05	-0.003	-0.012	0.004	-0.017
Beykoz	0.38	-0.07	0.36	-0.07	0.38	-0.08	-0.017	-0.002	0.000	-0.004
Beylikduzu	0.11	0.02	0.05	0.03	0.07	0.05	-0.063	0.011	-0.044	0.031
Beyoglu	0.10	0.11	0.09	0.10	0.09	0.10	-0.010	-0.006	-0.008	-0.006
Buyukcekmece	0.19	0.02	0.15	0.04	0.14	0.07	-0.034	0.019	-0.053	0.051
Catalca	0.27	-0.04	0.27	-0.04	0.27	-0.03	-0.002	-0.001	-0.004	0.007
Cekmekoy	0.36	-0.07	0.34	-0.07	0.34	-0.06	-0.014	0.003	-0.012	0.016
Esenler	0.13	0.05	0.09	0.06	0.09	0.06	-0.038	0.010	-0.041	0.014
Esenyurt	0.28	0.03	0.19	0.06	0.14	0.10	-0.091	0.031	-0.145	0.070
Eyup	0.27	-0.03	0.25	-0.03	0.26	-0.02	-0.018	0.001	-0.012	0.010
Fatih	0.10	0.10	0.11	0.09	0.11	0.09	0.005	-0.009	0.007	-0.009
Gaziosmanpasa	0.12	0.09	0.07	0.09	0.07	0.10	-0.046	0.003	-0.045	0.007
Gungoren	0.15	0.09	0.07	0.12	0.07	0.13	-0.072	0.032	-0.078	0.039
Kadikoy	0.14	0.09	0.12	0.10	0.13	0.09	-0.018	0.007	-0.010	0.001
Kagithane	0.10	0.06	0.08	0.05	0.08	0.05	-0.020	-0.002	-0.016	-0.007
Kartal	0.13	0.06	0.11	0.05	0.12	0.06	-0.024	-0.007	-0.015	0.003
Kucukcekmece	0.27	0.08	0.17	0.11	0.16	0.12	-0.091	0.029	-0.107	0.039
Maltepe	0.21	0.08	0.17	0.09	0.17	0.09	-0.047	0.013	-0.042	0.009
Pendik	0.14	0.01	0.13	0.00	0.14	0.01	-0.010	-0.005	-0.004	0.003
Sancaktepe	0.18	0.01	0.16	0.02	0.15	0.03	-0.027	0.007	-0.029	0.011
Sariyer	0.32	-0.04	0.30	-0.05	0.32	-0.05	-0.014	-0.007	0.003	-0.012
Sile	0.40	-0.07	0.37	-0.08	0.40	-0.07	-0.025	-0.007	0.007	-0.002
Silivri	0.32	-0.01	0.30	0.02	0.28	0.06	-0.021	0.028	-0.047	0.065
Sisli	0.20	0.03	0.19	0.02	0.19	0.02	-0.011	-0.015	-0.010	-0.015
Sultanbeyli	0.26	0.09	0.18	0.10	0.18	0.10	-0.078	0.016	-0.076	0.013
Sultangazi	0.25	0.05	0.18	0.05	0.17	0.05	-0.074	0.000	-0.080	0.002
Tuzla	0.15	0.04	0.13	0.03	0.14	0.04	-0.016	-0.005	-0.007	0.004
Umraniye	0.24	0.04	0.18	0.06	0.19	0.06	-0.062	0.023	-0.052	0.017
Uskudar	0.15	0.04	0.13	0.04	0.14	0.04	-0.019	0.004	-0.010	-0.001
Zeytinburnu	0.12	0.10	0.09	0.11	0.09	0.11	-0.028	0.006	-0.026	0.008

Elde edilen sonuçlara göre 1984'ten 2017 yılına kadar otuz üç yıllık süreçte 11 ilçede ortalama NDVI değerlerindeki azalma %25'ten fazla olmuştur. 2003 ve 2017 yılları arasındaki NDVI değerlerindeki azalma 1984-2003 yıllarına oranla daha azdır.

1984 ve 2003 yılları arasında NDVI değerlerinde en çok azalma olan ilçeler %50'den fazla NDVI değişimi ile Esenyurt, Bağcılar, Küçükçekmece ve Bahçelievler'dir. Bu ilçeler, İstanbul'da kentleşme oranının en yüksek olduğu ve bununla birlikte en çok nüfus artışının olduğu ilçelerdir. Bu ilçelerin yanı sıra Başakşehir, Sultangazi,

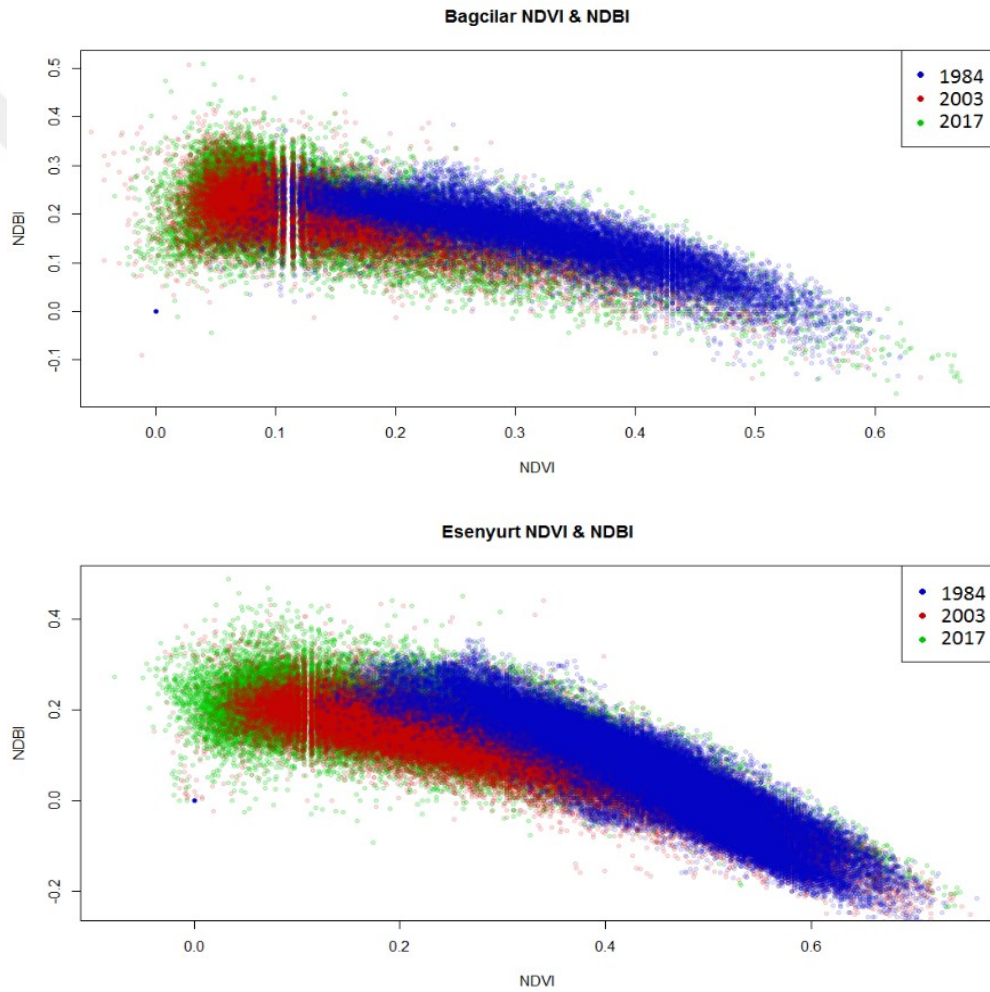
Güngören ve Sultanbeyli ilçelerinde meydana gelen NDVI değişimleri de yüksektir. NDVI ve NDBI değerlerindeki değişimlerin en az olduğu ilçeler ise Beşiktaş, Şişli ve Fatih ilçeleridir (Şekil 3.25). Beşiktaş, Şişli ve Fatih, İstanbul'un merkezinde bulunan yerleşim alanları olduğundan ve kentleşme'de maksimum orana ulaştığından dolayı NDVI değişimleri yüksek değildir. Değişimin en az olduğu ilçe ise Sarıyer ilçesidir.



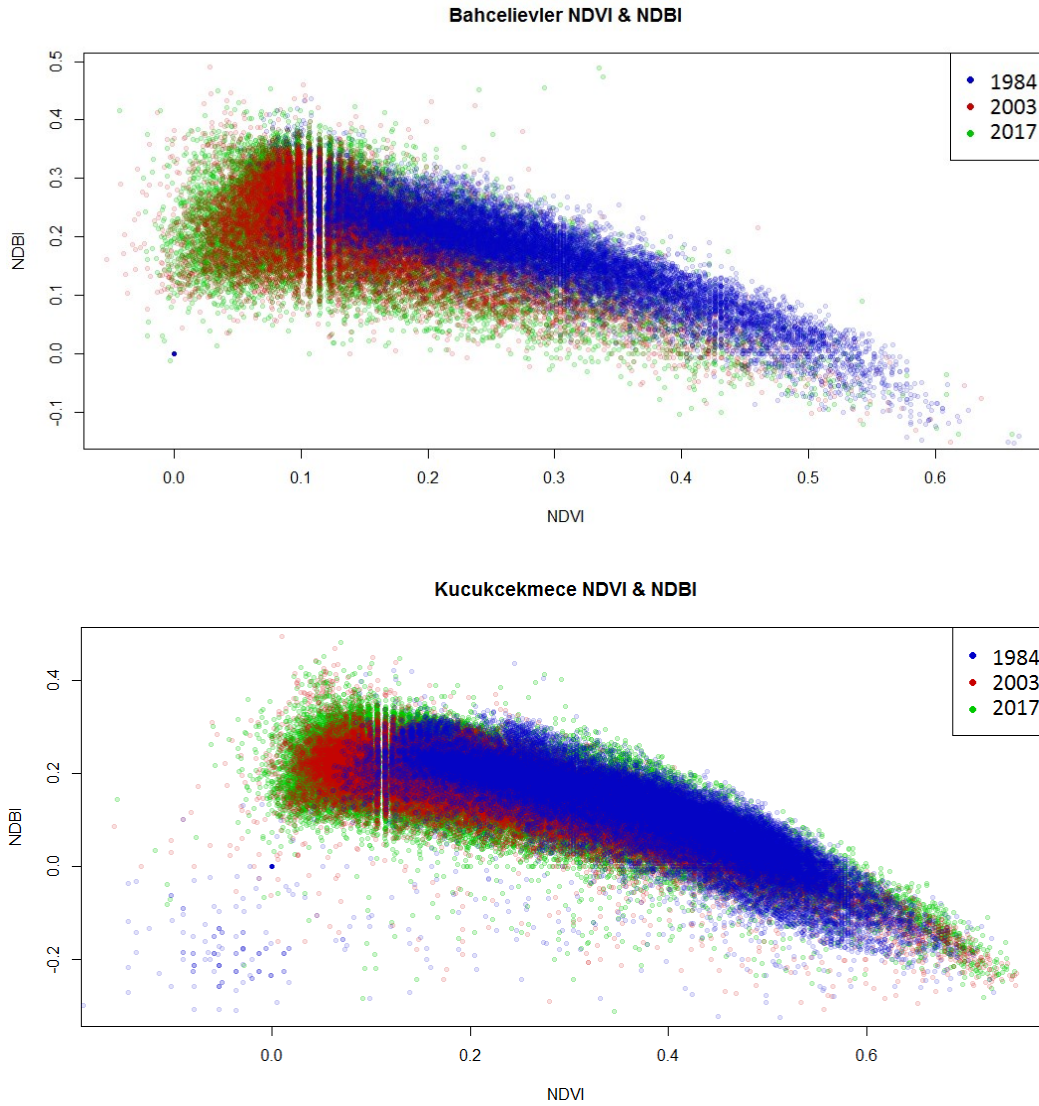
Şekil 3.25 : Beşiktaş, Şişli, Fatih ilçeleri NDVI ve NDBI dağılım grafiği.

NDVI indeksine ek olarak ortalama NDBI değişimleri incelendiğinde, maksimum değişim 6 ilçede görölmektedir. Bu ilçeler Avcılar, Silivri, Büyükçekmece, Esenyurt, Arnavutköy ve Başakşehirdir.

Arnavutköy, Sarıyer, Çekmeköy ve Silivri ilçelerinde NDBI indekslerinde önemli değişimler olmasına rağmen NDVI değerlerindeki değişim miktarı çok azdır. Bu durumun sebebi bu bölgelerde bulunan ve yapay yüzeyler ile aynı yüzey yansıtım değerlerine sahip olan ekilmemiş tarım arazileri ve geçici maden alanlarıdır. Bağcılar, Bahçelievler Esenyurt ve Küçükçekmece ilçelerinde NDVI ve NDBI değişimlerini gösteren dağılım grafikleri Şekil 3.26 ve Şekil 3.27’de gösterilmektedir.



Şekil 3.26 : Bağcılar ve Esenyurt ilçeleri NDVI ve NDBI dağılım grafiği.



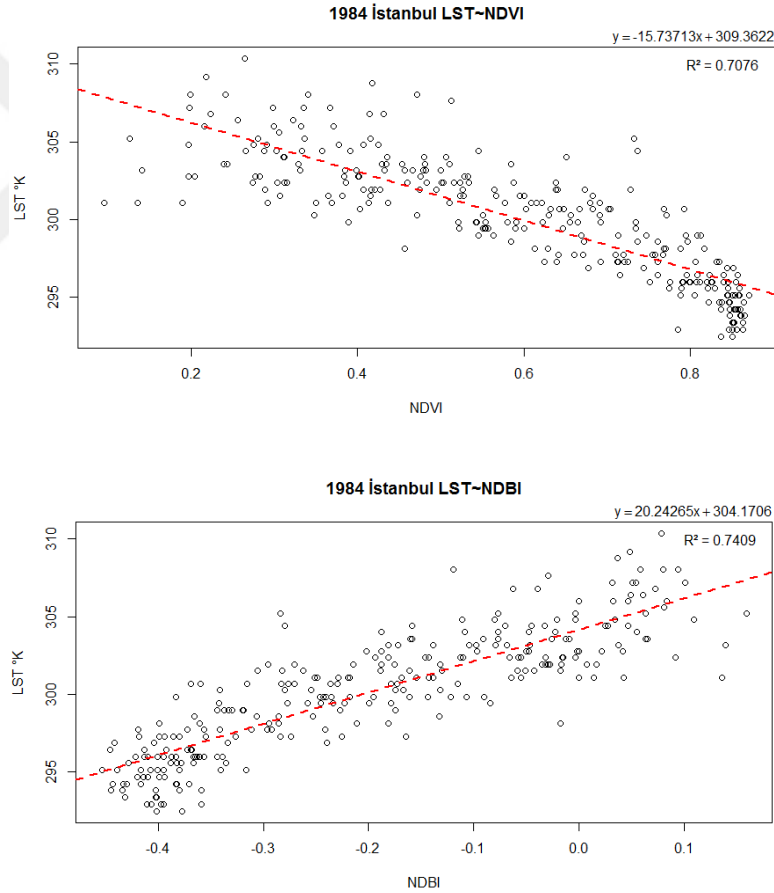
Şekil 3.27 : Bahçelievler ve Küçükçekmece ilçeleri NDVI ve NDBI dağılım grafiği.

3.7 NDVI ve NDBI İndeksleri İle Yüzey Sıcaklıkları Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

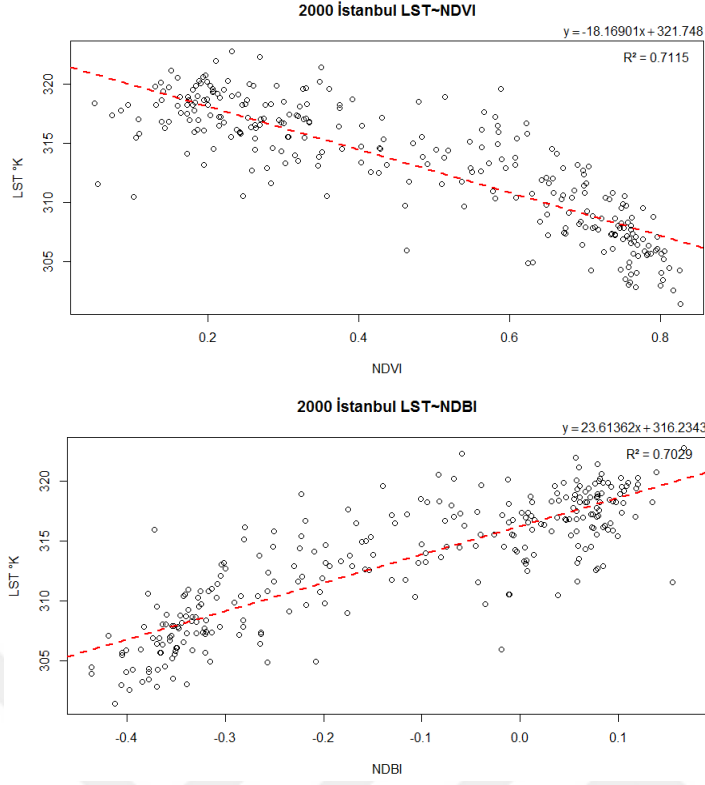
Landsat görüntülerinden elde edilen NDVI ve NDBI indeksleri ile yeryüzü sıcaklıkları arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla coğrafi bilgi sistemleri ortamında farklı yüzey bileşenlerinin tamamını içerecek şekilde rastgele dağılmış 200 nokta yardımıyla örnekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu örnekleme işlemi ile elde edilen veriler yardımıyla doğrusal regresyon analizi gerçekleştirilmiş ve LST, NDVI ve NDBI değerleri arasında regresyon katsayıları hesaplanmıştır. Regresyon katsayıları ve R^2 değerleri Çizelge 3.8’de dağılım grafikleri ise Şekil 3.28, Şekil 3.29, Şekil 3.30, Şekil 3.31, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 : LST ve NDVI ve NDBI doğrusal regresyon katsayıları ve R² değerleri.

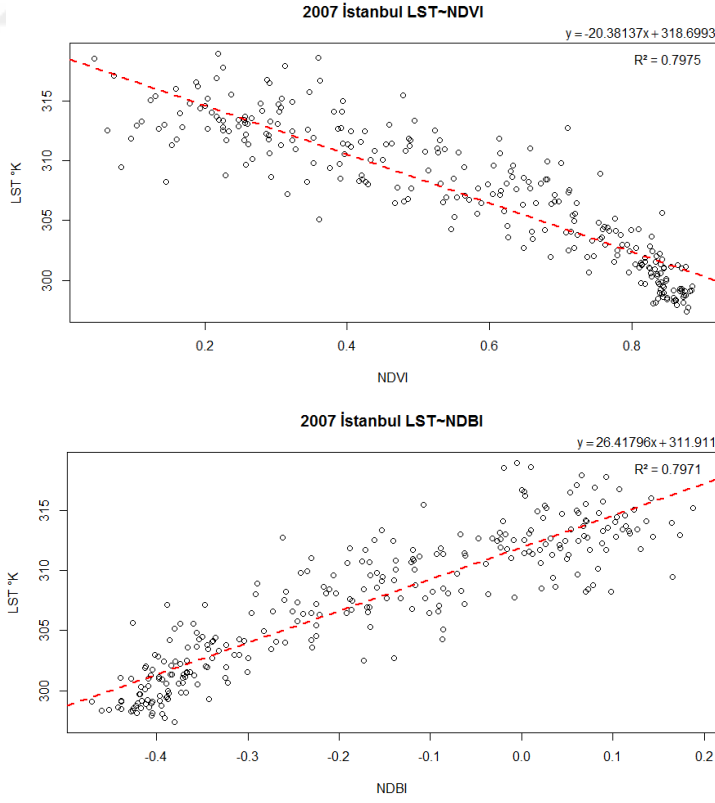
Veri Tarihi - İndeks	Regresyon fonksiyonu	R ² değeri
1984 -NDVI	-15.73713X+309.3622	0.7076
1984-NDBI	20.24265X+304.1706	0.7409
2000-NDVI	-18.16901X+321.748	0.7115
2000-NDBI	23.61362X+316.2343	0.7029
2007-NDVI	-20.38137X+318.6993	0.7975
2007-NDBI	26.41796X+311.911	0.7971
2009-NDVI	-21.73273X+322.5835	0.809
2009-NDBI	28.83942X+315.8695	0.7812
2011-NDVI	-20.8677X+318.9615	0.7516
2011-NDBI	27.41938X+311.9697	0.7322
2017-NDVI	-18.4444X+323.807	0.7497
2017-NDBI	24.0756X+317.6825	0.7174



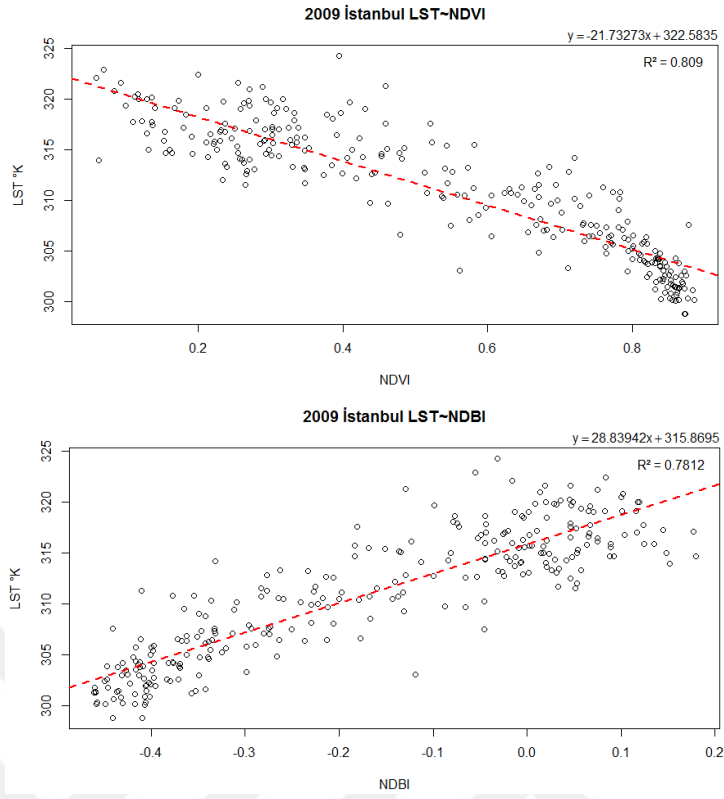
Şekil 3.28 : 1984 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.



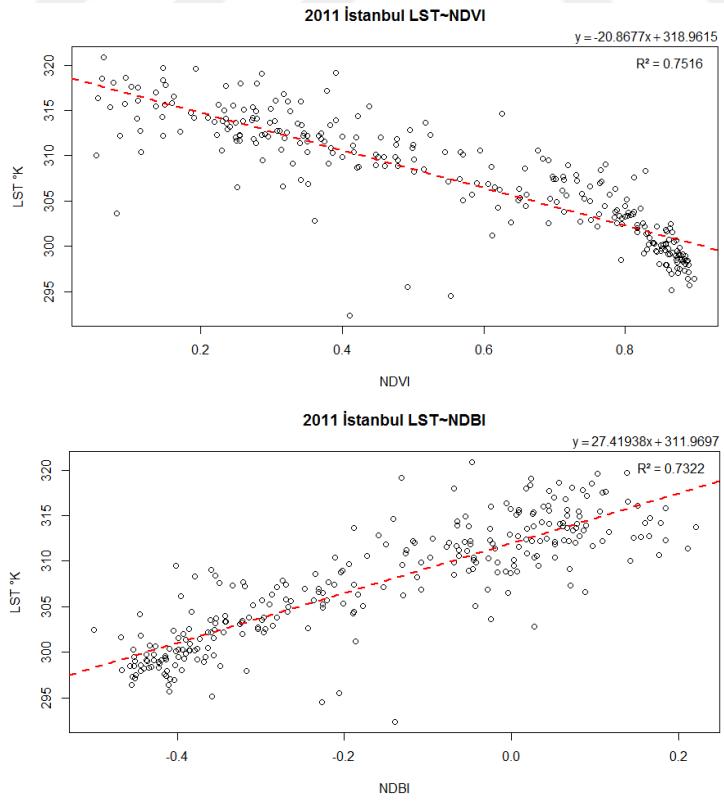
Şekil 3.29 : 2000 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.



