

**ESKİŞEHİR KENTSEL YERLEŞİM ALANININ  
FARKLI YILLARA AİT FİZİKSEL DEĞİŞİMİNİN  
UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİ İLE  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dilek BAYSAL  
Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri  
Anabilim Dalı  
Eylül-2006

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Dilek Baysal'ın "Eskişehir Kentsel Yerleşim Alanının Farklı Yıllara Ait Fiziksel Değişiminin Uzaktan Algılama Yöntemi ile Değerlendirilmesi" başlıklı Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 17.07.2006 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. CAN AYDAY	.....
Üye : Yard. Doç. Dr. METİN ALTAN	.....
Üye : Yard. Doç. Dr. ALİ ULU	.....

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ESKİŞEHİR KENTSEL YERLEŞİM ALANININ FARKLI YILLARA AİT FİZİKSEL DEĞİŞİMİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Dilek BAYSAL**

**Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Can AYDAY  
2006, 89 sayfa**

Bu tez kapsamında Eskişehir ili kentsel yerleşim alanlarının ve çevresindeki arazi kullanımlarının uzaktan algılama yöntemi kullanılarak yıllara göre değişimi incelenmiştir. Kullanılan veriler, Eylül 1987 tarihli Landsat 5 TM ile Eylül 1999 tarihli Landsat 7 ETM uydu görüntüleridir. Kullanılan yöntem uzaktan algılamada kullanılan değişim analizi tekniklerinden görüntü sınıflandırmadır. Klasik ve temel bileşenler analizi yöntemleri olmak üzere iki farklı sınıflandırma yöntemi kullanılmış ve bu iki yöntemden en uygun olanı seçilmiştir. Elde edilen sınıflandırılmış görüntüler kullanılarak değişim matrisi oluşturulmuştur. Bu değişim matrisi ile kentsel yerleşim alanı ve çevresindeki arazi kullanım alanlarının 12 yıllık alansal değişimi ve büyüklüğü belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uzaktan Algılama, Değişim Analizi, Sınıflandırma, Temel Bileşenler Analizi, Değişim matrisi

## **ABSTRACT**

**Master of Science Thesis**

### **EVALUATION OF ESKİŞEHİR URBAN RESIDENTIAL AREA ACCORDING TO TIME DIFFERENCE OF PHYSICAL BY USING REMOTE SENSING TECHNICS**

**Dilek BAYSAL**

**Anadolu University  
Graduate School of Sciences  
Remote Sensing and Geographical Information System Program**

**Supervisor: Prof.Dr.Can AYDAY  
2006, 89 pages**

In this thesis, we study the changes in the urban residential areas and surrounding land cover of the city of Eskisehir over years using remote sensing method. The data is collected from the satellite images taken by Landsat 5 TM in September 1987 and by Landsat 7 ETM in September 1999. We used an image classification technique that is one of the remote sensing change analysis techniques. We considered both the classical and the principal component analysis techniques and chose the most suitable one for our purpose. A change matrix is constructed from the classified images obtained. This change matrix is then used to determine the size of the urban residential areas and the surrounding land cover and their area changes in a period of 12 years.

**Keywords:** Remote Sensing, Change Detection, Classification, Principal Component Analysis, Change Matrix

## TEŞEKKÜR

Çalışmanın her aşamasında yardımcı olan, çalışmalarına yön veren, ilgi ve katkılarını esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Can AYDAY'a,

Öğretim yılı boyunca ve dışında, destek ve güler yüzünü eksik etmeyen hocam Yard. Doç. Dr. Metin ALTAN'a,

Çalışmanın son aşamalarında bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen meslektaşım ve hocam Yard. Doç. Dr. Ali ULU'ya,

Öğretim yılı boyunca ve dışında destek, yardım ve abiliğini esirgemeyen hocam Araş. Gör. Uğur AVDAN'a

Manevi destekleri ve bilgi birikimlerinden dolayı Didem ŞAMDAN ve eşi Mak. Yük. Müh. Alphan ŞAMDAN ailesine,

Çalışma boyunca gösterdiğim emek ve sabra destek olan aileme, özellikle anneme ve İnş. Yük. Müh. sevgili Ersin OĞUL'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Dilek BAYSAL