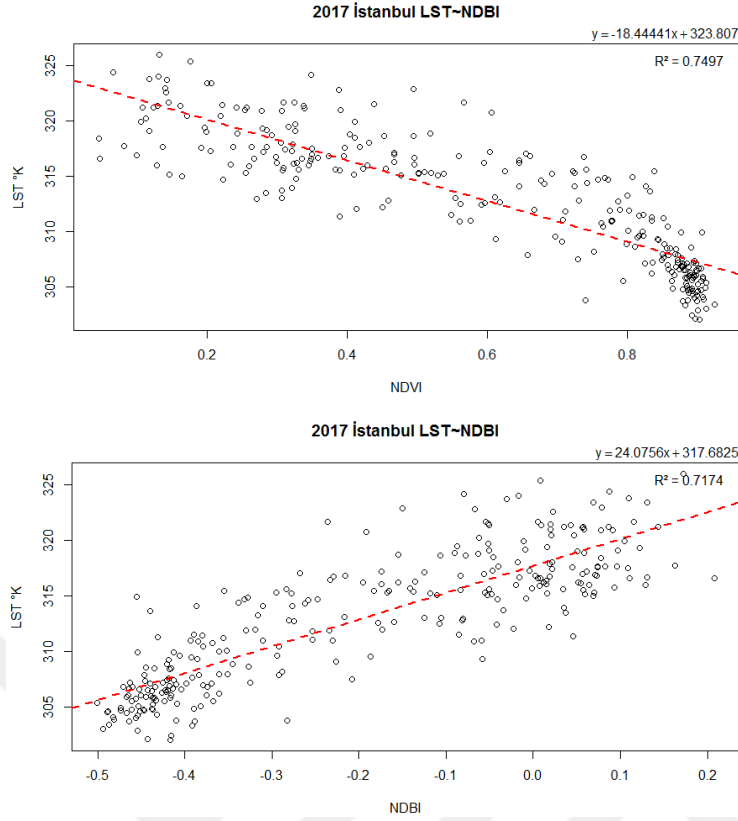
Şekil 3.30 : 2007 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.



Şekil 3.31 : 2009 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.



Şekil 3.32 : 2011 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.



Şekil 3.33 : 2017 yılı LST-NDVI, LST-NDBI dağılım grafiği.

Dağılım grafikleri ve doğrusal regresyon fonksiyonları incelendiğinde NDVI ve LST değerleri arasında negatif bir korelasyon olduğu saptanmıştır. Bu durum bitki örtüsünün az olduğu alanlarda yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğunu ve bitki örtüsü değeri arttıkça yüzey sıcaklıklarının azaldığını göstermektedir. NDBI ve LST değerleri incelendiğinde ise bu iki parametre arasında ise pozitif bir korelasyon olduğu saptanmıştır. NDBI değerleri, yani başka bir ifadeyle yapay yüzey veya yapay yüzeye benzer yansıtım yapan alanlarda yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğunu ifade etmektedir.

Çalışmada ayrıca NDVI ve NDBI değerleri ile LST değerleri arasındaki ilişkiyi her bir arazi örtüsü/kullanımı için ayrı ayrı incelemek amacıyla 1984 ve 2017 yılları için NDVI, NDBI ve LST görüntülerinden, ArcGIS coğrafi bilgi sistemleri yazılımında her bir arazi örtüsü için rastgele dağılmış ve minimum 150 adet olacak şekilde örnekleme yapılmıştır. Her nokta için raster NDVI, NDBI ve LST değerleri hesaplanmış ve öznitelik olarak eklenmiştir. Elde edilen bu değerler R istatistiksel hesaplama yazılımı ortamına aktarılmış ve Pearson korelasyon testi gerçekleştirilmiştir. Her bir yıl ve arazi örtüsü/kullanımı sınıfı için elde LST, NDVI ve NDBI değerlerine ilişkin korelasyon

matrisleri Çizelge 3.9, Çizelge 3.10, Çizelge 3.11, Çizelge 3.12, Çizelge 3.13, Çizelge 3.14, Çizelge 3.15, Çizelge 3.16’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Orman sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 1984.

Orman Alanları	NDVI – 1984	NDBI - 1984	LST - 1984
NDVI – 1984	1.00	-0.94	-0.83
NDBI - 1984	-0.94	1.00	0.82
LST - 1984	-0.83	0.82	1.00

Çizelge 3.10 : Yapay yüzeyler sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 1984.

Yapay Yüzeyler	NDVI – 1984	NDBI - 1984	LST - 1984
NDVI – 1984	1.00	-0.71	-0.68
NDBI - 1984	-0.71	1.00	0.77
LST - 1984	-0.68	0.77	1.00

Çizelge 3.11 : Yarı doğal alanlar sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 1984.

Yapay Yüzeyler	NDVI – 1984	NDBI - 1984	LST - 1984
NDVI – 1984	1.00	-0.90	-0.65
NDBI - 1984	-0.90	1.00	0.69
LST - 1984	-0.65	0.69	1.00

Çizelge 3.12 : Tarım alanları sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 1984.

Yapay Yüzeyler	NDVI – 1984	NDBI - 1984	LST - 1984
NDVI – 1984	1.00	-0.97	-0.79
NDBI - 1984	-0.97	1.00	0.77
LST - 1984	-0.79	0.77	1.00

Çizelge 3.13 : Orman sınıfı NDVI, NDBI ve LST korelasyon matrisi - 2017.

Yapay Yüzeyler	NDVI – 2017	NDBI – 2017	LST - 2017
NDVI – 2017	1.00	-0.84	-0.80
NDBI – 2017	-0.84	1.00	0.60
LST - 2017	-0.80	0.60	1.00

Çizelge 3.14 : Yapay yüzeyler sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 2017.

Yapay Yüzeyler	NDVI – 2017	NDBI – 2017	LST - 2017
NDVI – 2017	1.00	-0.93	-0.87
NDBI – 2017	-0.93	1.00	0.81
LST - 2017	-0.87	0.81	1.00

Çizelge 3.15 : Yarı doğal alanlar sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 2017.

Yapay Yüzeyler	NDVI – 2017	NDBI – 2017	LST - 2017
NDVI – 2017	1.00	-0.88	-0.67
NDBI – 2017	-0.88	1.00	0.62
LST - 2017	-0.67	0.62	1.00

Çizelge 3.16 : Tarım alanları sınıfı NDVI, NDBI, LST korelasyon matrisi - 2017.

Yapay Yüzeyler	NDVI – 2017	NDBI – 2017	LST - 2017
NDVI – 2017	1.00	-0.98	-0.62
NDBI – 2017	-0.98	1.00	0.63
LST - 2017	-0.62	0.63	1

3.8 Arazi Örtüsü ve Kullanımı Değişimlerinin LSMA Bileşen Görüntüleri ve Sınıflandırma Görüntüleri Yardımıyla İncelenmesi

Çalışma bölgesindeki, arazi örtüsü/kullanımı değişimlerini incelemek amacıyla indeks görüntülerinin yanı sıra Bölüm 3.2.1’de lineer spektral karışım analizi sonucunda elde edilen yüzey bileşen haritaları ve Bölüm 3.4’te kontrollü sınıflandırma sonucu elde edilen arazi örtüsü/kullanımı haritaları kullanılmıştır.

Kontrollü sınıflandırma sonucu 1984, 2003 ve 2017 yıllarına ait her bir arazi örtüsü/kullanımı sınıfı için alan değerleri ve yüzdeleri Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17 : Her bir arazi örtüsü/kullanımı sınıfı için alan ve yüzde değerleri.

Arazi Örtüsü Sınıfları	1984		2003		2017	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Orman Alanları	2561.06	48.23	2276.85	43.17	2289.54	43.32
Yapay Yüzeyler	259.673	4.89	557.644	10.57	1082.35	20.48
Yarı Doğal Alanlar	2099.8	39.54	1824.26	34.59	1365.86	25.84
Agricultural	389.731	7.34	615.938	11.68	547.217	10.35

Çizelge 3.17’de verilen kontrollü sınıflandırma sonuçlarına göre İstanbul metropolitan alanının kuzey bölümünde bulunan orman alanlar 33 yıllık süreçte 2561.06 km² den 2289.54 km² ‘ye düşmüş, ormanlık alanlardaki bu azalmaya karşın yapay yüzeyler 259.67 km² den 1082.35 km² ‘ye yükselmiştir. Yapay yüzeylerdeki bu artış toplam çalışma alanının %16’lık bir bölümünü oluşturmaktadır. 33 yıllık süreç için, yapay yüzeylerin yıllık büyüme hızı %4.59 olarak hesaplanmıştır. 1984 ‘ten 2017 yılına kadar tüm arazi örtüsü/kullanımı sınıfları için sınıflar arası alansal dönüşüm değeri Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Sınıflar arası bu dönüşüm değerleri incelendiğinde en büyük değişimlerin sırasıyla, 614.85 km² ve 352.73 km² ile yarı doğal alanlardan yapay yüzeylere ve orman alanlarından yapay yüzeylere olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.18 : 1984 ve 2017 yılları arası arazi örtüsü sınıfları arası değişimler.

Arazi Örtüsü Sınıfı 1984	Arazi Örtüsü Sınıfı 2017	Değişim Miktarı (km ²)
Orman	Yapay Yüzeyler	210.98
Orman	Yarı Doğal Alanlar	352.73
Orman	Tarım Alanları	18.05
Yapay Yüzeyler	Orman	6.43
Yapay Yüzeyler	Yarı Doğal Alanlar	63.60
Yapay Yüzeyler	Tarım Alanları	15.02
Yarı Doğal Alanlar	Orman	293.05
Yarı Doğal Alanlar	Yapay Yüzeyler	614.86
Yarı Doğal Alanlar	Tarım Alanları	353.08
Tarım Alanları	Orman	20.72
Tarım Alanları	Yapay Yüzeyler	78.22
Tarım Alanları	Yarı Doğal Alanlar	125.32

Uygulamada arazi örtüsündeki değişimleri piksel altı seviyede incelemek amacıyla Bölüm 3.2.1’de lineer spektral karışım analizi yöntemiyle hesaplanan yüzey bileşen görüntüleri kullanılmıştır. Lineer spektral karışım analizleri pratikte orta mekansal çözünürlükteki optik uydu görüntülerinde kompozit piksel yansıtım değerlerini verilen saf yüzey bileşenleri oranında ifade etmeye olanak sağlamaktadır. Bu ise karışık piksel durumlarında bir pikselin arazide kapladığı alanda bulunan yüzey bileşenleri hakkında oransal olarak bilgi vermektedir. Bu amaçla üretilen yüzey bileşen haritaları Bitki Örtüsü (Vegetation), Geçirimsiz Yapay Yüzeyler (Impervious Surfaces) ve Soil (Toprak) olarak her bir yıl için üç adet olacak şekildedir.

Çalışmada arazi örtüsü/kullanımı sınıflarından ayrı olarak ilçe bazında yüzey bileşenlerini incelemek amacıyla, tüm bileşen görüntüleri coğrafi bilgi sistemleri ortamında ilçe idari sınırlarına ait vektör dosyası kullanılarak kesilmiş ve coğrafi bilgi sistemi yazılımının bölgesel istatistik fonksiyonu kullanılarak her bir ilçe için ortalama bileşen değerleri hesaplanmıştır. Tüm ilçeler için 1984, 2000, 2007, 2009, 2011 ve 2017 yıllarına ait hesaplanan ortalama bileşen değerleri Çizelge 3.19’da verilmiştir. Çizelgede V, bitki örtüsünü, I yapay yüzeyleri ve S ise toprak bileşenlerini ifade etmektedir.

Çizelge 3.19 : Yıllara göre ilçe bazında ortalama yüzey bileşeni değerleri.

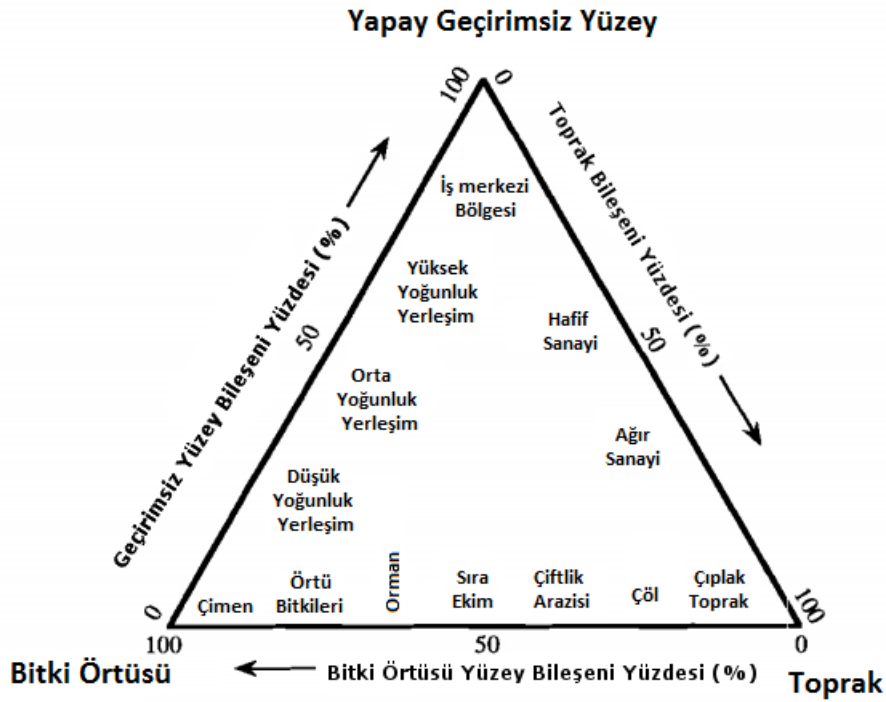
Yıl	1984			2000			2007			2009			2011			2017		
İlçe	V	I	S	V	I	S	V	I	S	V	I	S	V	I	S	V	I	S
Arnavutkoy	0.639	0.406	0.308	0.471	0.560	0.237	0.612	0.548	0.226	0.574	0.542	0.259	0.598	0.551	0.243	0.491	0.613	0.312
Atasehir	0.357	0.498	0.288	0.294	0.855	0.138	0.307	0.804	0.184	0.327	0.805	0.184	0.370	0.814	0.183	0.263	0.848	0.223
Avcilar	0.516	0.525	0.255	0.242	0.500	0.042	0.350	0.722	0.191	0.397	0.756	0.203	0.436	0.731	0.198	0.390	0.703	0.281
Bagcilar	0.303	0.516	0.279	0.332	0.893	0.195	0.329	0.872	0.195	0.343	0.856	0.173	0.370	0.851	0.213	0.211	0.925	0.215
Bahçelievler	0.291	0.587	0.237	0.306	0.891	0.147	0.277	0.840	0.182	0.296	0.840	0.177	0.320	0.836	0.186	0.203	0.864	0.221
Bakirkoy	0.416	0.682	0.215	0.340	0.706	0.134	0.363	0.801	0.194	0.386	0.785	0.191	0.411	0.792	0.186	0.297	0.859	0.204
Basaksehir	0.536	0.429	0.288	0.366	0.729	0.208	0.432	0.713	0.230	0.435	0.688	0.266	0.478	0.664	0.273	0.372	0.755	0.266
Bayrampasa	0.315	0.663	0.191	0.339	0.893	0.159	0.334	0.878	0.251	0.369	0.887	0.185	0.377	0.876	0.198	0.235	0.951	0.186
Besiktas	0.418	0.645	0.206	0.447	0.772	0.043	0.477	0.780	0.152	0.497	0.806	0.153	0.516	0.755	0.154	0.404	0.811	0.185
Beykoz	0.806	0.344	0.234	0.764	0.515	0.142	0.801	0.408	0.156	0.784	0.409	0.176	0.801	0.401	0.160	0.794	0.524	0.164
Beylikduzu	0.508	0.583	0.305	0.281	0.717	0.127	0.316	0.754	0.224	0.364	0.746	0.199	0.422	0.744	0.192	0.329	0.787	0.250
Beyoglu	0.326	0.742	0.220	0.342	0.605	0.011	0.348	0.855	0.136	0.382	0.870	0.122	0.388	0.852	0.138	0.241	0.897	0.170
Büyükçekmece	0.553	0.581	0.272	0.269	0.569	0.147	0.397	0.692	0.228	0.382	0.695	0.224	0.445	0.702	0.215	0.399	0.649	0.302
Çatalca	0.743	0.324	0.252	0.649	0.433	0.221	0.758	0.351	0.198	0.718	0.362	0.221	0.710	0.375	0.217	0.821	0.390	0.267
Çekmekoy	0.813	0.350	0.219	0.759	0.543	0.155	0.807	0.454	0.157	0.805	0.452	0.169	0.809	0.462	0.154	0.762	0.548	0.198
Esenler	0.399	0.545	0.298	0.394	0.871	0.140	0.420	0.842	0.203	0.427	0.818	0.212	0.468	0.785	0.224	0.310	0.877	0.238
Esenyurt	0.511	0.473	0.335	0.301	0.812	0.181	0.303	0.795	0.223	0.337	0.798	0.212	0.367	0.780	0.212	0.263	0.838	0.243
Eyüp	0.722	0.348	0.279	0.638	0.611	0.198	0.715	0.519	0.201	0.710	0.514	0.238	0.717	0.512	0.187	0.608	0.690	0.228
Fatih	0.354	0.784	0.163	0.385	0.732	0.031	0.359	0.816	0.161	0.388	0.834	0.154	0.385	0.804	0.171	0.273	0.845	0.200

Çizelge 3.19 (devam) : Yıllara göre ilçe bazında ortalama yüzey bileşeni değerleri.

Yıl	1984			2000			2007			2009			2011			2017		
İlçe	V	I	S	V	I	S	V	I	S	V	I	S	V	I	S	V	I	S
Gaziosmanpaşa	0.248	0.568	0.276	0.304	0.892	0.106	0.324	0.853	0.133	0.342	0.864	0.146	0.360	0.845	0.168	0.224	0.908	0.197
Güngören	0.290	0.636	0.194	0.297	0.888	0.144	0.274	0.844	0.160	0.296	0.841	0.159	0.304	0.838	0.154	0.182	0.853	0.210
Kadıköy	0.347	0.662	0.236	0.360	0.776	0.059	0.356	0.767	0.174	0.384	0.782	0.153	0.398	0.776	0.159	0.293	0.809	0.209
Kağıthane	0.365	0.618	0.247	0.403	0.842	0.077	0.420	0.826	0.163	0.445	0.828	0.175	0.470	0.805	0.168	0.313	0.916	0.182
Kartal	0.379	0.510	0.339	0.370	0.782	0.132	0.406	0.731	0.210	0.395	0.746	0.207	0.439	0.739	0.184	0.358	0.778	0.213
Küçükçekmece	0.406	0.526	0.264	0.300	0.647	0.116	0.334	0.814	0.214	0.359	0.789	0.205	0.408	0.802	0.186	0.298	0.877	0.228
Maltepe	0.436	0.587	0.271	0.388	0.813	0.097	0.418	0.794	0.164	0.426	0.796	0.164	0.460	0.793	0.173	0.344	0.840	0.209
Pendik	0.593	0.525	0.314	0.528	0.681	0.141	0.583	0.666	0.206	0.592	0.654	0.240	0.630	0.659	0.204	0.516	0.712	0.261
Sancaktepe	0.564	0.452	0.366	0.465	0.745	0.158	0.536	0.731	0.182	0.535	0.724	0.186	0.573	0.714	0.191	0.451	0.755	0.209
Sarıyer	0.742	0.393	0.249	0.689	0.618	0.177	0.759	0.516	0.166	0.754	0.518	0.181	0.767	0.494	0.168	0.689	0.631	0.185
Sile	0.816	0.363	0.184	0.779	0.535	0.149	0.839	0.394	0.170	0.834	0.381	0.181	0.839	0.396	0.172	0.855	0.478	0.192
Silivri	0.635	0.538	0.217	0.407	0.532	0.289	0.575	0.576	0.193	0.516	0.545	0.233	0.559	0.596	0.196	0.574	0.458	0.332
Sisli	0.552	0.620	0.237	0.577	0.827	0.172	0.605	0.772	0.207	0.609	0.788	0.197	0.631	0.719	0.187	0.440	0.870	0.196
Sultanbeyli	0.420	0.408	0.390	0.271	0.719	0.216	0.365	0.765	0.155	0.366	0.761	0.158	0.430	0.770	0.176	0.312	0.804	0.193
Sultangazi	0.467	0.426	0.321	0.456	0.779	0.076	0.508	0.780	0.161	0.528	0.770	0.178	0.558	0.711	0.148	0.356	0.949	0.188
Tuzla	0.470	0.489	0.357	0.376	0.699	0.218	0.448	0.693	0.225	0.431	0.638	0.256	0.506	0.663	0.208	0.369	0.689	0.277
Ümraniye	0.488	0.458	0.332	0.421	0.806	0.133	0.461	0.757	0.165	0.475	0.767	0.154	0.517	0.752	0.151	0.384	0.803	0.181
Üsküdar	0.466	0.548	0.243	0.440	0.803	0.093	0.474	0.733	0.154	0.480	0.745	0.135	0.512	0.721	0.136	0.415	0.744	0.173
Zeytinburnu	0.296	0.713	0.207	0.342	0.711	0.093	0.329	0.817	0.236	0.354	0.820	0.208	0.368	0.808	0.260	0.232	0.910	0.229

Çizelge 3.19'daki ortalama bileşen değerlerinin incelenmesi amacıyla Ridd, M.K. (1995) tarafından geliştirilen V-I-S (Vegetation, Impervious, Soil) modelinden yararlanılmıştır. Bu model genel olarak yer bilimlerinde topraktaki dokusal bileşenleri ifade etmek için kullanılan kum,silt,kil diyagramlarından türetilmiştir. Bu diyagramlar üçgensel çizim diyagramları (ternary diyagram) olup, her bir bileşen (kum,silt,kil) üçgen diyagramların köşelerini ifade etmektedir. Diyagram üzerinde işaretlenen değerlerin köşe değerlere yakınlığı ile değerın yüzde olarak hangi bileşene yakın olduğu kestirilir.

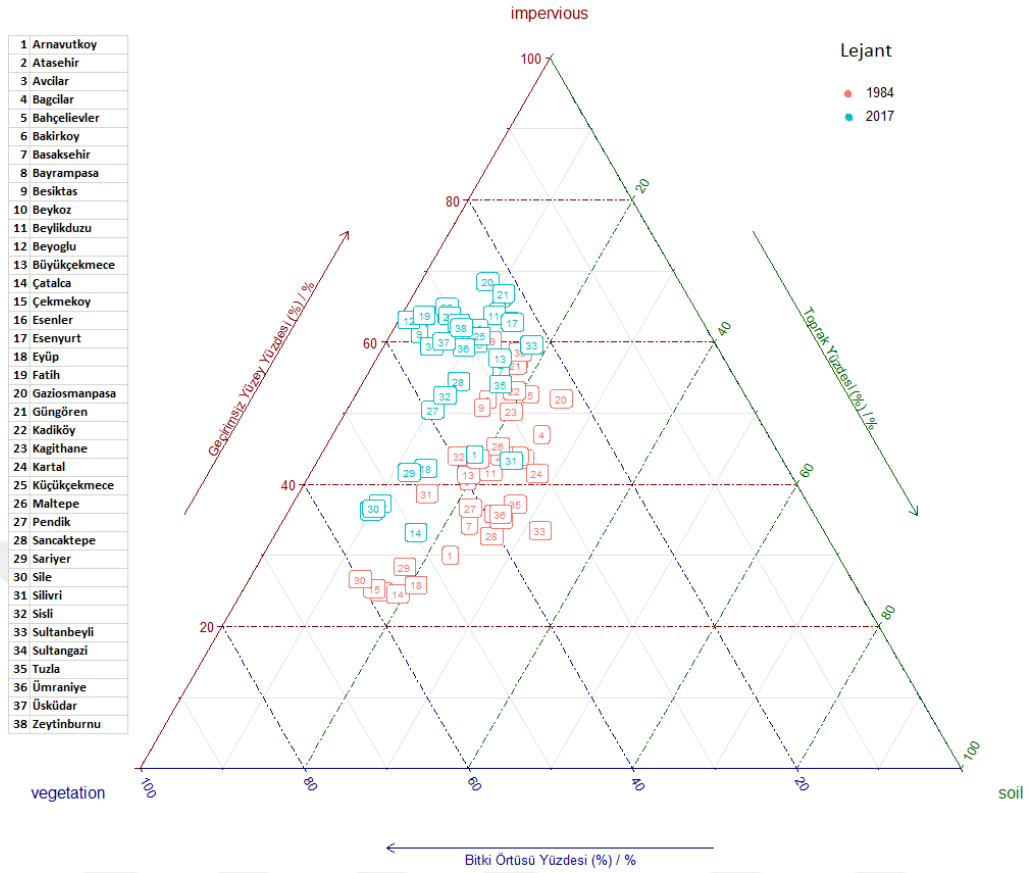
V-I-S modeli ise, kum,silt,kil diyagramlarının, kentsel alanların bir noktası veya bir kesimindeki yüzey bileşenlerini ifade etmek için, kentsel çalışmalara uyarlanmış bir türüdür. Bu modelde üçgensel çizim diyagramının köşeleri V (Bitki Örtüsü), I (Yapay Yüzeyler) ve S (Toprak) bileşenlerini ifade etmektedir(Şekil 3.34).



Şekil 3.34 : V-I-S modeli (Ridd, M.K., 1995).

Çalışmada, Çizelge 3.19'da verilen ortalama bileşen değerleri, R istatistiksel hesaplama yazılımı ortamına aktarılmış ve bu yazılıma ait “ggtern” adı verilen üçgensel çizim kütüphanesi yardımıyla V-I-S modelleri tüm ilçeler için oluşturulmuştur. Farklı yıllar arasında bileşenlerin değişimlerini gözlemlemek amacıyla 1984 ile 2017 yılları için V-I-S modellerinin çizimleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modeller, Şekil 3.35’de verilmiştir.

İstanbul V-I-S Modeli 1984-2017



Şekil 3.35 : İstanbul V-I-S modeli (1984-2017).

Şekil 3.35’de verilen V-I-S modeline ait diyagram incelendiğinde 1984-2017 yılları arasında tüm ilçeler için yüzey bileşen değerlerinin grafiğin sol orta bölgesinden, üst köşe bileşeni olan yapay yüzeyler bileşenine doğru değişim gösterdiği görülmektedir. Bu durum, söz konusu ilçelerde arazi örtüsünün çıplak toprak ve bitki örtüsünden yapay geçirimsiz yüzeylere doğru artış gösterdiğini başka bir deyişle kentsel alanların arttığını ifade etmektedir.

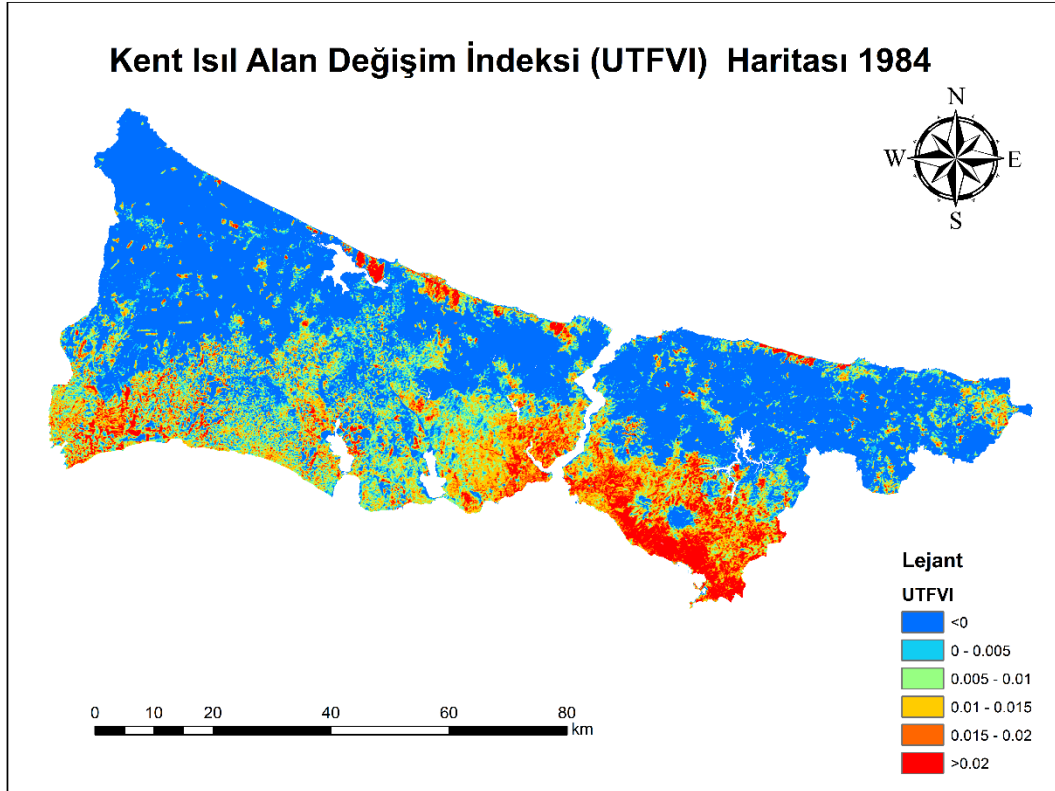
Oluşturulan V-I-S modeli, Ridd, M.K. (1995) tarafından önerilen ve Şekil 3.34’de gösterilen kentsel alanlar için şematik olarak genelleştirilmiş V-I-S modeli ile karşılaştırıldığında 1984 yılından 2017 yılına kadar, bileşenlerin değişimine göre kentsel alanlardaki yoğunluğun düşük ve orta yoğunluktan yüksek yoğunluğa doğru değişim gösterdiği saptanmıştır.

3.9 Kentsel Isı Alanı Değişimi İndeksi (UTFVI) Haritalarının Oluşturulması

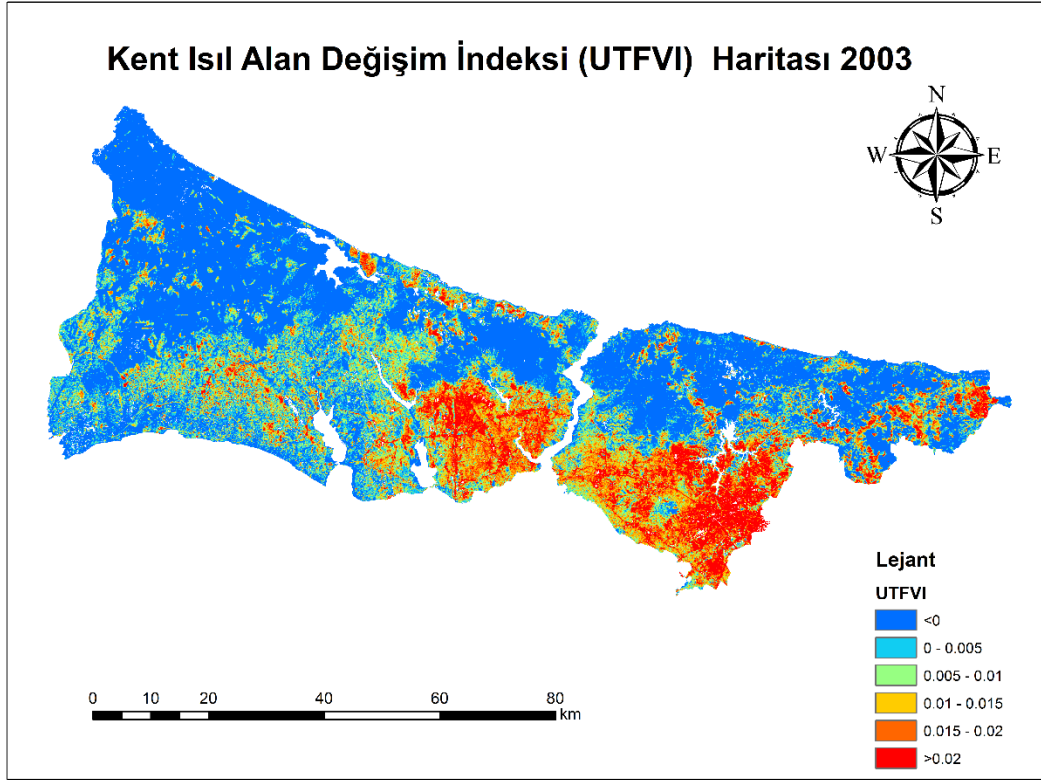
Çalışmada Bölüm 2.2.3’de ifade edilen UTFVI indeksi görüntüleri, 1984, 2003 ve 2017 yılına ait yüzey sıcaklık haritaları kullanılarak hesaplanmıştır. Hesap için gerekli olan ortalama sıcaklık değerleri bant istatistiklerinden elde edilmiştir. UTFVI indeksi görüntüleri Çizelge 2.5’te verilen eşik değerleri ile yoğunluk dilimleme (density slicing) yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Bu eşik değerleri ekolojik eşik değerleri olup, UTFVI indeksinin;

- 0’dan küçük olduğu değerler için kentsel ısı adası etkisinin bulunmadığı alanları
- 0.000 ile 0.005 arasında olduğu değerler için zayıf olduğu alanları
- 0.005 ile 0.01 arasında olduğu değerler için orta seviyede olduğu alanları
- 0.015 değerinde güçlü olduğu alanları
- 0.015–0.020 arasında olduğu değerler için daha güçlü seviyede olduğu alanları
- 0.02 den büyük olduğu değerler için çok güçlü olduğu alanları

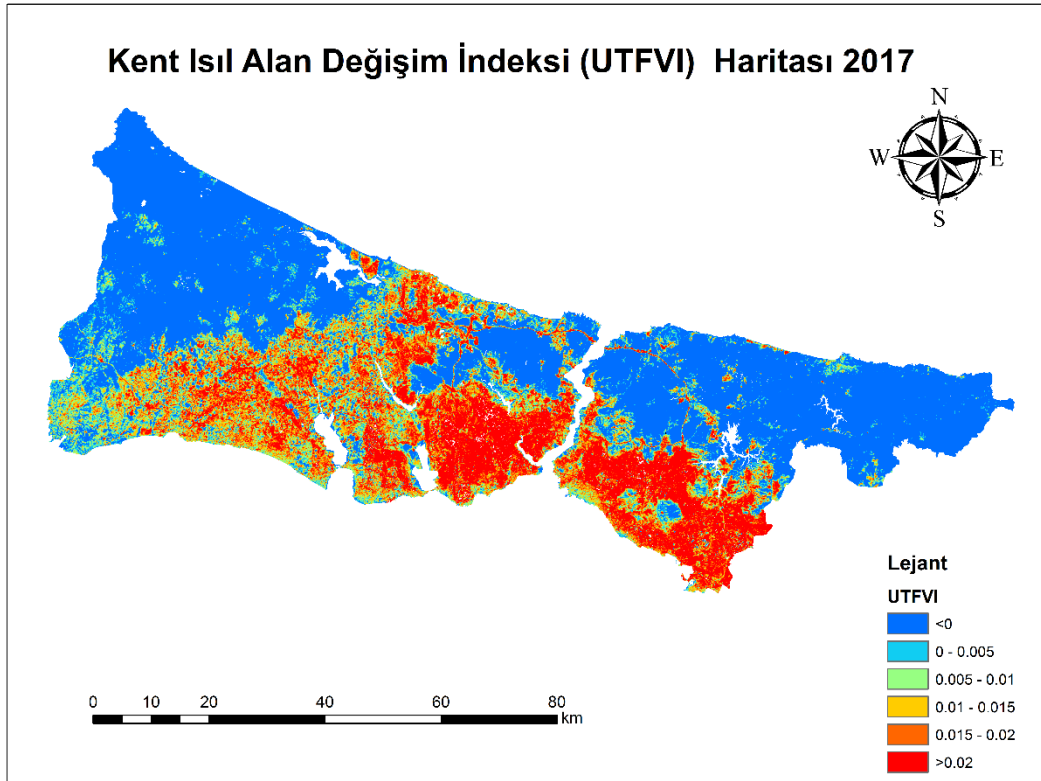
ifade etmektedir. 1984, 2003 ve 2017 yıllarına ait hesaplanan UTFVI görüntüleri Şekil 3.36, Şekil 3.37 ve Şekil 3.38’de verilmiştir.



Şekil 3.36 : 1984 yılı İstanbul UTFVI haritası.



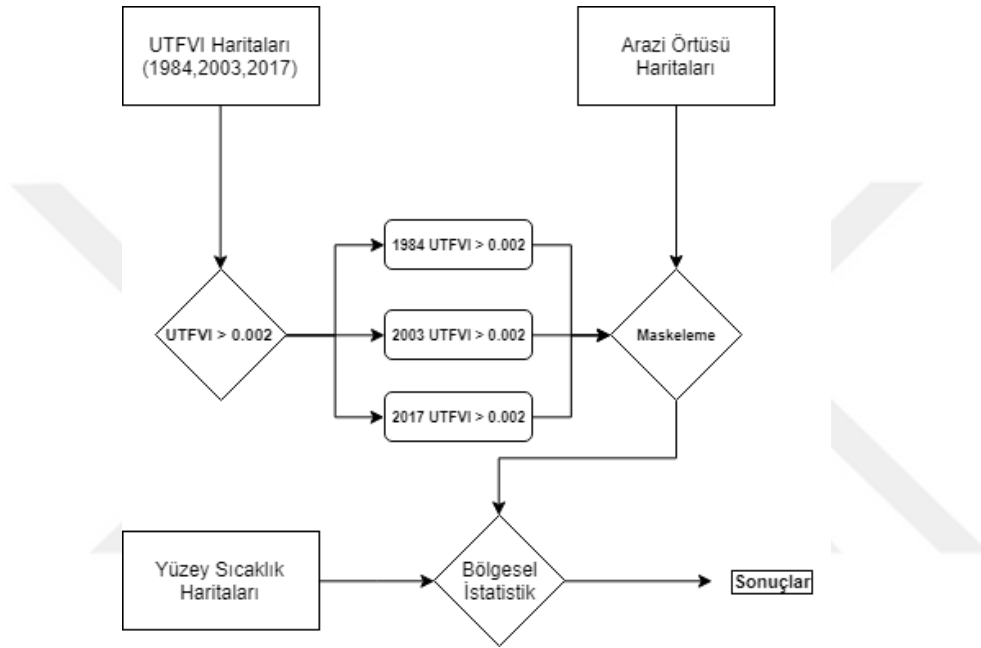
Şekil 3.37 : 2003 yılı İstanbul UTFVI haritası.



Şekil 3.38 : 2017 yılı İstanbul UTFVI haritası.

3.10 Kentsel Isı Alanı Değişimi İndeksi Haritaları Yardımıyla Isı Alanlarının Belirlenmesi ve Arazi Örtüsü/Kullanımı İle İlişkisinin İncelenmesi

Bölüm 3.9’da hesaplanan UTFVI indeks haritaları, Bölüm 3.4’te kontrollü sınıflandırma yöntemi ile oluşturulan arazi örtüsü/kullanımı haritaları ve Bölüm 3.2.2’de hesaplanan yeryüzü sıcaklık haritaları yardımıyla kentsel ısı alanlarının arazi örtüsüne göre değişimlerini incelemek amacıyla Şekil 3.39’da verilen iş akış şeması uygulanmıştır.



Şekil 3.39 : Kentsel ısı alanlarının arazi örtüsüne göre değişiminin analizi için iş akış şeması.

Çalışmada 1984, 2003 ve 2017 yılları için elde edilen UTFVI haritalarında kentsel ısı adası etkilerinin çok yüksek olarak belirlendiği ve ekolojik eşik değeri 0.02 ve daha üstü değerlere sahip olan alanlar coğrafi bilgi sistemleri ortamında vektör veri haline dönüştürülmüştür. Dönüştürülen bu alanlar içinde kalan arazi örtüsü/kullanımı sınıflarını çıkartmak amacıyla arazi örtüsü/kullanımı görüntüleri her yıl için hesaplanan vektör alan verileri kullanılarak kesilmiştir. Kesilen arazi görüntülerinde yapay yüzeyler ve yarı doğal alanlar belirlenmiş ve bu alanlar için coğrafi bilgi sistemi ortamında bölgesel istatistik fonksiyonu yardımıyla minimum, maksimum ve ortalama yeryüzü sıcaklık değerleri ve ilgili değerlere ait standart sapmalar hesaplanmıştır. Her bir yıla ait değerler Çizelge 3.20’de verilmiştir.

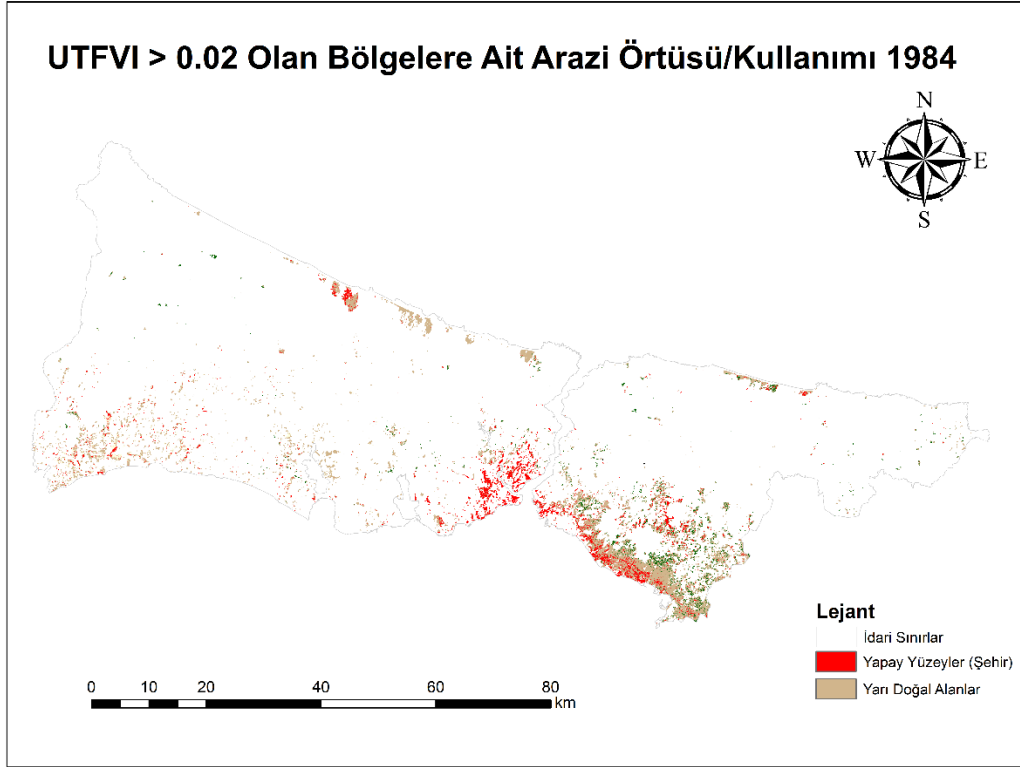
Çizelge 3.20 : UTFVI > 0.02 olan bölgelere ait arazi kullanımı ve sıcaklık değerleri.

Yıl	Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıfı 1984	Toplam Alan) (Hektar)	Ortalama Sıcaklık (K)	Makimum Sıcaklık(K)	Minimum Sıcaklık(K)	Std. Sapma
1984	Yapay Yüzeyler	7594.74	306.96	317.23	302.33	1.15
	Yarı Doğal Alanlar	23423.8	306.80	314.60	300.25	1.18
2003	Yapay Yüzeyler	13110.5	321.47	328.10	305.87	2.49
	Yarı Doğal Alanlar	37241.8	320.83	327.99	308.23	1.93
2017	Yapay Yüzeyler	53352.99	323.51	334.00	312.74	2.07
	Yarı Doğal Alanlar	39322.71	323.62	333.98	310.44	1.95

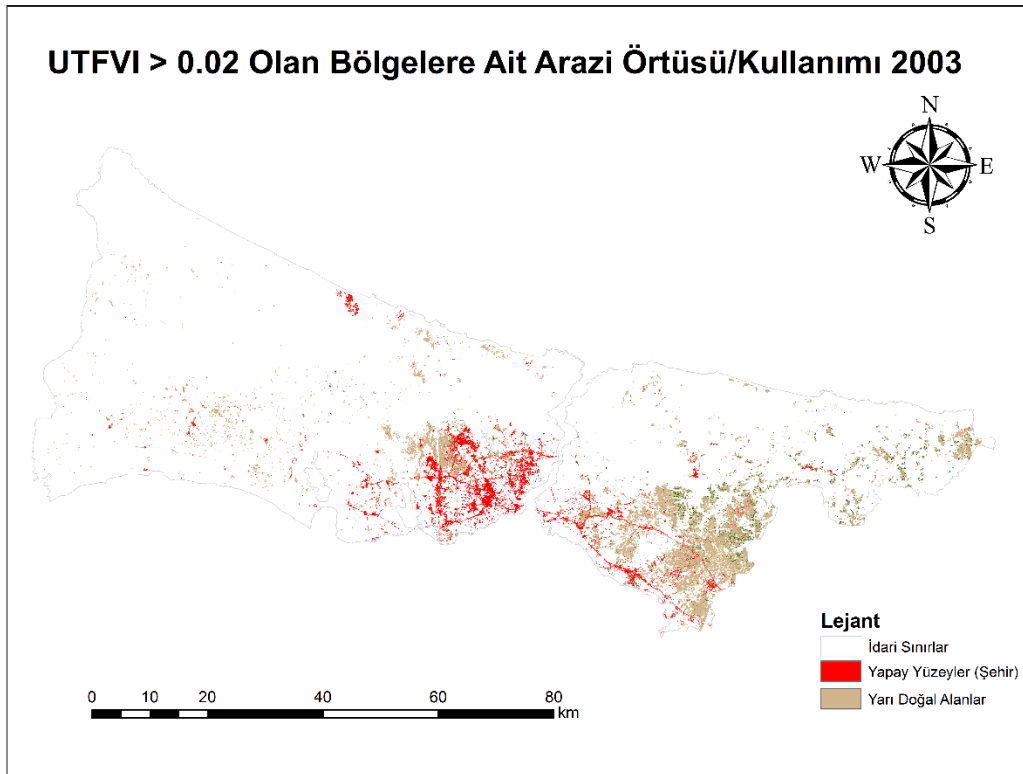
Çizelge 3.20’de verilen sonuçlara göre 1984 yılından 2017 yılına kadar geçen sürede kentsel ısı alanlarının etkilerinin yüksek olarak belirlendiği alanlarda, kentleşmeyi ifade eden yapay yüzey alanlarının 45758.25 hektar artış gösterdiği görülmektedir. Bu duruma ek olarak kentsel alanlar için ortalama olarak yüzey sıcaklıklarında 10.4 K artış olmuştur. Yüzey sıcaklıklarındaki bu artışın nedeni kentleşme ile birlikte nem tutma özelliği düşük olan insan yapımı bileşenler içeren arazi örtüsündeki artış ve kentin genişlemesiyle beraber onu çevreleyen bitki örtüsündeki azalma olarak gösterilebilir. Yapay yüzeylerdeki en yüksek artış 40242.49 hektar ile 2003-2017 yılları arasında olmuştur.

Yüksek ısı alanı etkisi alanında kalan bir diğer arazi örtüsü ise çıplak toprak, veya az bitki örtüsüne sahip alanları ifade eden yarı doğal alanlardır. Çizelge 3.20’de verilen sonuçlara göre 1984 ve 2017 yılları arasında yarı doğal alanlardaki değişim 15898.91 hektar olmuştur. Yarı doğal alanlardaki bu artışa paralel olarak bu arazi örtüsüne ait ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artış ise 10.19 K olmuştur. Yarı doğal alanlarda en yüksek artış 2080 hektar ile 2003 ve 2017 yılları arasındadır.