Eylül - 2006

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Amaç .....	1
1.2. Yöntem .....	1
1.3. Kullanılan Veriler .....	2
<b>2. ÇALIŞMA ALANI VE KENTİN TARİHSEL GELİŞİMİ</b> .....	<b>3</b>
2.1. Çalışma Alanı.....	4
2.2. Eskişehir İli Kentsel Alanın Tarihsel Gelişimi .....	5
<b>3. UYGULANAN YÖNTEMLER</b> .....	<b>9</b>
3.1. Uzaktan Algılama .....	9
3.2. Uzaktan Algılamada Kullanılan Uydular ve Özellikleri.....	10
3.3. Görüntü İyileştirme .....	15
3.3.1.Geometrik İyileştirme .....	15
3.3.1.1.Geometrik Koordinatlandırma .....	16
3.3.1.2.Geometrik Koordinat Eşleme.....	17
3.3.2. Radyometrik İyileştirme.....	18
3.3.2.1.Algılayıcı Sistem Hataları .....	18
3.3.2.2.Çevresel Kaynaklı Hatalar .....	18
3.4. Uzaktan Algılamada Değişim Analizi .....	19
3.5. Uzaktan Algılamada Değişim Analizinin Kullanıldığı Alanlar .....	20
3.6. Uzaktan Algılamada Değişim Analizi Teknikleri.....	21

3.6.1. Görsel Yorumlama .....	22
3.6.2. Görüntü Yorumlama Teknikleri (Aritmetik İşlemler) .....	22
3.6.3. Sınıflandırma.....	26
3.6.4. Temel Bileşenler Analizi .....	28
3.6.5. Değişim Vektör Analizi .....	30
<b>4. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>31</b>
4.1. Değişim Analizi Teknikleri ile İlgili Örnek Çalışmalar.....	31
4.2. Konu ile İlgili Örnek Çalışmalar.....	33
4.3. Değişim Analizi Tekniklerinin Kıyaslanması.....	35
<b>5. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİLER VE YAZILIM .....</b>	<b>36</b>
5.1. Kullanılan Uzaktan Algılama Verileri .....	36
5.2. Yazılım.....	37
<b>6. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>38</b>
6.1. Görüntülerin Geometrik İyileştirilmesi.....	41
6.2. Klasik Yöntem ile Sınıflandırma .....	42
6.2.1. Uygun Band Kombinasyonlarının Belirlenmesi .....	43
6.2.2. Görüntülerin Sis Radyometrik İyileştirmesi .....	46
6.2.3. Görüntülerin Sınıflandırılması .....	49
6.2.4. Doğruluk Analizi.....	54
6.3. Temel Bileşenler Analizi Yöntemi ile Sınıflandırma.....	58
6.3.1. Görüntülerin Spektral İyileştirilmesi .....	58
6.3.2. Uygun Temel Bileşenlerin Belirlenmesi.....	58
6.3.3. Görüntülerin Sınıflandırılması .....	61
6.3.4. Doğruluk Analizi .....	64
<b>7. DEĞİŞİM MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI .....</b>	<b>67</b>
<b>8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>73</b>

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>77</b>
------------------------	-----------



## ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Eskişehir ili ve ilçeleri haritaları. (a) Eskişehir ilinin Türkiye'deki konumu ve (b) Eskişehir ili ilçeleri .....	3
2.2. Eskişehir ili yerleşim alanının ve çevresinin uydu görüntüsü. (a) Eskişehir ili 2005 yılı uydu görüntüsü ve (b) Çalışma alanı 1999 yılı RGB/753 Landsat 7 ETM uydu görüntüsü .....	5
3.1. Uzaktan algılamada veri elde etme ve veri işleme süreci .....	9
3.2. Yeryüzünden alınan bilgilerin, bilgisayarda sayısal olarak ifade edilmesi .....	11
3.3. Radyometrik çözünürlük. (a) 2 bitlik görüntü ve (b) 8 bitlik görüntü .....	13
3.4. Aynı alana ait (a) Landsat TM ve (b) Landsat MSS görüntülerinin spektral çözünürlüğü.....	14
3.5. Eşik değerinin gösterimi .....	24
3.6. Temel bileşenler pilot grafiği. (a) Birinci temel bileşen ve (b) İkinci temel bileşen .....	29
3.7. Değişim vektör analizi. (a) Spektral değişim vektörü, b) Değişim olmayan ya da az olan ve c) Değişim .....	30
6.1. Yapılan çalışmanın akış şeması .....	40
6.2. En yakın komşu örnekleme yöntemi.....	41
6.3. 1987 RGB/543 görüntüsünün 1999 RGB/543 görüntüsüne göre koordinat eşlemesi.....	42
6.4. Eskişehir ili 1987 RGB/743 renkli görüntüsü.....	45
6.5. Eskişehir ili 1999 RGB/743 renkli görüntüsü.....	45
6.6. 1987 yılı band 3 görüntüsünün sis iyileştirmesi öncesi (a) ve sonrası görüntüsü (b).....	46
6.7. 1999 yılı band 3 görüntüsünün sis iyileştirmesi öncesi (a) ve sonrası görüntüsü (b) .....	47
6.8. 1987 yılı ve 1999 yılı band 3 görüntüsünün spektral saçılım grafikleri. (a) 1987-1999 yılları band 3 sis iyileştirme öncesi ve (b) 1987 – 1999 yılları band 3 sis iyileştirmesi sonrası spektral saçılım grafiği .....	47