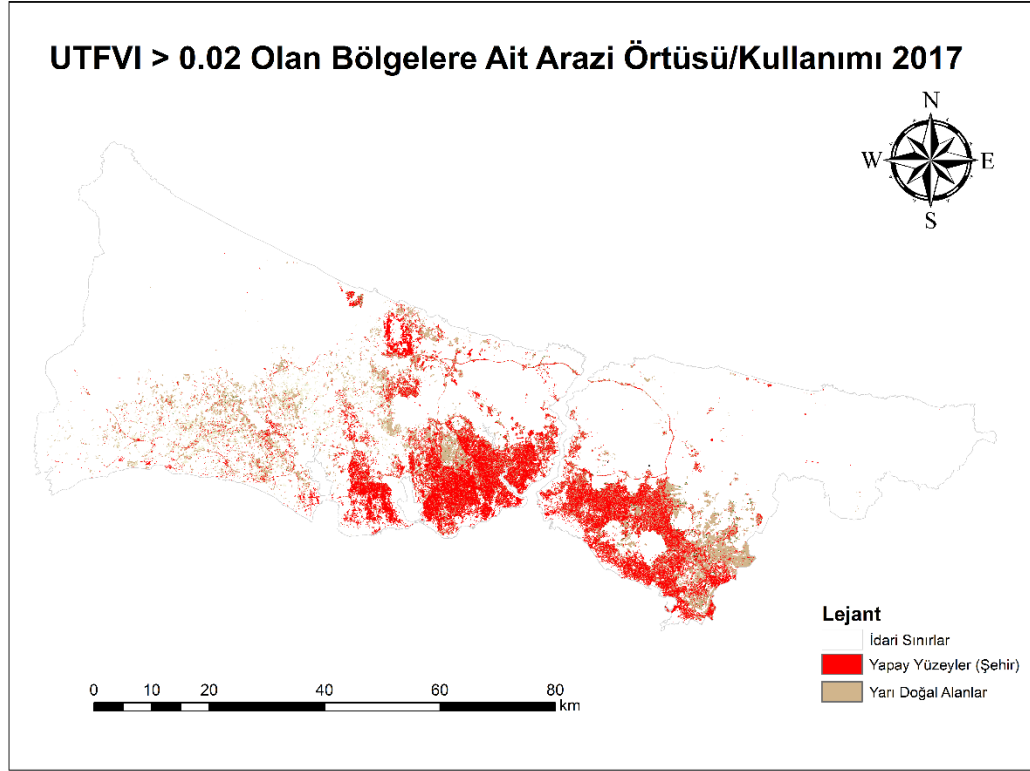
1984, 2003 ve 2017 yıllarına ait UTFVI değerlerinin 0.02 eşik değerinden büyük olduğu bölgelerdeki arazi örtüsü/kullanımını gösteren haritalar sırasıyla Şekil 3.40, Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de verilmiştir.



Şekil 3.40 : UTFVI > 0.02 olan bölgelere ait arazi kullanımı - 1984.



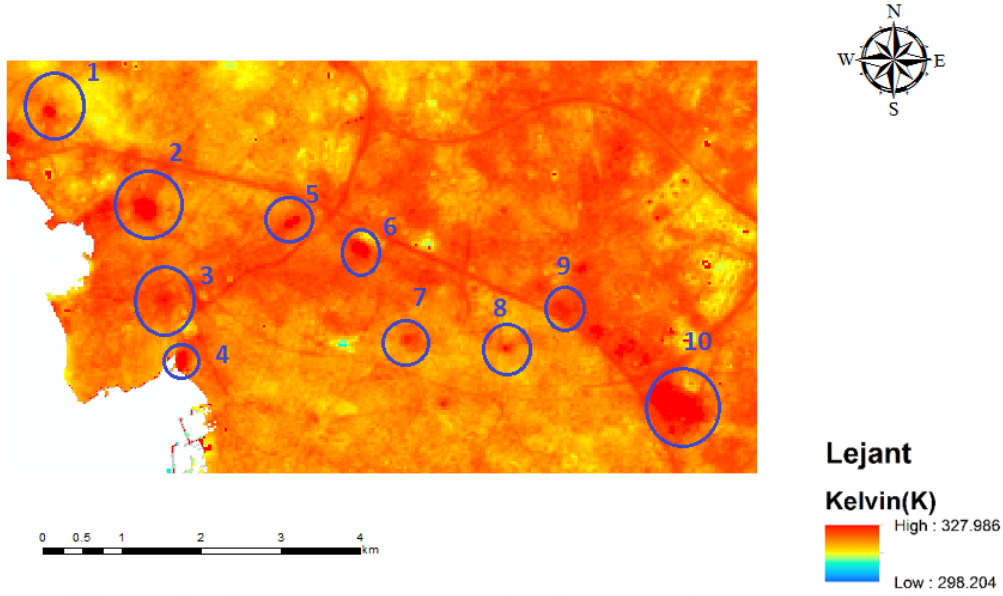
Şekil 3.41 : UTFVI > 0.02 olan bölgelere ait arazi kullanımı - 2003.



Şekil 3.42 : UTFVI > 0.02 olan bölgelere ait arazi kullanımı - 2017.

3.10.1 Kentsel ısı alanlarının güçlü olduğu alanlarda arazi örtüsü/arazi kullanımlarının yüzey sıcaklıkları ile ilişkilendirilmesi

Çalışmada Bölüm 3.9’da kentsel ısı alanlarının dağılımını gösteren UTFVI haritaları oluşturulmuştur. Bu bölümde ise UTFVI haritalarında kentsel ısı alanı etkilerinin güçlü olduğu bölgelerde yüzey sıcaklık değerlerinin yoğunlaştığı alanlar 2017 yılına ait yüzey sıcaklık görüntüsü yardımıyla görsel olarak incelenmiştir. UTFVI değerlerinin 0.02 eşik değerinden yüksek olduğu alanlar içinden İstanbul metropolitan alanı Asya yakasına ait pilot bölge seçilmiş ve 2017 yılına ait yüzey sıcaklık görüntüsü üzerinde yüzey sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu 10 nokta belirlenmiştir. Konumu belirlenen noktaların arazi kullanım bilgisi Google Earth yazılımı kullanılarak görsel olarak belirlenmiştir. Yüzey sıcaklık değerlerinin yüksek olduğu seçilen 10 nokta Şekil 3.43’de verilmiştir.

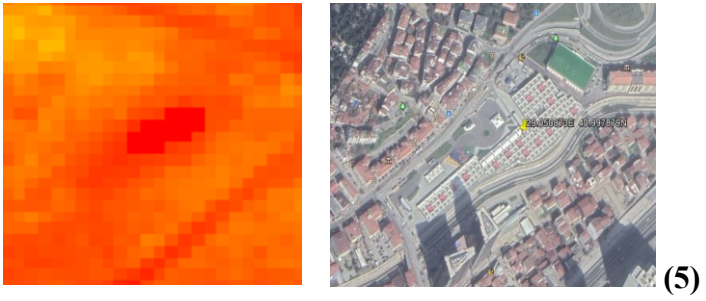
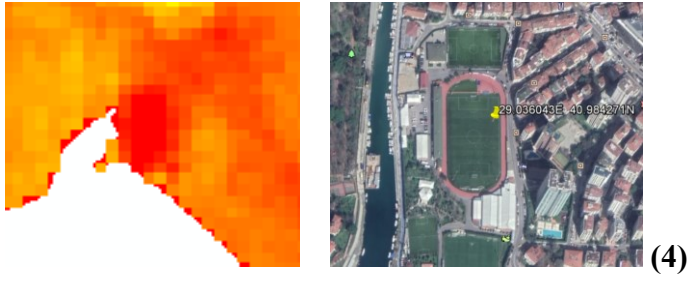
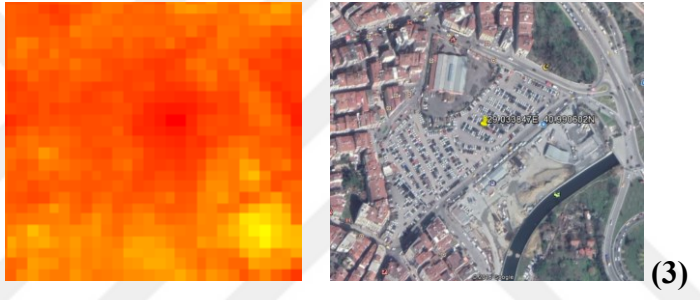
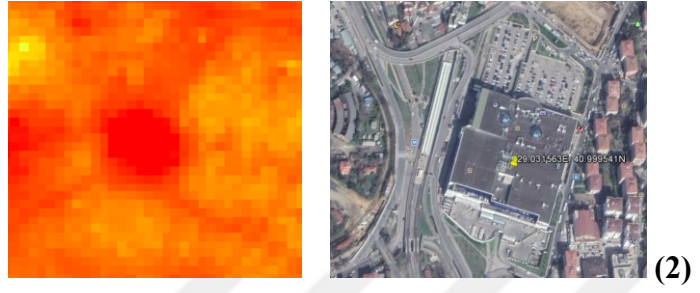
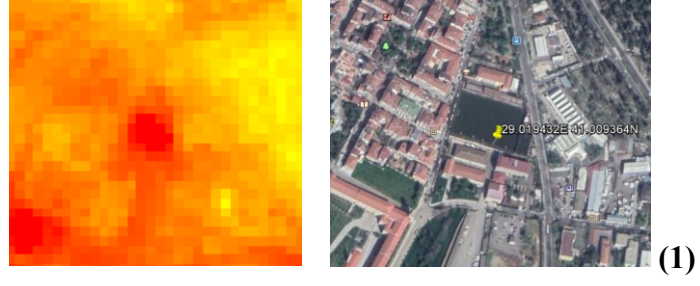


Şekil 3.43 : Kentsel ısı alanı etkisinin güçlü olduğu bölgelerde yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu noktalar - 2017.

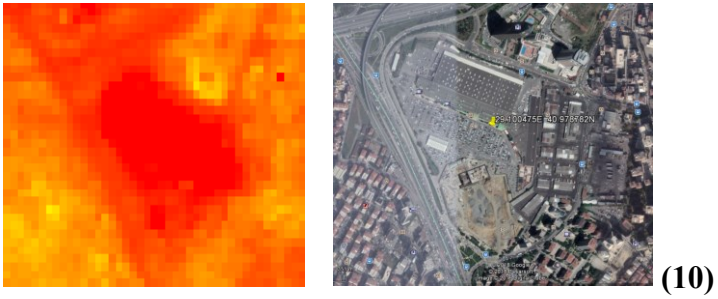
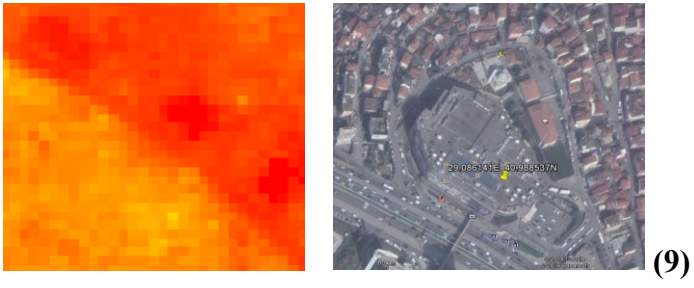
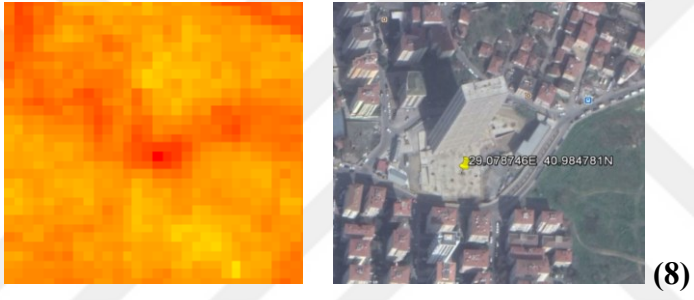
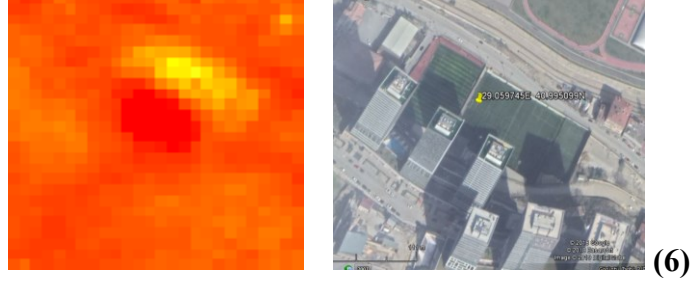
İnceleme sonucunda yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu 10 nokta için arazi kullanım değerlerinin, beton ve asfalt türü yüzey bileşenlerinin ağırlıklı olduğu otopark, alışveriş merkezleri, endüstriyel alanlar ve yapay çim içeren spor kompleksleri ve halı sahalar olduğu tespit edilmiştir. Özellikle beton ve asfalt gibi ısı kapasitesi yüksek yapay yüzeylerin yoğun olduğu bu tip alanlarda ve petrol bazlı ürün olan yapay çim alanlarında yüzey sıcaklıkları çevresindeki bölgelere göre daha yüksek olmaktadır. İncelenen 10 nokta için konum bilgileri ve arazi kullanım bilgileri Çizelge 3.21’de, sıcaklık görüntüleri ve arazi kullanımını gösteren uydu görüntüleri ise sırasıyla Şekil 3.44 ve Şekil 3.45’te verilmiştir.

Çizelge 3.21 : Örnek noktalar için konum ve arazi kullanımı bilgileri.

Nokta No.	Enlem (Derece)	Boylam (Derece)	Arazi Kullanımı
1	41.0094	29.0194	Yapay çim saha
2	40.9995	29.0316	Alışveriş merkezi
3	40.9906	29.0338	Otopark
4	40.9843	29.0360	Yapay çim saha
5	40.9979	29.0509	Endüstriyel alan
6	40.9951	29.0597	Yapay çim saha
7	40.9860	29.0656	Toplu konut
8	40.9848	29.0787	İnşaat Alanı (Konut)
9	40.9885	29.0861	Alışveriş merkezi
10	40.9788	29.1005	Alışveriş merkezi



Şekil 3.44 : Yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu noktalar ve arazi kullanımları - 1.



Şekil 3.45 : Yüzey sıcaklıklarının yüksek olduğu noktalar ve arazi kullanımları - 2.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada İstanbul metropolitan bölgesinde 33 yıllık süreçte meydana gelen arazi örtüsü/kullanımı değişimleri ve bu arazi örtüsü/kullanımı değişimlerinin kentsel ısı adası çeşitlerinden biri olan kentsel yüzey ısı adalarına olan etkileri, çok-spektrumlu uydu görüntüleri yardımı ile kantitatif olarak incelenmiştir. Uygulama amacıyla, Landsat TM ve Landsat 8 OLI/TIRS uydularına ait görünür ve ısı kızıltötesi spektrumda elde edilmiş bantlar kullanılmıştır.

Arazi örtüsü değişimlerini belirlemek amacıyla uydu görüntüleri üç farklı yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bunlardan ilki görüntülerdeki piksel yansıtım değerleri ile arazi örtüsü/kullanımı bilgi sınıfları arasında ilişki kurulmasını sağlayan kontrollü sınıflandırma yöntemidir. Çalışmada kontrollü sınıflandırma işlemi, parametrik bir sınıflandırıcı olan en yüksek olasılık (maximum likelihood) sınıflandırıcısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 1984, 2003 ve 2017 yıllarına ait atmosferik düzeltilmesi yapılmış Landsat uydu görüntüleri Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen CORINE sınıflandırma yönteminin 1. Seviye sınıflarına göre sınıflandırılmış ve arazi örtüsü/kullanımı haritaları oluşturulmuştur. Arazi örtüsü/kullanımı haritaları ile her bir arazi örtüsü için değişimler incelendiğinde 1984 yılından 2017 yılına kadar kentsel alanlarda 822.68km²'lik bir artış olduğu gözlenmiştir. Kentsel alanlardaki bu artış çalışma alanı olan İstanbul'a ait bölgenin %16 lık kısmına eşittir. Kentsel alanlardaki bu artışa paralel olarak orman alanları 2561.06 km² den 2289.54 km² 'ye düşmüştür. Sınıflar arası dönüşüm tabloları incelendiğinde ise en büyük arazi örtüsü/kullanımı değişimlerinin yarı doğal alanlardan ve orman alanlarından yapay yüzeylere olduğu saptanmıştır.

Arazi örtüsü bileşenlerini incelemek amacıyla çalışmada kullanılan ikinci yöntem ise lineer spektral karışım analizi (LSMA) yöntemidir. Bu yöntemde piksel tabanlı sınıflandırmadan ayrı olarak arazi örtüsü/kullanımı değişimlerini piksel altı seviyede incelemek mümkün olmaktadır. Lineer spektral karışım analizlerini gerçekleştirebilmek için görüntüdeki piksellere ait kompozit yansıtım değerlerine etki eden saf yüzey bileşenlerinin belirlenmesi ve bu bileşenlere ait yansıtımların,

kullanılan algılayıcıdaki bant karşılık değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada saf yüzey bileşenleri olarak, yapay yüzeyler, toprak ve bitki örtüsü seçilmiş ve bu bileşenlere ait yansıtım değerleri ASTER spektral kütüphanesinden çıkartılmıştır. Çıkartılan spektralar, Landsat uydularına ait görünür ve kızılötesi bantların bağlı duyarlılık fonksiyonları yardımıyla bant karşılık değerlerine dönüştürülmüş ve lineer spektral karışım analizi tam kısıtlanmalı model kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Lineer spektral karışım analizi sonucunda elde edilen yüzey bileşen görüntüleri, İstanbul'a ait ilçe sınırlarına uygun olarak kesilmiş ve her ilçe için ortalama bileşen değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ortalama bileşen değerleri V-I-S modeli kullanılarak üçgensel çizim grafiklerine dönüştürülmüş ve ilçe bazında bitki örtüsü, yapay yüzey ve toprak bileşenlerinin değişimleri incelenmiştir. Oluşturulan V-I-S modeline ait diyagramlar incelendiğinde 1984 yılından 2017 yılına kadar yüzey bileşen değerlerinin yapay yüzeyler bileşenine doğru değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Bu değişim arazi örtüsü/kullanımı değişimi ile ilişkilendirildiğinde, kentsel alanlardaki yapay yüzey artışının düşük ve orta yoğunluktaki yerleşim alanlarından yüksek yoğunluktaki yerleşim alanlarına doğru olduğu saptanmıştır.

Lineer spektral karışım analizi sonucunda elde edilen bileşen görüntüleri ayrıca ısı bantlarından elde edilecek yüzey sıcaklık görüntülerinin oluşturulması aşamasında yayıcılık düzeltmesinde kullanılmıştır.

Çalışmada arazi örtüsü/kullanımı değişimlerini incelemek amacıyla son olarak da bant oranlama tekniklerinden yararlanılmıştır. Kentsel alanlar için yüzey sıcaklıklarına en çok etki eden parametrelerden, bitki örtüsü ve yerleşim alanları hakkında bilgi edinmek için NDVI ve NDBI indeksleri hesaplanmıştır. Hesaplanan indekslerin yüzey sıcaklıkları ile aralarındaki ilişkileri incelemek ve modellemek amacıyla lineer regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve bu parametreler ile sıcaklık değerleri arasında regresyon katsayıları hesaplanmıştır ve sonuç olarak NDVI ve yüzey sıcaklıkları arasında negatif bir korelasyon olduğu, NDBI ve yüzey sıcaklıkları arasında pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Uygulamada ayrıca indeks değerleri ve sıcaklık değerleri arasındaki ilişkiyi sınıflandırma sonucunda elde edilen her bir arazi örtüsü için ayrı ayrı incelemek amacıyla görüntü sınıfları kullanılarak indeks değerlerinin örneklenmesi gerçekleştirilmiş ve değişkenler arası pearson korelasyon matrisleri hesaplanmıştır.

Uygulamada yeryüzeyi sıcak haritaları ışımsal transfer denklemi ve tek-kanal atmosferik düzeltme denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan 1984 yılına ait Landsat ısı bantlarının atmosferik düzeltmesi, görüntü tarihi ile eş-zamanlı radiosonde verileri ve tek-kanal yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş, 2000 yılı ve sonrası yıllara ait Landsat ısı bantları ise ışımsal transfer denklemi ve web tabanlı atmosferik düzeltme modülü ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yüzey sıcaklık görüntüleri MODIS Mod11 yeryüzü sıcaklık verileri ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır.

Çalışmada son olarak İstanbul bölgesindeki yüzey ısı alanlarını belirlemek ve değişimlerini tespit edebilmek amacıyla kentsel ısı alanı değişim indeksi (UTFVI) görüntüleri oluşturulmuştur. UTFVI indeksinin hesaplanabilmesi için gerekli olan ortalama yüzey sıcaklıkları 1984, 2003 ve 2017 yıllarına ait ısı bantların istatistik değerlerinden elde edilmiştir. Daha sonra oluşturulan UTFVI görüntülerine, kentsel ısı adalarının etkisini ortaya koymak amacıyla belirlenen 6 adet ekolojik eşik değeri kullanılarak yoğunluk dilimleme işlemi uygulanmış ve ısı alanı değişim haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen ısı alanı değişim haritaları incelendiğinde 1984 yılından 2017 yılına kadar ısı alanı etkisinin güçlü olduğu alanların önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu ısı alanı değişim bölgelerinin arazi örtüsü ile ilişkisini tanımlamak amacıyla her bir yıl için, ısı alan etkisinin güçlü olduğu bölgeleri kapsayan arazi örtüsü bilgisi, kontrollü sınıflandırma sonucunda elde edilen arazi örtüsü/kullanımı haritalarından çıkartılmıştır. 1984, 2003 ve 2017 yılları için ısı alanı etkisinin yoğun olduğu bölgelere ait arazi örtüsü/kullanımı incelendiğinde sınıfların yapay yüzeyler ve yarı-doğal alanları içerdiği orman ve tarım alanlarının ise göz ardı edilecek kadar az olduğu saptanmıştır. Bu sebeple yapay yüzeyler ve yarı doğal alanlar için ısı alan etkisinin güçlü olduğu bölgelerde her bir sınıf için yüzey sıcaklık haritaları kullanılarak ortalama yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, güçlü ısı alan etkisinin bulunduğu bölgelerde, en büyük arazi örtüsü/kullanımı değişiminin 1984 ve 2017 yılları arasında yapay yüzeyler sınıfında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Çalışma sonuçları irdelendiğinde, yapılaşmanın yoğun olduğu metropolitan alanlarından biri olan İstanbul'da geçirimsiz yüzeylerinin artışıyla birlikte yüzey sıcaklıklarının ve buna paralel olarak kentsel ısı alanlarının güçlü olduğu bölgelerin arttığı saptanmıştır.

Kentsel ısı adalarının analizi ile ilgili literatür incelendiğinde bu durumun mikro ölçekte iklime, kent ekosistemine ve dolayısıyla insan sağlığına doğrudan etkileri olduğu bilinmektedir.

Kentsel planlamanın amaçlarından biri, kentte yaşayan insanların doğal çevreye uyumlu bir yapılaşma içerisinde daha sağlıklı bir ortamda yaşamalarının sağlanmasıdır. Kentsel alanlarda çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması için arazi kullanım planlarında doğal çevre ve bu doğal çevreyi tanımlayan iklim, topoğrafya, su kaynakları gibi bileşenlerin dikkate alınması gerekmektedir. İyi bir kentsel arazi kullanım planı hazırlamak için bu bileşenlere ilişkin güncel, doğru ve güvenilir verileri sağlayan mekan ile ilişkilendirilmiş altlıklara ihtiyaç duyulur.

İklime duyarlı kent planlarının hazırlanması sürecinde en önemli altlıklardan biri kentsel ısı alanlarına ilişkin mekansal verilerdir. Bu çalışma sonucunda elde edilen yüzey sıcaklık verileri, arazi örtüsü/kullanımı verileri ve analiz sonucunda elde edilen bulgular İstanbul metropolitan alanında iklime duyarlı kent planlarının hazırlanması sürecinde önemli bir veri kaynağı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Alavipanah, S., Wegmann, M., Qureshi, S., Weng, Q., & Koellner, T.** (2015). The Role of Vegetation in Mitigating Urban Land Surface Temperatures: A Case Study of Munich, Germany during the Warm Season. *Sustainability*, 7(4), 4689-4706. doi:DOI 10.3390/su7044689
- Aniello, C., Morgan, K., Busbey, A., & Newland, L.** (1995). Mapping micro-urban heat islands using Landsat TM and a GIS. *Computers & Geosciences*, 21(8), 965-969.
- Aslan, N., & Koc-San, D.** (2016). ANALYSIS OF RELATIONSHIP BETWEEN URBAN HEAT ISLAND EFFECT AND LAND USE/COVER TYPE USING LANDSAT 7 ETM+ AND LANDSAT 8 OLI IMAGES. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- Baldrige, A. M., Hook, S. J., Grove, C. I., & Rivera, G.** (2009). The ASTER spectral library version 2.0. *Remote Sensing of Environment*, 113(4), 711-715. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.11.007
- Balling Jr, R. C., & Brazel, S. W.** (1988). High-resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain. *PHOTOGRAM. ENG. REMOTE SENS.*, 54(9), 1289-1293.
- Barsi, J. A., Barker, J. L., & Schott, J. R.** (2003, 21-25 July 2003). *An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a single thermal band earth-sensing instrument*. Paper presented at the IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No.03CH37477).
- Ben-Dor, E., & Saaroni, H.** (1997). Airborne video thermal radiometry as a tool for monitoring microscale structures of the urban heat island. *International Journal of Remote Sensing*, 18(14), 3039-3053.
- Cai, G. Y., Du, M. Y., & 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. doi:Doi 10.1080/01431160903469079
- Carlson, T., & Sanchez-Azofeifa, G. A.** (1999). Satellite remote sensing of land use changes in and around San Jose, Costa Rica. *Remote Sensing of Environment*, 70(3), 247-256.
- Carnahan, W. H., & Larson, R. C.** (1990). An analysis of an urban heat sink. *Remote Sensing of Environment*, 33(1), 65-71.

- Caselles, V., Garcia, M. L., Melia, J., & Cueva, A. P.** (1991). Analysis of the heat-island effect of the city of Valencia, Spain, through air temperature transects and NOAA satellite data. *Theoretical and Applied Climatology*, 43(4), 195-203.
- Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & 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. doi:DOI 10.1016/j.rse.2005.11.016
- Chen, X. Z., Su, Y. X., Li, D., Huang, G. Q., Chen, W. Q., & Chen, S. S.** (2012). Study on the cooling effects of urban parks on surrounding environments using Landsat TM data: a case study in Guangzhou, southern China. *International Journal of Remote Sensing*, 33(18), 5889-5914. doi:DOI 10.1080/01431161.2012.676743
- Deng, C. B., & Wu, C. S.** (2013). Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach. *Remote Sensing of Environment*, 131(0), 262-274. doi:DOI 10.1016/j.rse.2012.12.020
- Dihkan, M., Karsli, F., Guneroglu, N., & Guneroglu, A.** (2018). Evaluation of urban heat island effect in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(8), 186. doi:10.1007/s12517-018-3533-3
- Dousset, B.** (1989). *AVHRR-derived cloudiness and surface temperature patterns over the Los Angeles area and their relationships to land use*. Paper presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1989. IGARSS'89. 12th Canadian Symposium on Remote Sensing., 1989 International.
- Dousset, B.** (1991). *Surface temperature statistics over Los Angeles: the influence of land use*. Paper presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1991. IGARSS'91. Remote Sensing: Global Monitoring for Earth Management., International.
- Eliasson, I.** (1992). Infrared thermography and urban temperature patterns. *International Journal of Remote Sensing*, 13(5), 869-879.
- Epperson, D. L., Davis, J. M., Bloomfield, P., Karl, T. R., McNab, A. L., & Gallo, K. P.** (1995). Estimating the urban bias of surface shelter temperatures using upper-air and satellite data. Part II: Estimation of the Urban Bias. *Journal of Applied Meteorology*, 34(2), 358-370.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R.** (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029
- Fonji, S. F., & Taff, G. N.** (2014). Using satellite data to monitor land-use land-cover change in North-eastern Latvia. *SpringerPlus*, 3, 61-61. doi:10.1186/2193-1801-3-61

- Gallo, K. P., Tarpley, J. D., McNab, A. L., & Karl, T. R.** (1995). Assessment of urban heat islands: a satellite perspective. *Atmospheric Research*, 37(1), 37-43.
- Hafner, J., & Kidder, S. Q.** (1999). Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters. *Journal of Applied Meteorology*, 38(4), 448-465.
- Henry, I., Dicks, S. E., Wetterqvist, O. F., & Roguski, S.** (1989). Comparison of satellite, ground-based, and modeling techniques for analyzing the urban heat island. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55(1), 69-76.
- Hoyano, A., Asano, K., & Kanamaru, T.** (1999). Analysis of the sensible heat flux from the exterior surface of buildings using time sequential thermography. *Atmospheric Environment*, 33(24), 3941-3951.
- Iino, A., & Hoyano, A.** (1996). Development of a method to predict the heat island potential using remote sensing and GIS data. *Energy and buildings*, 23(3), 199-205.
- Jiang, Y. T., Fu, P., & Weng, Q. H.** (2015). Assessing the Impacts of Urbanization-Associated Land Use/Cover Change on Land Surface Temperature and Surface Moisture: A Case Study in the Midwestern United States. *Remote Sensing*, 7(4), 4880-4898. doi:DOI 10.3390/rs70404880
- Johnson, G., Oke, T., Lyons, T., Steyn, D., Watson, I., & 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.
- Johnson, G. L., Davis, J. M., Karl, T. R., McNab, A. L., Gallo, K. P., Tarpley, J. D., & Bloomfield, P. R.** (1994). Estimating urban temperature bias using polar-orbiting satellite data. *Journal of Applied Meteorology*, 33(3), 358-369.
- Kaufman, Y. J., & Gao, B.-C.** (1992). Remote sensing of water vapor in the near IR from EOS/MODIS. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 30(5), 871-884.
- Kaya, S., Basar, U. G., Karaca, M., & Seker, D. Z.** (2012). Assessment of Urban Heat Islands Using Remotely Sensed Data. *Ekoloji*, 21(84), 107-113. doi:10.5053/ekoloji.2012.8412
- Lee, H.-Y.** (1993). An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 27(1), 1-13.
- Li, J. X., Song, C. H., Cao, L., Zhu, F. G., Meng, X. L., & Wu, J. G.** (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3249-3263. doi:DOI 10.1016/j.rse.2011.07.008

- Lougeay, R., Brazel, A., & Hubble, M.** (1996). Monitoring Intraurban temperature patterns and associated land cover in phoenix, Arizona using Landsat thermal data. *Geocarto International*, 11(4), 79-90. doi:10.1080/10106049609354564
- Ma, Y., Kuang, Y. Q., & Huang, N. S.** (2010). Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM plus imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(2), 110-118. doi:DOI 10.1016/j.jag.2009.12.002
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyp, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Halik, U., . . . Caetano, M.** (2014). Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89(0), 59-66. doi:DOI 10.1016/j.isprsjprs.2013.12.010
- NASA.** (2015a). MODIS Atmospheric Products Algorithm Theoretical Background Documents. Retrieved from http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atmos_atbd.php
- NASA.** (2015b). MODIS Land Products Algorithm Theoretical Background Documents. Retrieved from http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/land_atbd.php
- Nichol, J.** (1998). Visualisation of urban surface temperatures derived from satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 19(9), 1639-1649.
- Nichol, J. E.** (1996). High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: a satellite-based study. *Journal of Applied Meteorology*, 35(1), 135-146.
- Ogashawara, I., & Bastos, V. D. B.** (2012). A Quantitative Approach for Analyzing the Relationship between Urban Heat Islands and Land Cover. *Remote Sensing*, 4(11), 3596-3618. doi:DOI 10.3390/rs4113596
- Oke, T. R.** (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24. doi:10.1002/qj.49710845502
- Owen, T., Carlson, T., & Gillies, R.** (1998). An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 19(9), 1663-1681.
- Özkök, M. K., Tok, E., Gündoğdu, H. M., & Demir, G.** (2017). Arazi yüzey sıcaklığı farklılaşmalarının kentsel gelişim ve planlama süreçleri açısından uzaktan algılama verileri ile değerlendirilmesi: Çorlu/Çerkezköy/Ergene/Kapaklı alt bölgesi örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(2), 69-79.

- Qin, Z., Karnieli, A., & 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. doi:Doi 10.1080/01431160010006971
- Quattrochi, D. A., Luvall, J. C., Rickman, D. L., Estes, M. G., Laymon, C. A., & Howell, B. F.** (2000). A decision support information system for urban landscape management using thermal infrared data: Decision support systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66(10), 1195-1207.
- Quattrochi, D. A., & Ridd, M. K.** (1994). Measurement and analysis of thermal energy responses from discrete urban surfaces using remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 15(10), 1991-2022.
- Rajasekar, U., & Weng, Q. H.** (2009). Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 86-96. doi:DOI 10.1016/j.isprsjprs.2008.05.002
- Rao, P.** (1972). Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite (Vol. 53, pp. 647-&): AMER METEOROLOGICAL SOC 45 BEACON ST, BOSTON, MA 02108-3693.
- Ridd, M. K.** (1995). Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities†. *International Journal of Remote Sensing*, 16(12), 2165-2185. doi:10.1080/01431169508954549
- Roberts, D. A., Gardner, M., Church, R., Ustin, S., Scheer, G., & Green, R. O.** (1998). Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains Using Multiple Endmember Spectral Mixture Models. *Remote Sensing of Environment*, 65(3), 267-279. doi:https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00037-6
- Roth, M., Oke, T. R., & 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. doi:10.1080/01431168908904002
- Sheng, L., Lu, D. S., & Huang, J. F.** (2015). Impacts of land-cover types on an urban heat island in Hangzhou, China. *International Journal of Remote Sensing*, 36(6), 1584-1603. doi:Doi 10.1080/01431161.2015.1019016
- Shoshany, M., Aminov, R., & Goldreich, Y.** (1994). The extraction of roof tops from thermal imagery for analyzing the urban heat island structure. *Geocarto International*, 9(4), 61-69.
- Sobrino, J. A., Jimenez-Munoz, J. C., & Paolini, L.** (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434-440. doi:DOI 10.1016/j.rse.2004.02.003

- Sobrino, J. A., & Raissouni, N.** (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 21(2), 353-366. doi:10.1080/014311600210876
- Stathopoulou, M., Cartalis, C., & Petrakis, M.** (2007). Integrating Corine Land Cover data and Landsat TM for surface emissivity definition: application to the urban area of Athens, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 28(15), 3291-3304.
- Stoll, M. J., & Brazel, A. J.** (1992). Surface-air temperature relationships in the urban environment of Phoenix, Arizona. *Physical Geography*, 13(2), 160-179.
- Tan, M. H., & Li, X. B.** (2013). Integrated assessment of the cool island intensity of green spaces in the mega city of Beijing. *International Journal of Remote Sensing*, 34(8), 3028-3043. doi:10.1080/01431161.2012.757377
- Tang, Q., Wang, L., Li, B., & Yu, J. Y.** (2012). Towards a comprehensive evaluation of V-I-S sub-pixel fractions and land surface temperature for urban land-use classification in the USA. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19), 5996-6019. doi:10.1080/01431161.2012.675453
- Thompson, R. D., & Perry, A. H.** (1997). *Applied Climatology: Principles and Practice*. Routledge.
- United Nations.** (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. New York, USA: United Nations.
- United States, E.** (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Cool roofs*: Climate Protection Partnership Division, U.S. Environmental Protection Agency.
- Url-1** < <http://www.tuik.gov.tr/> >, erişim tarihi 12.04.2017.
- Url-2** < <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/> >, erişim tarihi 9.03.2018.
- Url-3** < https://www.sfpt.fr/hyperspectral/wp-content/uploads/2013/01/cours_Licciardi.pdf > erişim tarihi 08.06.2016.
- Url-4** < <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html/> >, erişim tarihi 08.06.2016.
- Valor, E., & Caselles, V.** (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57(3), 167-184. doi:https://doi.org/10.1016/0034-4257(96)00039-9
- Vooght, J.** (2015). How Researchers Measure Urban Heat Islands. Retrieved from http://www.epa.gov/heatislands/resources/pdf/EPA_How_to_measure_a_UHI.pdf
- Vooght, J. A., & Grimmond, C.** (2000). Modeling surface sensible heat flux using surface radiative temperatures in a simple urban area. *Journal of Applied Meteorology*, 39(10), 1679-1699.

- Voogt, J. A., & Oke, T.** (1998). Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 895-920.
- Voogt, J. A., & Oke, T. R.** (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370-384. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8
- Wald, L.** (1999). Observing air quality over the city of Nantes by means of Landsat thermal infrared data. *International Journal of Remote Sensing*, 20(5), 947-959.
- Wang, J., Huang, B., Fu, D. J., & Atkinson, P. M.** (2015). Spatiotemporal Variation in Surface Urban Heat Island Intensity and Associated Determinants across Major Chinese Cities. *Remote Sensing*, 7(4), 3670-3689. doi:DOI 10.3390/rs70403670
- Xiong, Y., Huang, S., Chen, F., Ye, H., Wang, C., & Zhu, C.** (2012). The Impacts of Rapid Urbanization on the Thermal Environment: A Remote Sensing Study of Guangzhou, South China. *Remote Sensing*, 4(7), 2033-2056.
- Xu, H.** (2007). Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematicoriented Index Combination Technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(12), 1381-1391. doi:10.14358/PERS.73.12.1381
- Yavaşlı, D. D.** (2017). Spatio-Temporal Trends of Urban Heat Island and Surface Temperature in Izmir, Turkey. *American Journal of Remote Sensing*, 5(3), 24-29.
- Yuan, F., & 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. doi:DOI 10.1016/j.rse.2006.09.003
- Yüksel, Ü. D.** (2005). *Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama Ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması Ve Değerlendirilmesi Üzerinde Bir Araştırma.* (Doktora Tezi Doktora), Ankara Üniversitesi.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S.** (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. doi:10.1080/01431160304987
- Zhang, X., Zhong, T., Wang, K., & Cheng, Z.** (2009a). Scaling of impervious surface area and vegetation as indicators to urban land surface temperature using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(4), 841-859. doi:Doi 10.1080/01431160802395219
- Zhang, X., Zhong, T. Y., Feng, X. Z., & Wang, K.** (2009b). Estimation of the relationship between vegetation patches and urban land surface temperature with remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 30(8), 2105-2118. doi:Pii 910859751 Doi 10.1080/01431160802549252

- Zhang, Y., Yu, T., Gu, X., Zhang, Y., & Chen, L.** (2006). Land surface temperature retrieval from CBERS-02 IRMSS thermal infrared data and its applications in quantitative analysis of urban heat island effect. *JOURNAL OF REMOTE SENSING-BEIJING-*, 10(5), 789.
- Zhang, Y. S., Balzter, H., & Wu, X. C.** (2013a). Spatial-temporal patterns of urban anthropogenic heat discharge in Fuzhou, China, observed from sensible heat flux using Landsat TM/ETM plus data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(4), 1459-1477. doi:Doi 10.1080/01431161.2012.718465
- Zhang, Y. S., Odeh, I. O. A., & Ramadan, E.** (2013b). Assessment of land surface temperature in relation to landscape metrics and fractional vegetation cover in an urban/peri-urban region using Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(1), 168-189. doi:Doi 10.1080/01431161.2012.712227
- Zhou, J., Chen, Y. H., Zhang, X., & Zhan, W. F.** (2013). Modelling the diurnal variations of urban heat islands with multi-source satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(21), 7568-7588. doi:Doi 10.1080/01431161.2013.821576

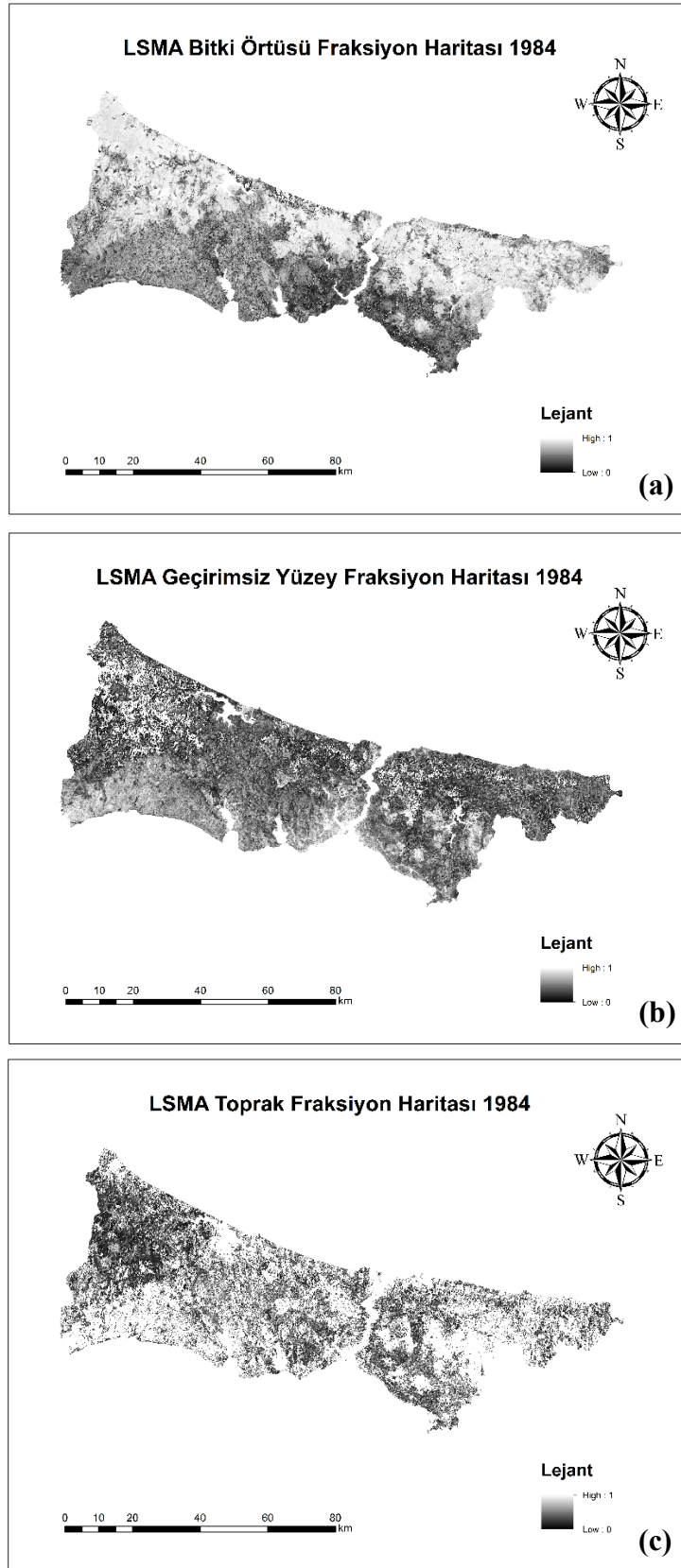
EKLER

EK A LSMA yüzey fraksiyon görüntüleri.

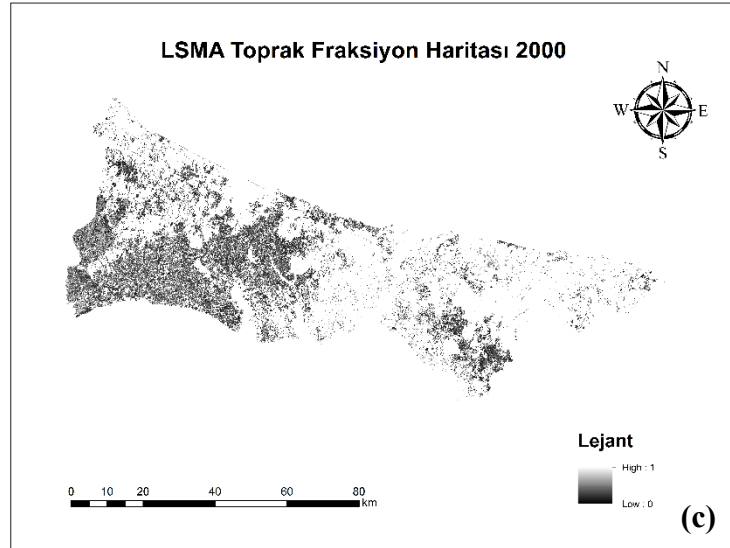
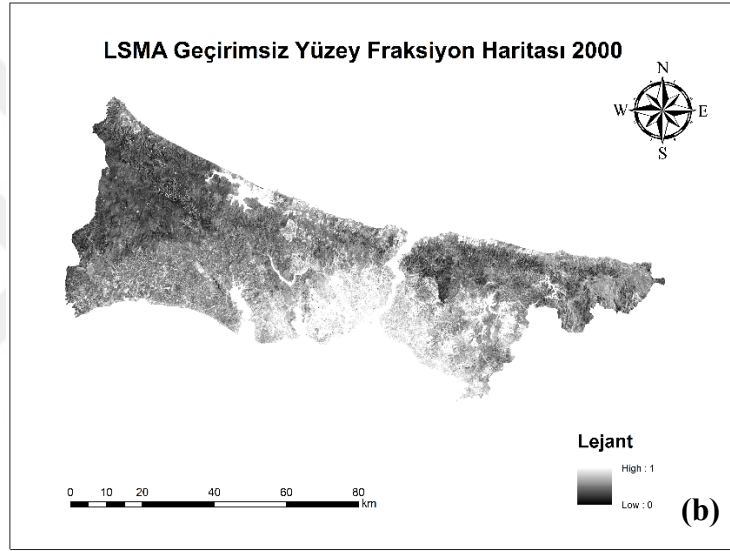
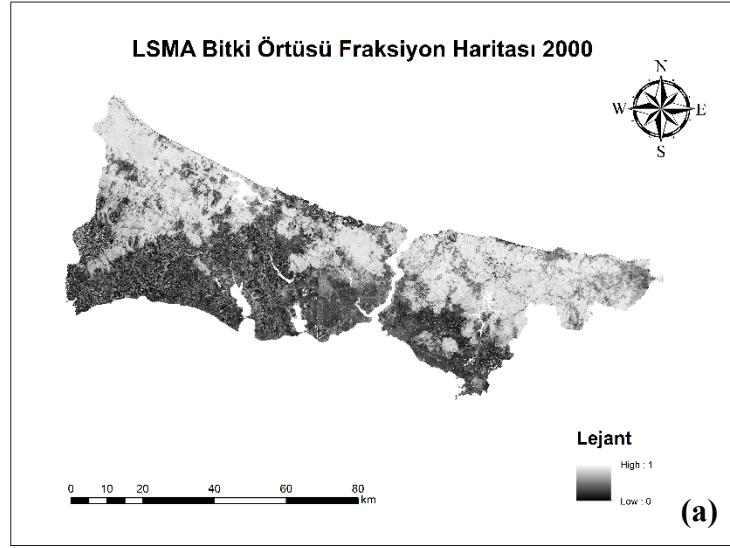
EK B Atmosferik profillere ilişkin bilgiler, bağıl nem, basınç ve sıcaklık grafikleri ve çalışmada kullanılan 1984 yılına ait radiosonda verileri.

EK C NDVI ve NDBI haritaları

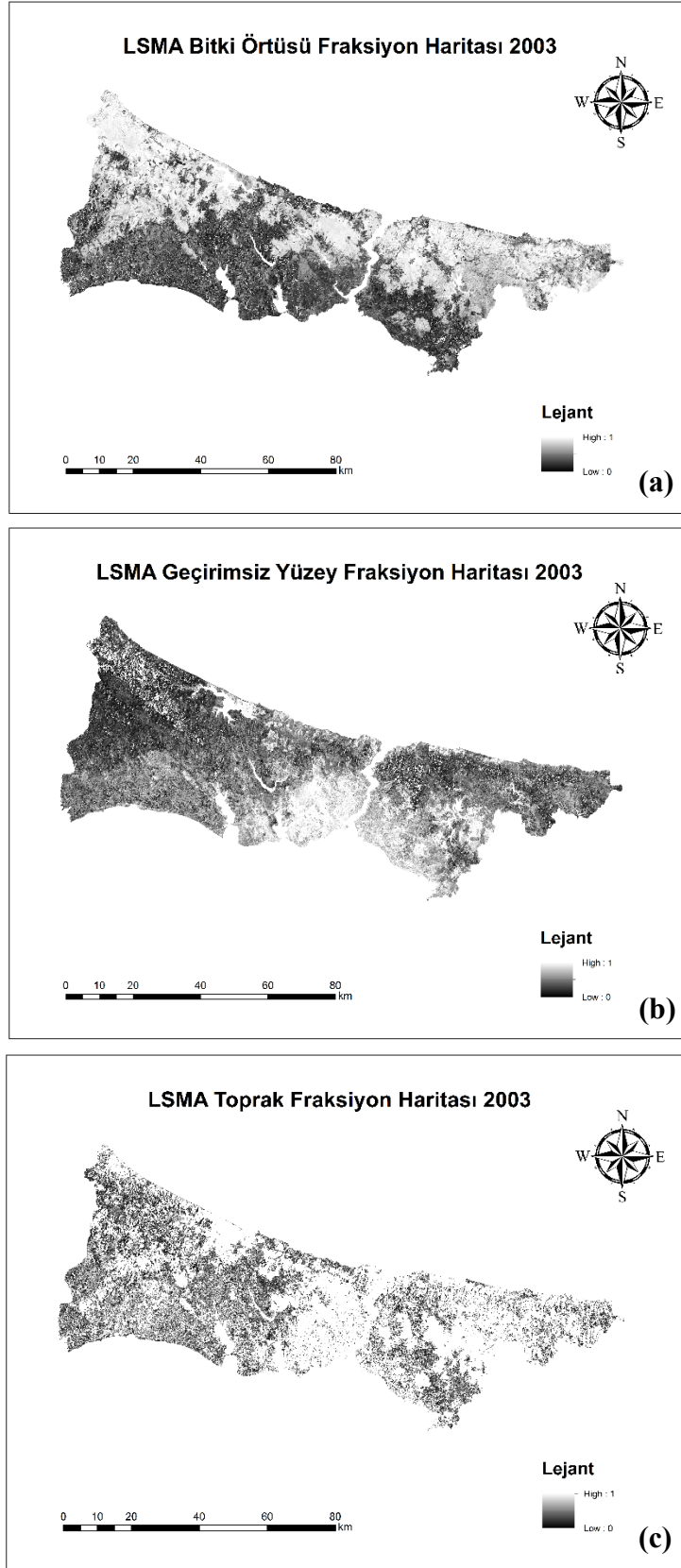




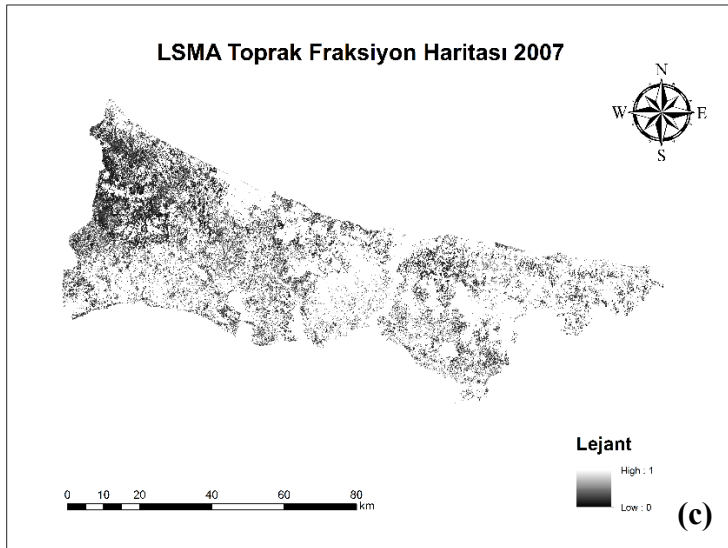
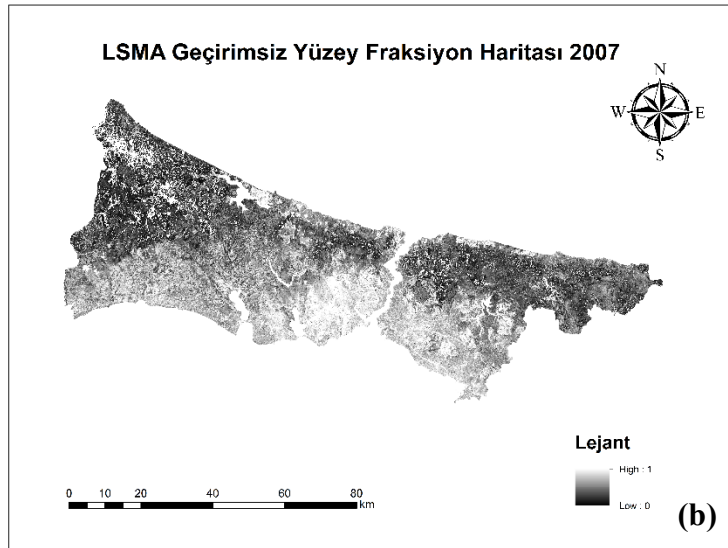
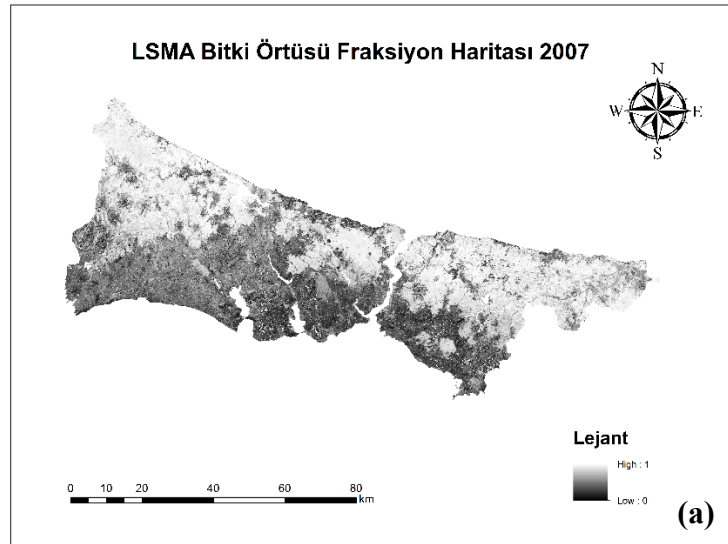
Şekil A.1 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 1984: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.



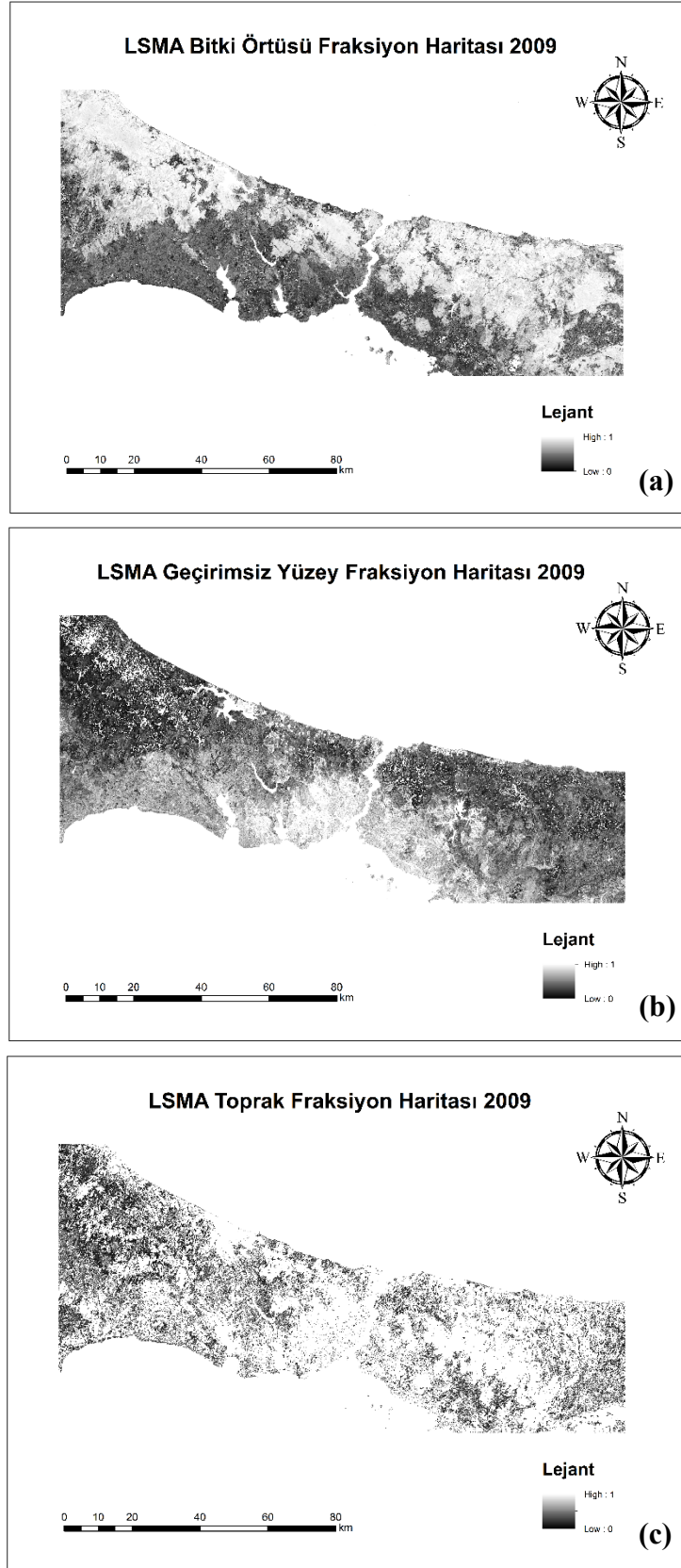
Şekil A.2 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2000: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.



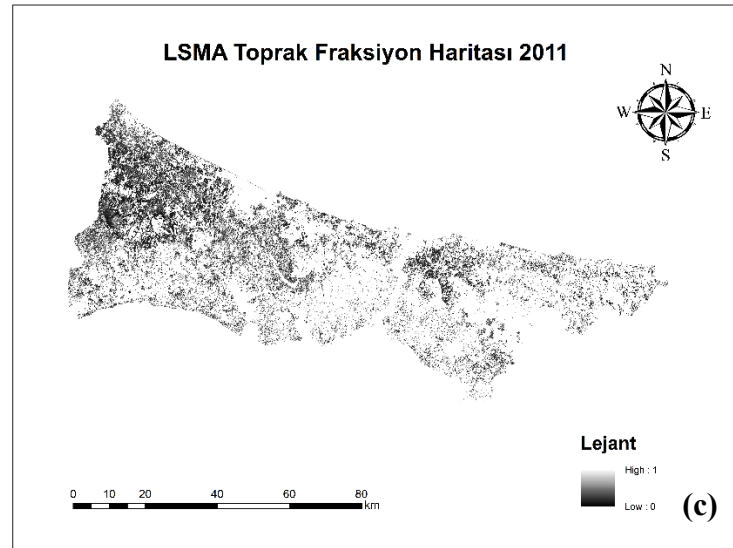
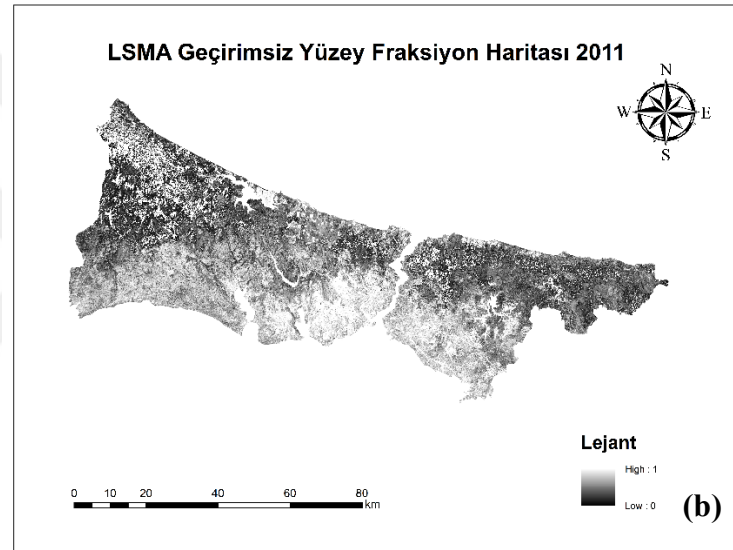
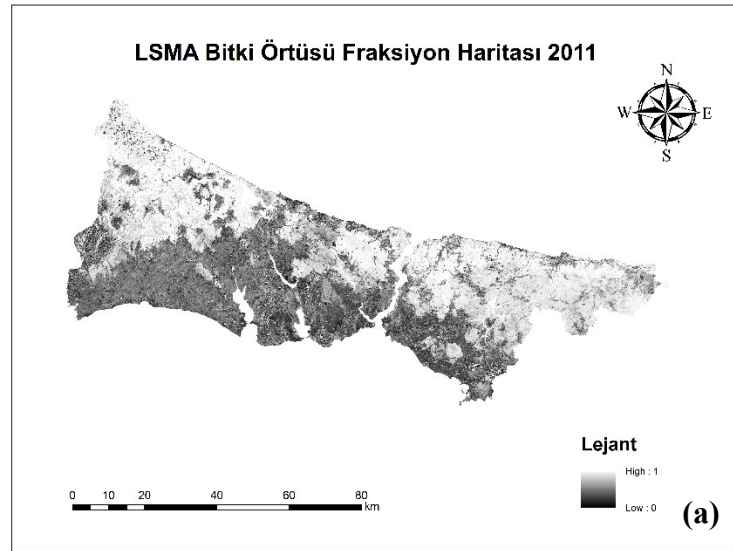
Şekil A.3 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2003: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.



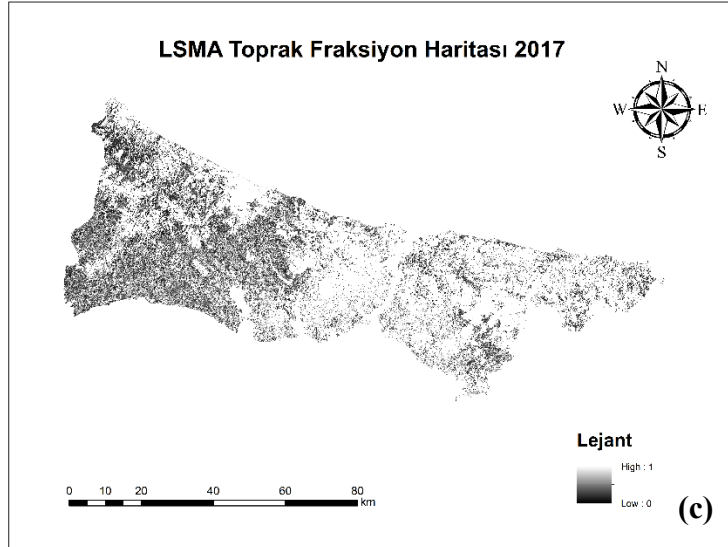
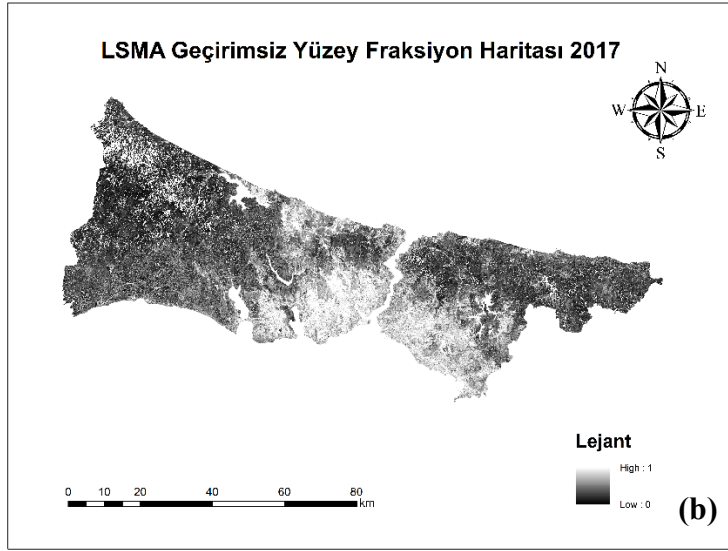
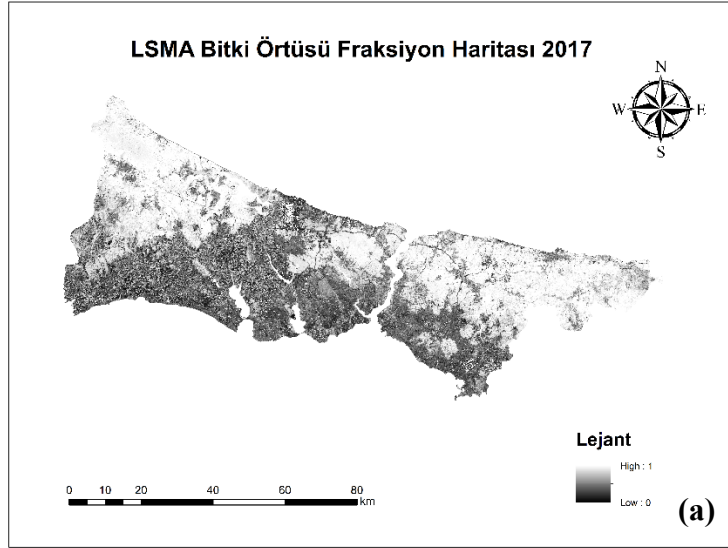
Şekil A.4 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2007: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.



Şekil A.5 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2009: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.

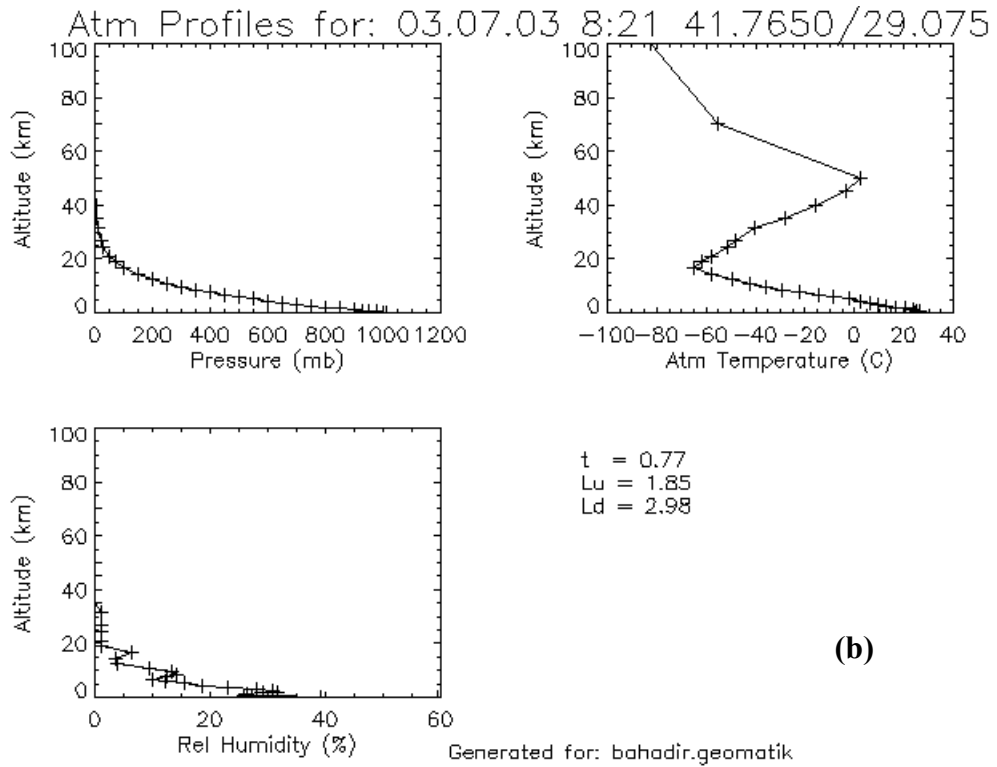
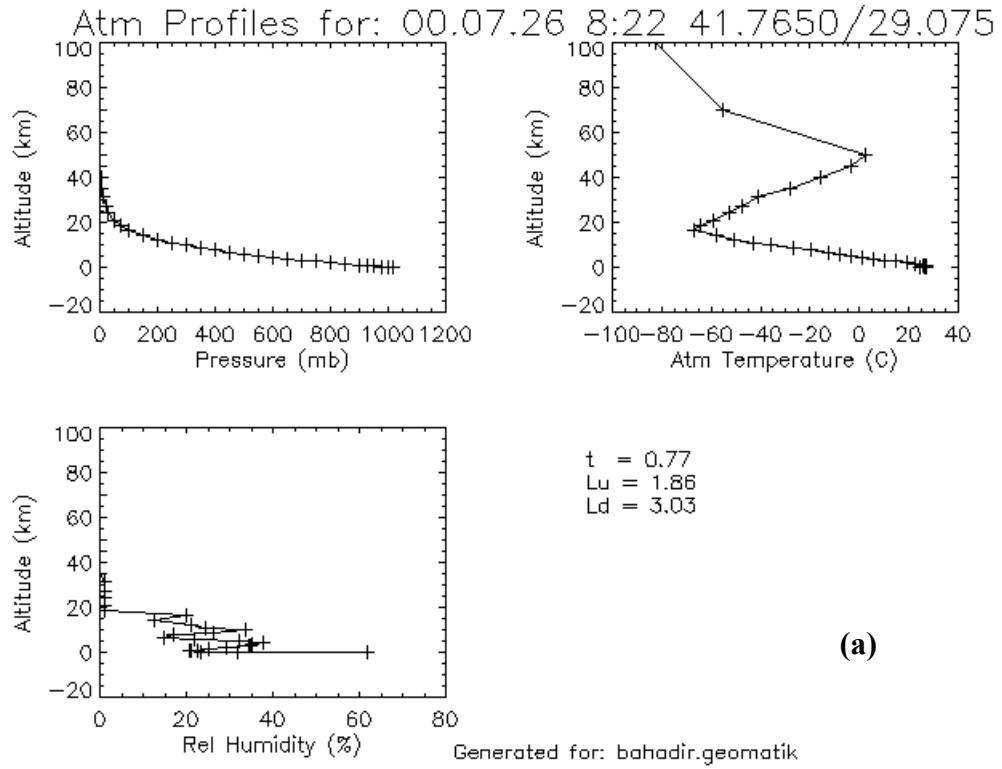


Şekil A.6 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2011: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.

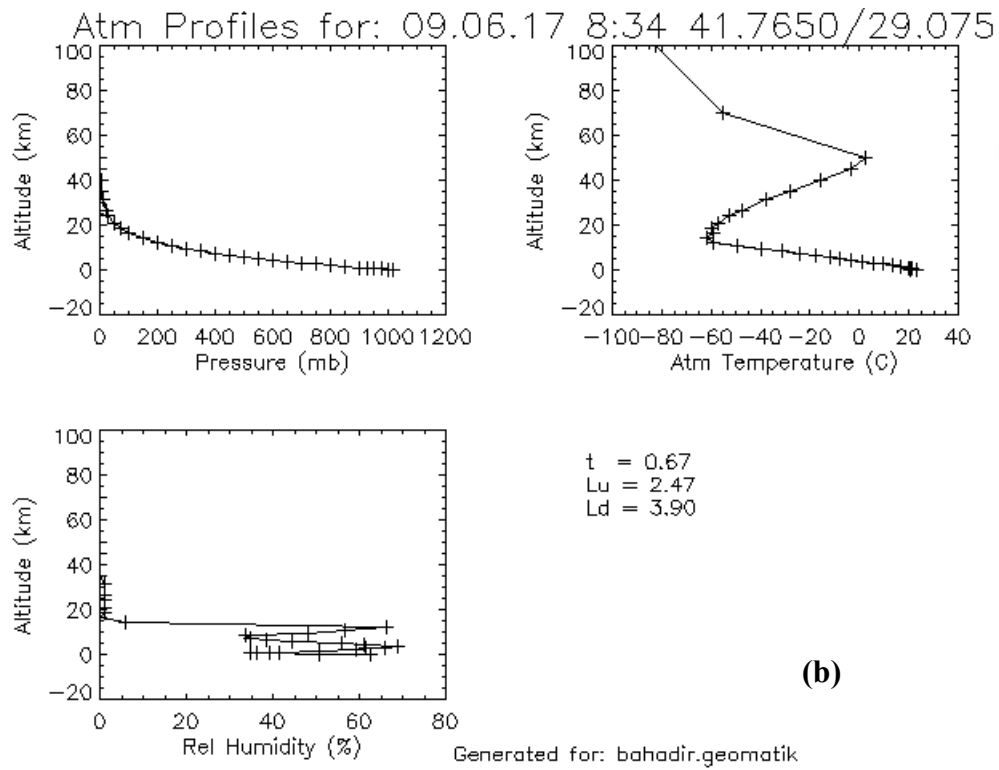
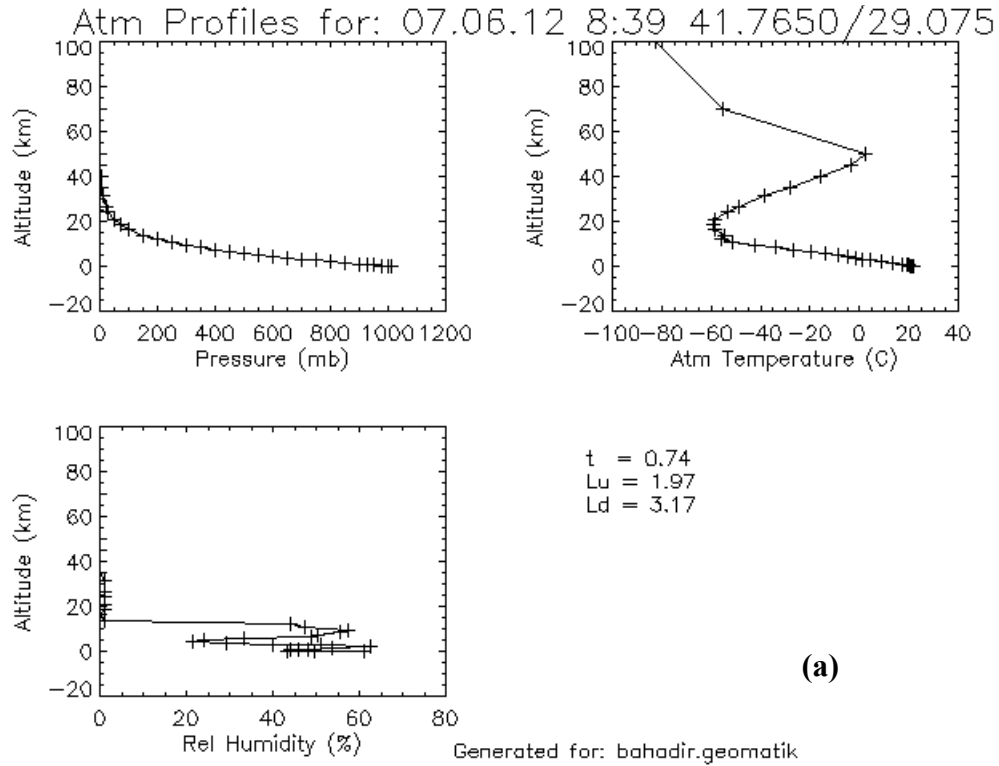


Şekil A.7 : Yüzey fraksiyon görüntüleri – 2017: (a) Bitki örtüsü. (b) Geçirimsiz yüzey. (c) Toprak.

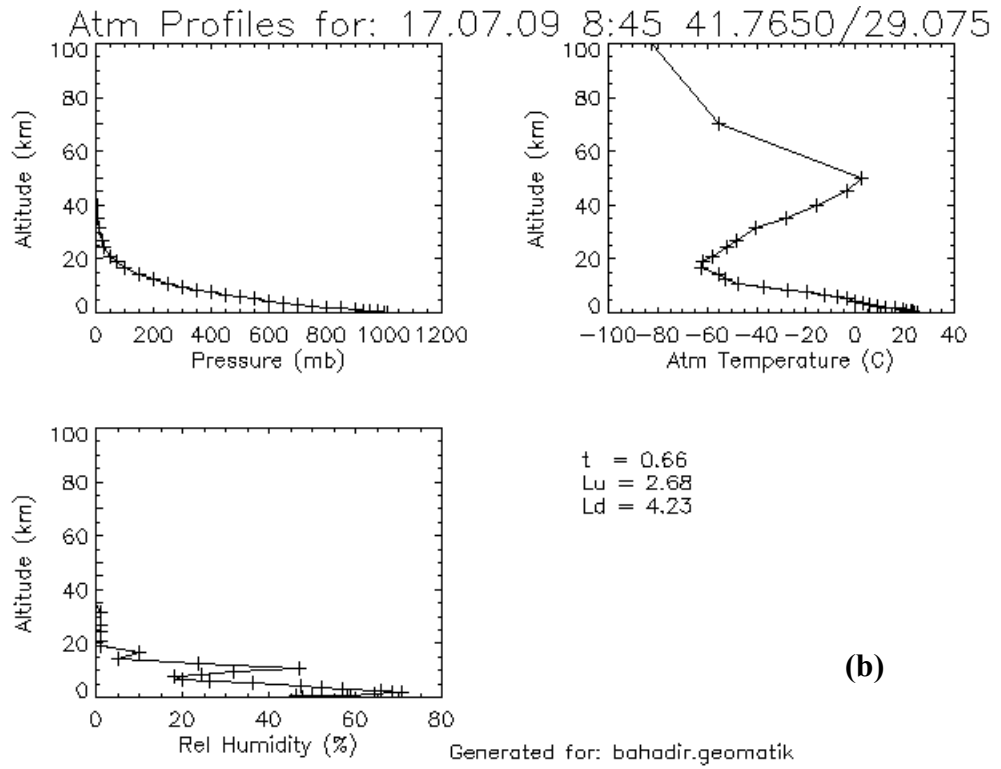
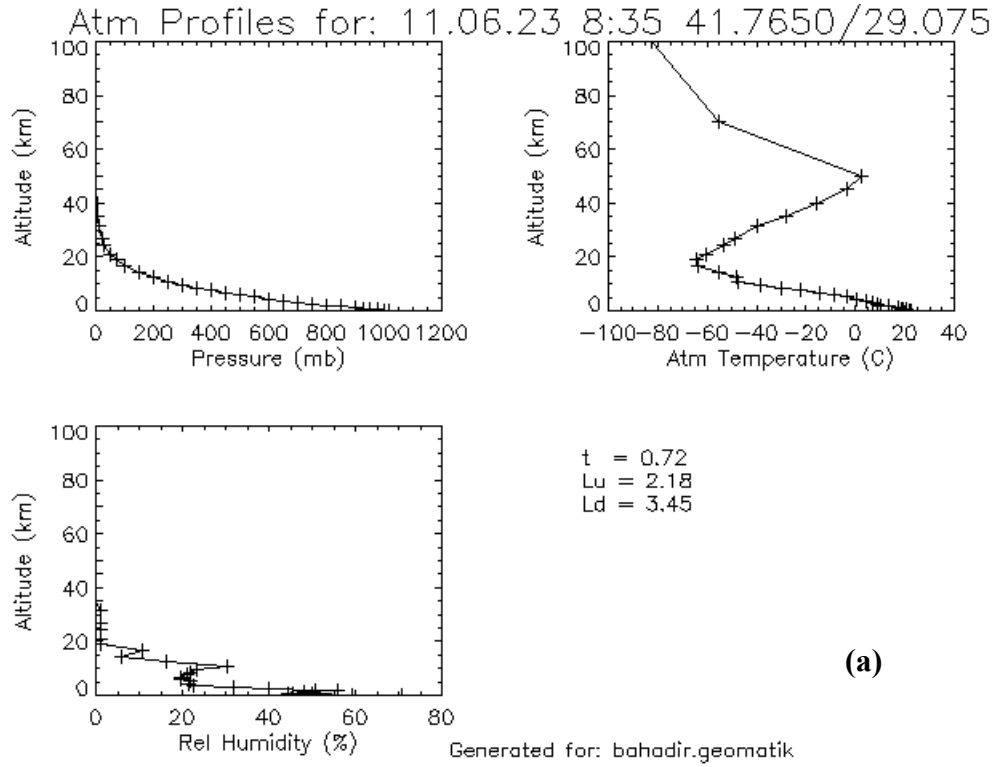
EK B



Şekil B.1 : Atmosferik profillere ilişkin bağıl nem, basınç ve sıcaklık grafikleri:
(a)2000 yılı. (b) 2003 yılı.



Şekil B.2 : Atmosferik profillere ilişkin bağıl nem, basınç ve sıcaklık grafikleri:
(a)2007 yılı. (b) 2009 yılı.



Şekil B.3 : Atmosferik profillere ilişkin bağıl nem, basınç ve sıcaklık grafikleri:
(a)2011 yılı. (b) 2017 yılı.

Çizelge B.1 : Standart atmosfer profili (Orta-enlem yaz).

Yükseklik (km)	Basınç (mb)	Sıcaklık (C)	Bağıl Nem (%)
0.07	987.670	19.99	74.21
1.18	883.118	15.78	63.94
2.15	788.071	11.24	53.71
3.11	700.618	5.4	44.43
4.07	622.367	-0.39	38.46
5.04	551.450	-6.16	31.23
6.00	487.000	-11.95	29.96
7.00	426.000	-18.45	30.29
8.00	372.000	-24.95	29.61
9.00	324.000	-31.45	30.13000
10.00	281.000	-37.85	29.42010
11.00	243.000	-44.35	19.46010
12.00	209.000	-50.85	10.69010
13.00	179.000	-57.35	5.42003
14.00	153.000	-57.45	2.93000
15.00	130.000	-57.45	1.68999
16.00	111.000	-57.45	1.40000
17.00	95.000	-57.45	1.16001
18.00	81.200	-56.35	0.86000
19.00	69.500	-55.25	0.65000
20.00	59.500	-53.95	0.49000
21.00	51.000	-52.75	0.38000
22.00	43.700	-51.55	0.30000
23.00	37.600	-50.35	0.24000
24.00	32.200	-49.25	0.19000
25.00	27.700	-48.05	0.15000
30.00	13.200	-39.45	0.03000
35.00	6.520	-27.95	0.01000
40.00	3.330	-15.65	0.00587
45.00	1.760	-3.25	0.00312
50.00	0.951	2.55	0.00202
70.00	0.067	-55.05	0.00095
100.00	0.000	-82.65	0.01610

Çizelge B.2 : Standart atmosfer profili (Orta-enlem kış).

Yükseklik (km)	Basınç (mb)	Sıcaklık (C)	Bağıl Nem (%)
2.08	781.419	-8.20	64.750
2.74	718.164	-10.38	58.930
3.39	659.416	-13.62	54.220
4.04	604.781	-17.70	49.700
4.69	553.898	-21.61	47.650
5.35	506.604	-25.53	46.360
6.00	462.700	-29.45	44.020
7.00	401.600	-35.45	31.030
8.00	347.300	-41.45	23.010
9.00	299.300	-47.45	19.660
10.00	256.800	-53.45	17.930
11.00	219.900	-53.95	5.500
12.00	188.200	-54.45	3.000
13.00	161.100	-54.95	2.270
14.00	137.800	-55.45	1.980
15.00	117.800	-55.95	1.760
16.00	100.700	-56.45	1.570
17.00	86.100	-56.95	1.400
18.00	73.600	-57.45	1.270
19.00	62.800	-57.95	1.150
20.00	53.700	-57.95	0.990
21.00	45.800	-57.95	0.840
22.00	39.100	-57.95	0.720
23.00	33.400	-57.95	0.620
24.00	28.600	-57.95	0.540
25.00	24.400	-57.95	0.460
30.00	11.100	-55.75	0.160
35.00	5.180	-45.25	0.020
40.00	2.530	-29.95	0.000
45.00	1.290	-14.65	0.000
50.00	0.683	-7.45	0.000
55.00	0.362	-12.55	0.000
60.00	0.188	-22.35	0.000
70.00	0.047	-42.45	0.000
80.00	0.010	-63.05	0.000
100.00	0.001	-54.55	0.000

17062 Istanbul Observations at 00Z 12 Jun 1984

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	FRPT	RELH	RELI	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	C	%	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1015.0	33	17.0	11.0	11.0	68	68	8.18	70	4	288.9	312.2	290.3
1000.0	167	18.2	8.2	8.2	52	52	6.86	70	5	291.4	311.2	292.6
850.0	1540	10.0	-12.0	-10.7	20	20	1.80	360	14	296.6	302.3	296.9
700.0	3120	1.0	-27.0	-24.4	10	10	0.60	255	6	303.6	305.7	303.7
500.0	5730	-18.5						260	14	310.4		310.4
400.0	7340	-33.1						255	20	311.9		311.9
300.0	9300	-47.1						280	30	318.9		318.9
250.0	10490	-55.5						260	50	323.4		323.4
225.0	11154	-58.5						270	52	328.7		328.7
200.0	11900	-53.5						250	56	347.9		347.9
150.0	13740	-56.5						245	60	372.5		372.5
100.0	16280	-60.1						245	44	411.3		411.3
77.0	17895	-64.5						245	32	434.1		434.1
70.0	18480	-62.5						245	32	450.3		450.3
50.0	20570	-58.1						245	10	506.1		506.1
30.0	23830	-54.1						245	10	596.6		596.6
20.0	26480	-48.1						245	10	688.2		688.2

Station information and sounding indices

Station number: 17062
 Observation time: 840612/0000
 Station latitude: 40.95
 Station longitude: 29.07
 Station elevation: 33.0
 Showalter index: 8.88
 Lifted index: 4.09
 LIFT computed using virtual temperature: 3.90
 SWEAT index: 42.02
 K index: -11.50
 Cross totals index: 6.50
 Vertical totals index: 28.50
 Totals totals index: 35.00
 Convective Available Potential Energy: 0.00
 CAPE using virtual temperature: 0.00
 Convective Inhibition: 0.00
 CINS using virtual temperature: 0.00
 Bulk Richardson Number: 0.00
 Bulk Richardson Number using CAPV: 0.00
 Temp [K] of the Lifted Condensation Level: 277.41
 Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level: 840.49
 Mean mixed layer potential temperature: 291.56
 Mean mixed layer mixing ratio: 6.32
 1000 hPa to 500 hPa thickness: 5563.00
 Precipitable water [mm] for entire sounding: 9.62

Şekil B.4 : Çalışmada kullanılan 1984 yılına ait radiosonda verisi -1.

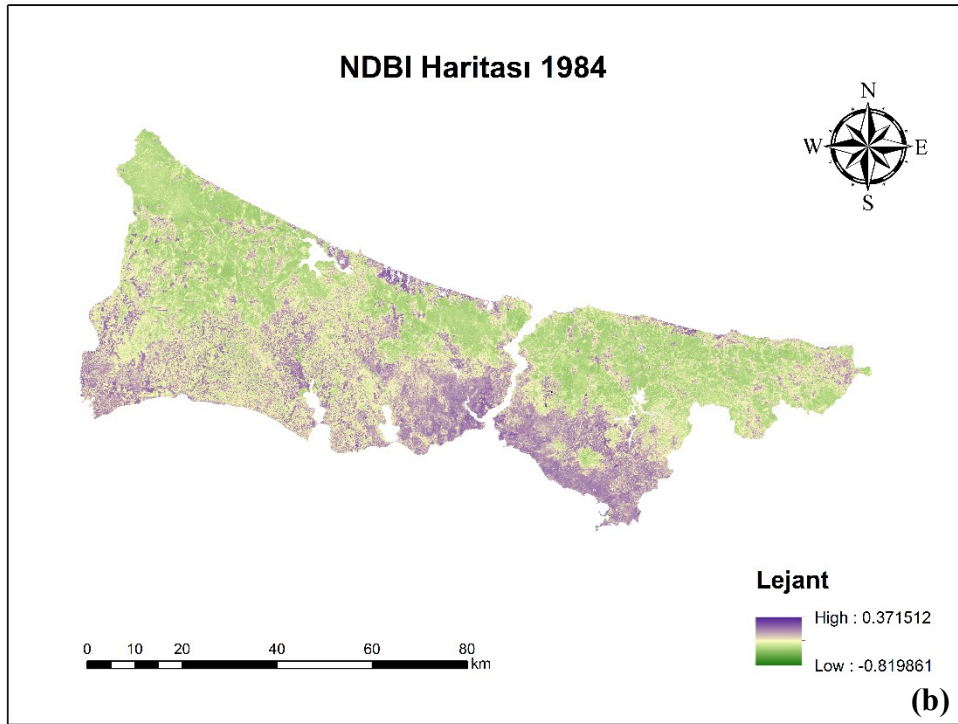
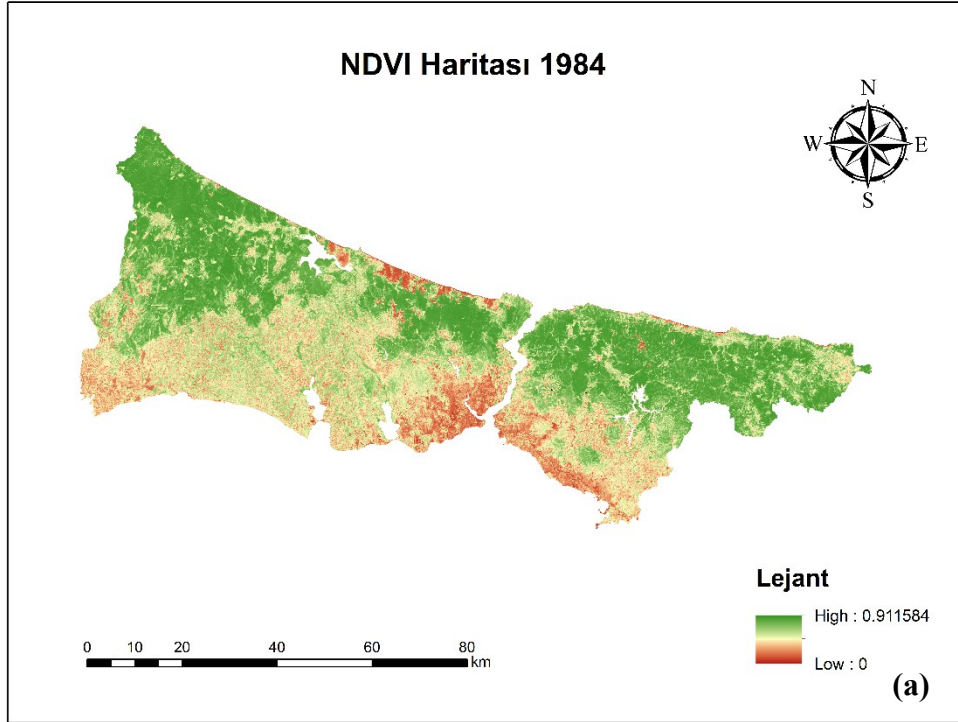
17062 Istanbul Observations at 12Z 12 Jun 1984

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	FRPT	RELH	RELI	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	C	%	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1012.0	33	25.4	9.4	9.4	36	36	7.36	35	8	297.5	319.4	298.9
1000.0	144	23.8	7.8	7.8	36	36	6.68	35	10	296.9	316.8	298.1
880.0	1237	13.0	1.0	1.0	44	44	4.70	102	7	296.8	310.9	297.6
850.0	1527	12.8	-18.2	-16.3	10	10	1.08	120	6	299.5	303.1	299.7
802.0	2010	9.2	-28.8	-26.0	5	5	0.44	136	8	300.7	302.3	300.8
770.0	2346	8.8						148	9	303.8		303.8
700.0	3122	2.0						175	11	304.7		304.7
500.0	5740	-15.1						235	33	314.6		314.6
400.0	7380	-28.5						245	38	317.9		317.9
300.0	9380	-43.1						250	76	324.5		324.5
250.0	10580	-52.1						255	68	328.5		328.5
220.0	11407	-55.1						245	56	336.1		336.1
200.0	12020	-54.5						245	64	346.3		346.3
167.0	13175	-53.5						245	54	366.3		366.3
150.0	13860	-56.1						245	48	373.2		373.2
100.0	16620	-59.5						245	44	412.5		412.5
84.0	17606	-61.1						243	36	430.3		430.3
79.0	17954	-58.1						242	33	444.1		444.1
70.0	18640	-61.1						240	28	453.3		453.3
50.0	20760	-55.5						240	26	512.2		512.2
38.0	22526	-51.1						334	21	565.2		565.2
32.0	23640	-52.1						33	17	591.0		591.0
30.0	24060	-49.5						55	16	609.1		609.1
24.0	25534	-44.5						69	23	663.7		663.7
20.0	26750	-45.1						80	28	697.4		697.4
17.0	27840	-43.1								736.9		736.9

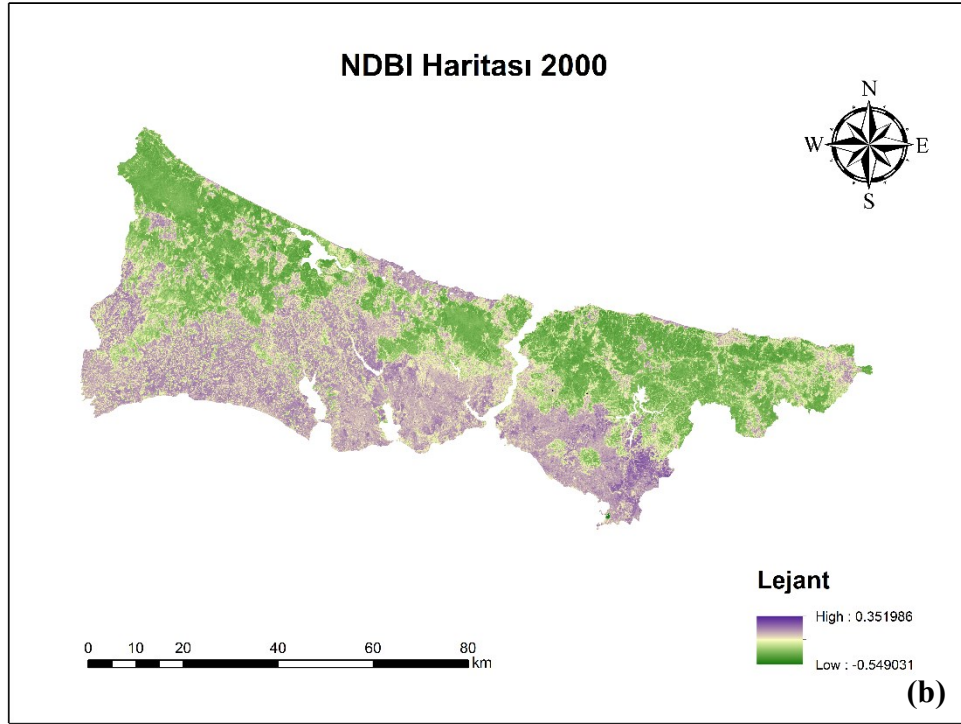
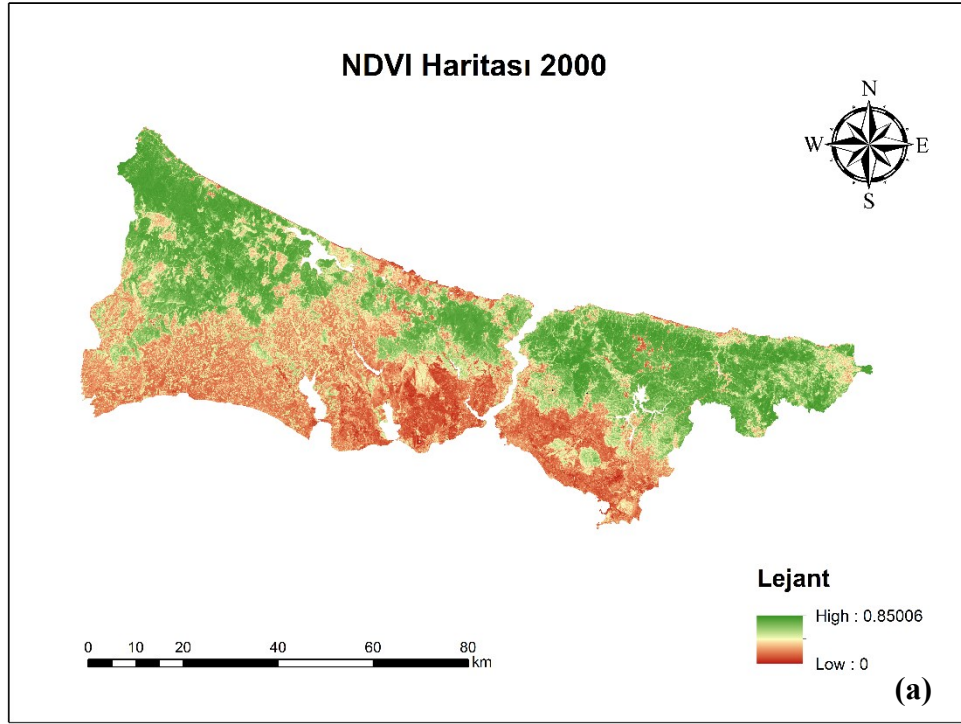
Station information and sounding indices

Station number: 17062
 Observation time: 840612/1200
 Station latitude: 40.95
 Station longitude: 29.07
 Station elevation: 33.0
 Showalter index: 11.75
 Lifted index: 3.57
 LIFT computed using virtual temperature: 3.29
 SWEAT index: 45.01
 Cross totals index: -3.10
 Vertical totals index: 27.90
 Totals totals index: 24.80
 Convective Available Potential Energy: 0.00
 CAPE using virtual temperature: 0.00
 Convective Inhibition: 0.00
 CINS using virtual temperature: 0.00
 Bulk Richardson Number: 0.00
 Bulk Richardson Number using CAPV: 0.00
 Temp [K] of the Lifted Condensation Level: 276.85
 Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level: 782.04
 Mean mixed layer potential temperature: 297.01
 Mean mixed layer mixing ratio: 6.45
 1000 hPa to 500 hPa thickness: 5596.00
 Precipitable water [mm] for entire sounding: 9.08

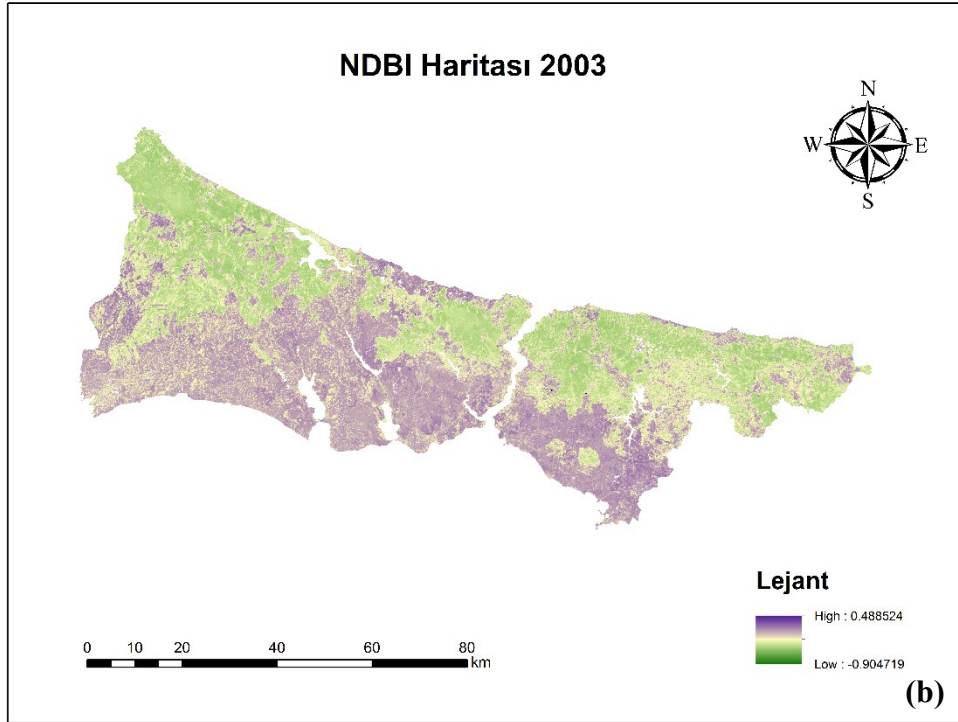
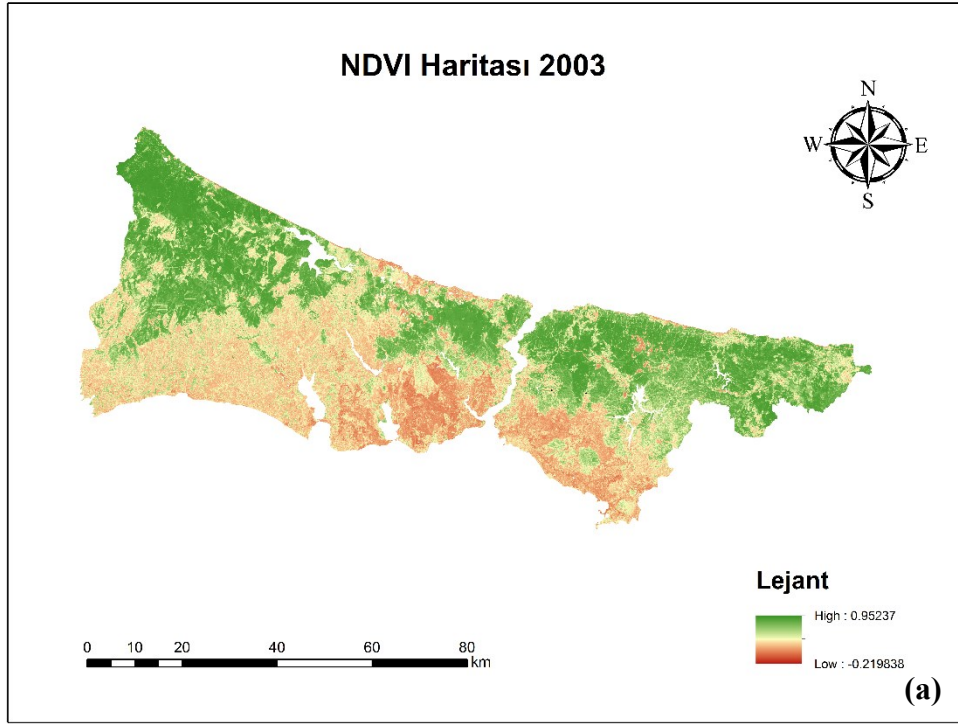
Şekil B.5 : Çalışmada kullanılan 1984 yılına ait radiosonda verisi -2



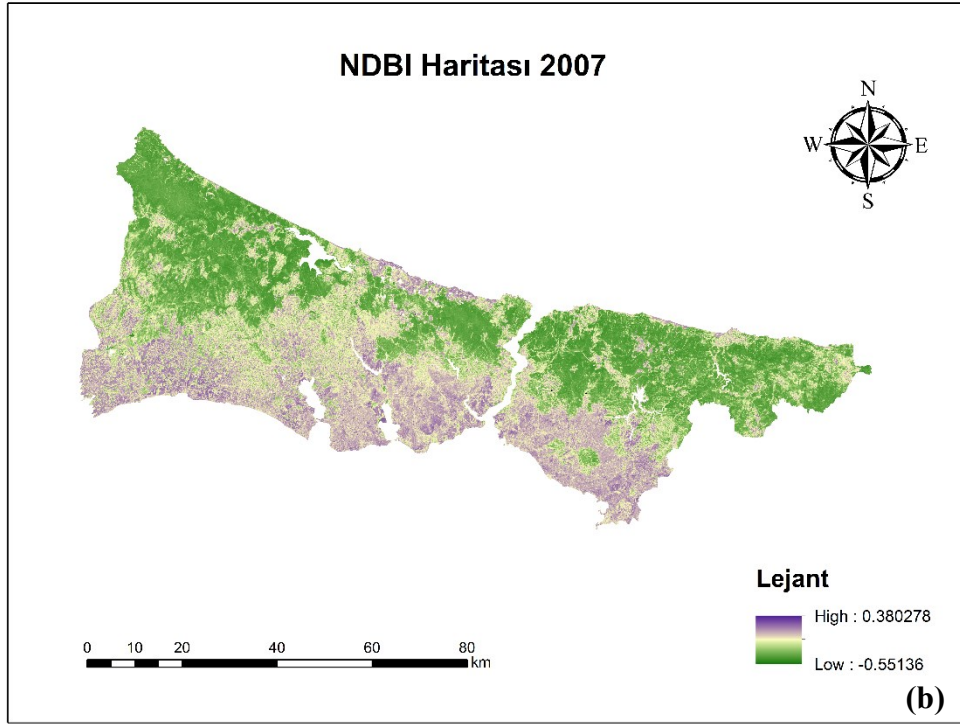
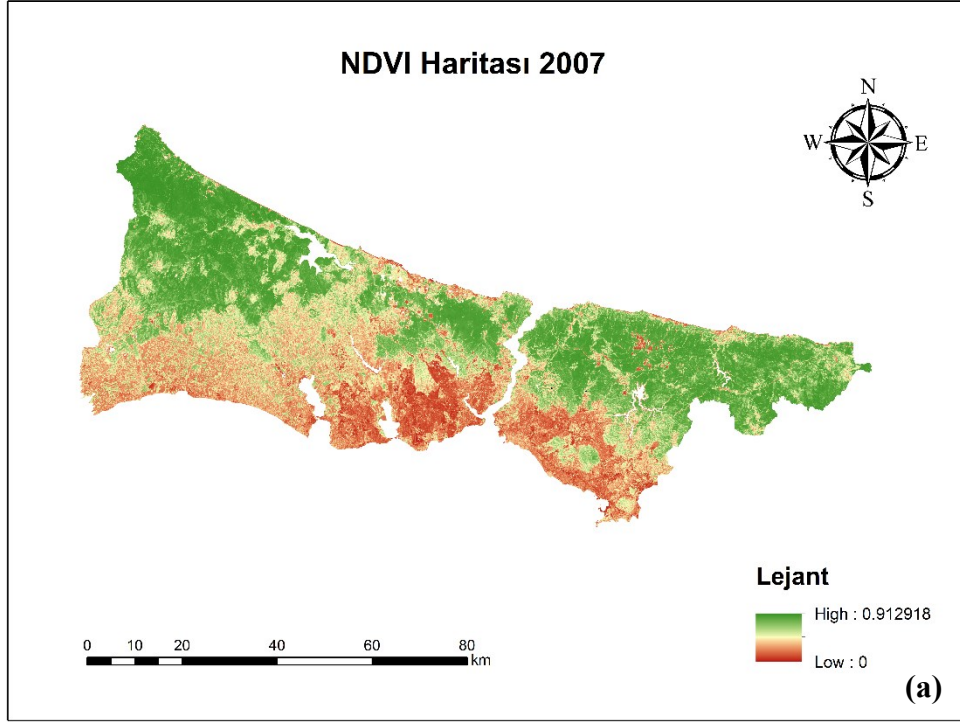
Şekil C.1 : 1984 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.



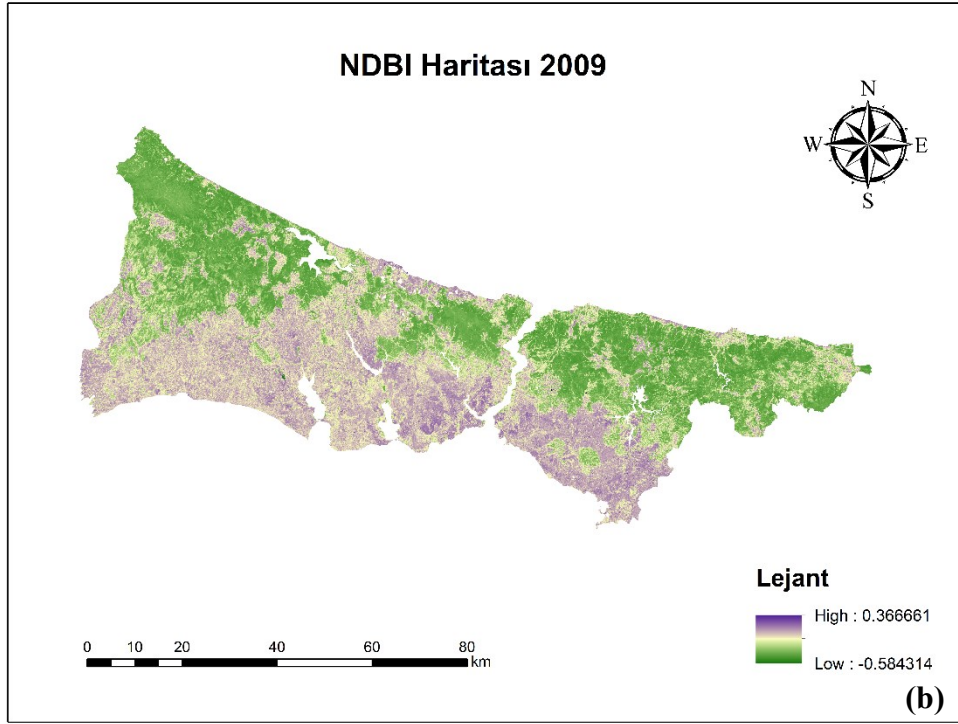
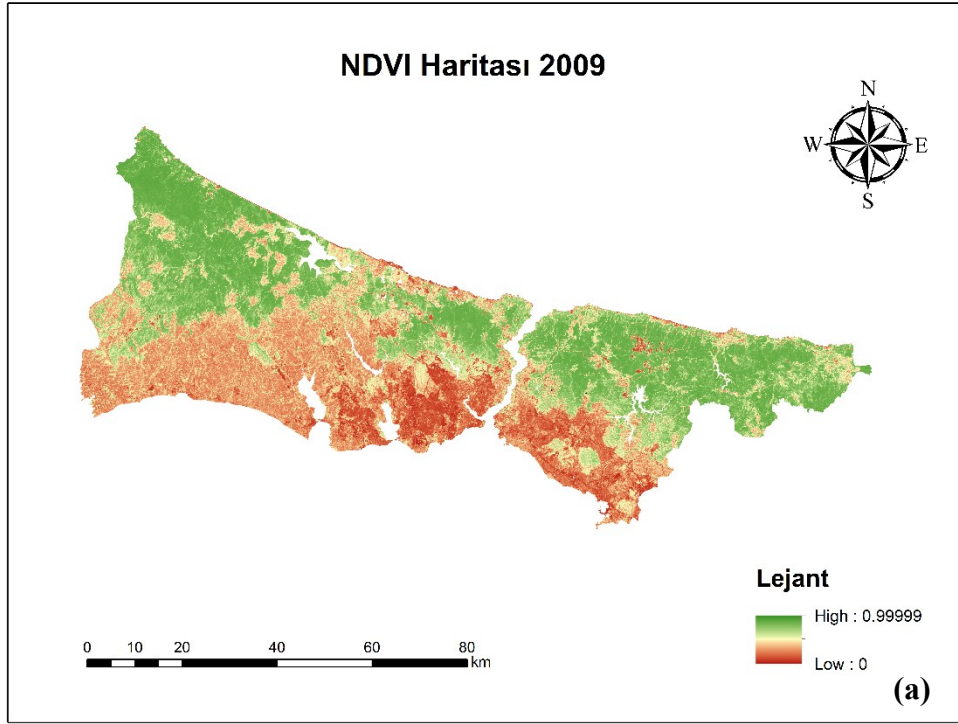
Şekil C.2 : 2000 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.



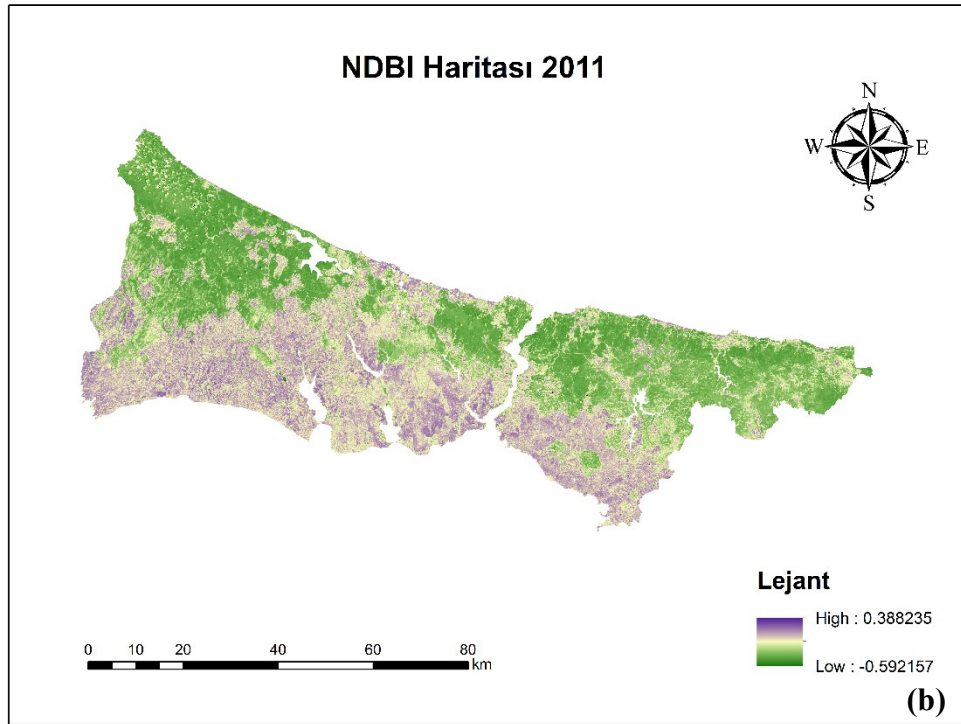
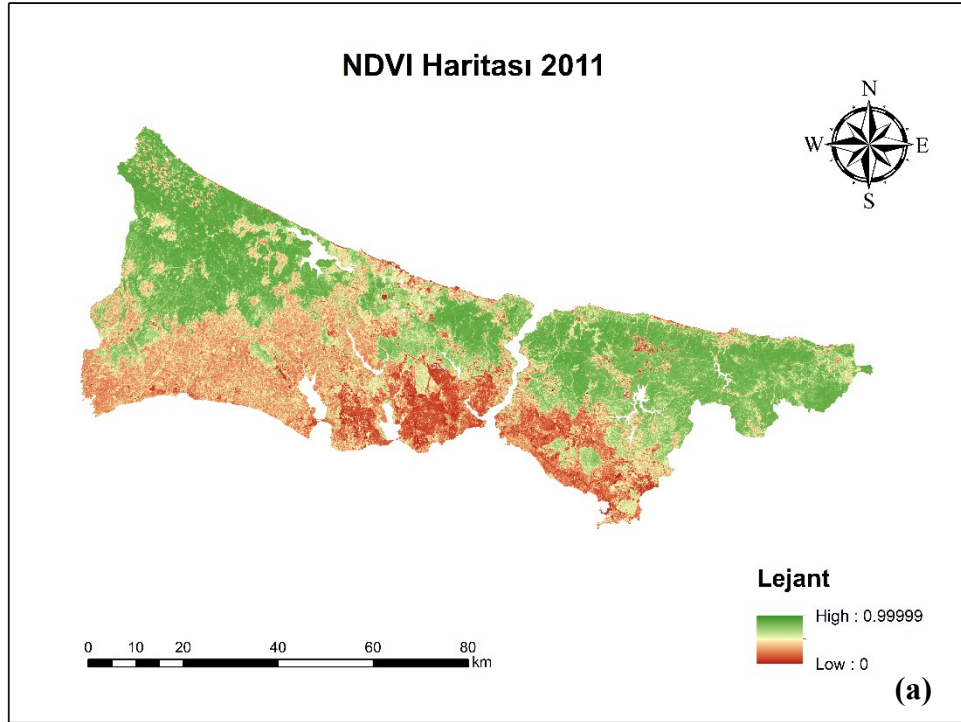
Şekil C.3 : 2003 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.



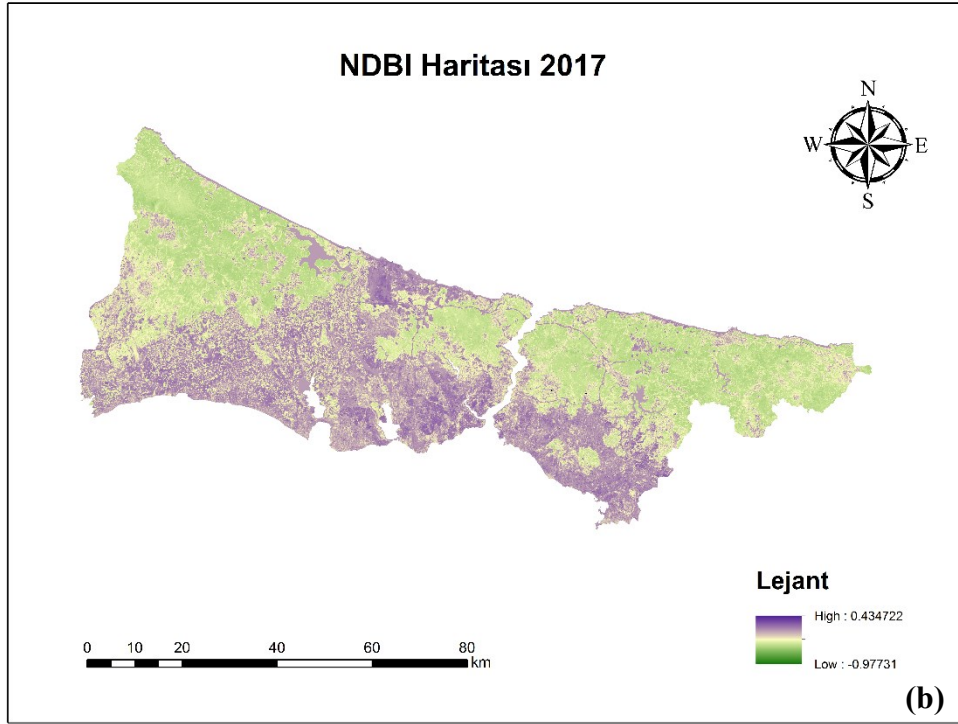
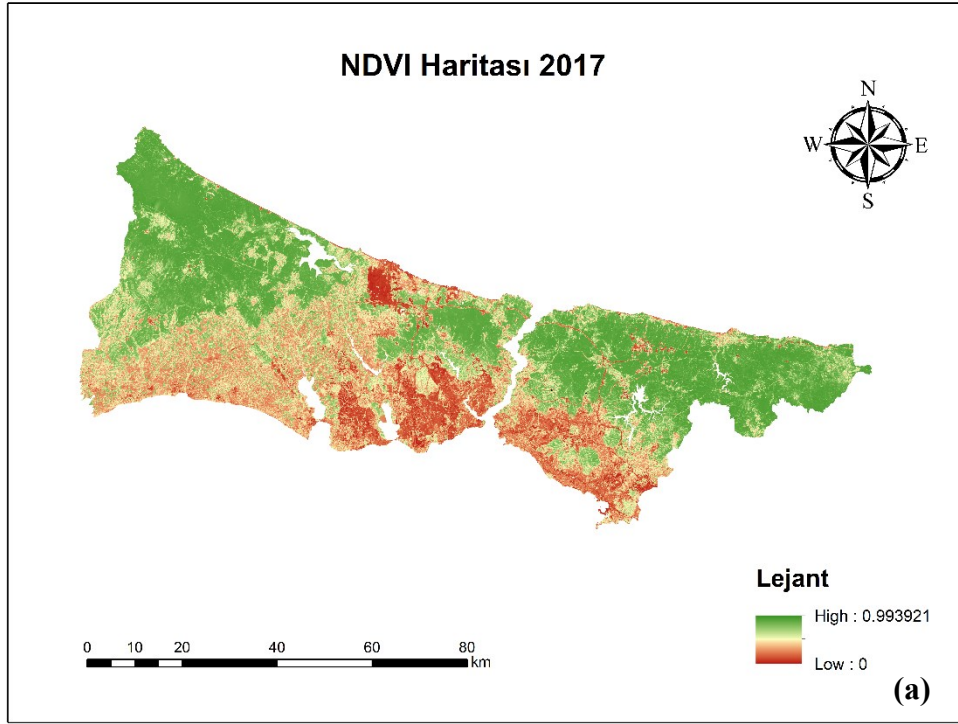
Şekil C.4 : 2007 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.



Şekil C.5 : 2009 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.



Şekil C.6 : 2011 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.



Şekil C.7 : 2017 yılı NDVI ve NDBI haritaları: (a) NDVI. (b) NDBI.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Bahadır ÇELİK
Doğum Tarihi ve Yeri : 1984 / MANİSA-Akhisar
E-posta : bcelik@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, Geomatik Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2010-2011, Araştırma Görevlisi - Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü
- 2011 – 2017, Araştırma Görevlisi - İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği (2547 sayılı kanunun 35. maddesi ile görevlendirme)
- 2017 – halen, Araştırma Görevlisi - Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Kaya S., **Celik B.**, 2016. Multi-Temporal Analysis Of Urban Area Changes Using Built-Up Index, 37th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), 17th-21st October 2016, Colombo, Sri Lanka. pp. 672- 678 ISBN: 978-1-5108-3461-3
- Kaya, S., **Celik, B.**, Sertel, E., Bayram, B., & Şeker, D. Z. 2017. Multi temporal analysis of land surface temperature in highly urbanized districts. AGU FALL MEETING 2017, New Orleans.

- Kaya, S., **Celik, B.**, Gazioglu, C., Alganci, U., & Seker, D. Z. 2017. Assessment of the Relationship between Land Cover and Land Surface Temperatures Utilizing Remotely Sensed Data A Case Study of Silivri. Presented at the 19th MESAEP Symposium on Environmental and Health Inequity, Roma.
- Kaya, S., **Celik, B.**, Bayram, B., & Sertel, E. 2018. “Impacts of Forest Cover Changes on Land Surface Temperatures A Remote Sensing Study of Istanbul Northern Forests,” presented at the international conference on agriculture, forest, food sciences and technologies, Cesme/Izmir, 2018.
- **Celik, B.**, Kaya, Sinasi & Alganci, Ugur & Seker, Dursun. 2019. Assessment Of The Relationship Between Land Use/Cover Changes And Land Surface Temperatures: A Case Study Of Thermal Remote Sensing. *Fresenius Environmental Bulletin*. 28. 541-547.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Keskin, M., **Celik, B.**, Dogru, A. O., & Pakdil, M. E. 2015. A Comparison of Space-Time 2D and 3D Geovisualization. In Proceedings of the 27th International Cartographic Conference, Rio de Janeiro, Brazil (pp. 23-28).
- Goksel, C., Balcik, F. B., Keskin, M., **Celik, B.**, Cihan, C., & Yagmur, N. 2016. Evaluation of Classification Methods for Detection of Greenhouses from Spot 5 Satellite Imagery. In 6th International Conference On Cartography And Gis (p. 712).