6.9. 1987 yılı sis iyileştirmesi yapılmış RGB/743 bandı renkli görüntüsü .....	48
6.10. 1999 yılı sis iyileştirmesi yapılmış RGB/743 bandı renkli görüntüsü .....	48
6.11. 1987 yılı RGB/743 görüntüsü ve konulu sınıflar tablosu .....	51
6.12. 1987 yılı klasik yöntem eğitilmiş sınıflandırılmış görüntüsü .....	51
6.13. 1999 yılı RGB/743 görüntüsü ve konulu sınıflar tablosu .....	53
6.14. 1999 yılı klasik yöntem eğitilmiş sınıflandırılmış görüntüsü .....	53
6.15. 1987 yılı RGB/432 Temel bileşenler renklendirilmiş görüntü .....	60
6.16. 1999 yılı RGB/432 Temel bileşenler renklendirilmiş görüntü .....	60
6.17. 1987 yılı RGB/432 Temel bileşen renklendirilmiş görüntüsü ve konulu sınıflandırma tablosu .....	62
6.18. 1987 yılı temel bileşenler yöntemi ile sınıflandırılmış görüntüsü ve açıklaması.....	62
6.19. 1999 yılı RGB/432 Temel bileşen renklendirilmiş görüntüsü ve konulu sınıflandırma tablosu .....	63
6.20. 1999 yılı temel bileşenler yöntemi ile sınıflandırılmış görüntüsü ve açıklaması.....	63
7.1. Değişim matrisi, değişim görüntüsü ve sınıfların alansal değişimi .....	68
7.2. Değişim alanları .....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. Uzaktan algılamada kullanılan uydu çeşitleri ve uyduların özellikleri.....	12
5.1. Landsat 5 TM ve Landsat 7 ETM bandlarının özellikleri.....	37
6.1. 1987 ve 1999 tarihli band kombinasyonları ve ilk 5 OIF değerleri .....	44
6.2. Sınıflandırmada kullanılan konulu sınıflar.....	50
6.3. Kappa değerlerine göre sınıflandırma sonuçları .....	56
6.4. 1987 yılı RGB/743 klasik sınıflandırma sonrası elde edilen doğruluk analizi .....	56
6.5. 1999 yılı RGB/743 klasik sınıflandırma sonrası elde edilen doğruluk analizi.....	57
6.6. 1987 yılı RGB/432 temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırma sonrası elde edilen doğruluk analizi .....	64
6.7. 1999 yılı RGB/432 temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırma sonrası elde edilen doğruluk analizi.....	65
6.8. Sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesi.....	66

## **SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

EOSB	: Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
GPS	: Global Positioning System
MSS	: Multi Spectral Scanning
NIR	: Near Infrared band
Nm	: Nanometre
OIF	: Optimum Index Factor (En Uygun İçerik Etkeni)
PC	: Principle Component
RBV	: Return Beam Vidicon
RED	: Kırmızı band
UTM	: Universal Mercator System
TM	: Thematic Mapper
TM <sub>3</sub>	: Thematic Mapper Band 3
TM <sub>4</sub>	: Thematic Mapper Band 4

## **1. GİRİŞ**

Dünya gerek canlılardan gerekse doğadan kaynaklanan sürekli bir değişim halindedir. Bu değişimin belirlenmesinde ve takip edilmesinde sosyal, ekonomik ve fiziki veriler kullanılır. Özellikle fiziki anlamda verilerin elde edilmesinde haritalar kullanılmaktadır. Günümüzde kullanımı, saklanması ve güncellenmesi kolay olduğu için sayısal haritalar daha çok tercih edilmektedir.

Kent ve bölge planlamada her ölçekteki kentleşmenin ve arazi kullanım değişiminin belirlenmesinde ve geleceğe yönelik kestirimlerin yapılmasında sayısal haritalar kullanılmaktadır. Planlamada, mevcut durumun analizi güvenli ve doğru bir şekilde yapıldığı takdirde, o alana ilişkin geleceğe yönelik alınan planlama kararları da sağlıklı ve güvenilir olacaktır. Sayısal haritaların kullanımı ile bu süreç daha güvenilir, daha ekonomik ve daha kısa zamanda gerçekleştirilebilmektedir.

Günümüzde uzaktan algılama yöntemleri ile sayısal ortamda; kent ve bölge planlamada değişimin belirlenmesi istenilen her ölçekte sağlanabilmektedir. Özellikle nüfus artışından dolayı gerçekleşen çarpık kentleşme, doğal bitkisel örtünün ve açık alanların yok olması gibi olumsuz etkilerin en kısa zamanda belirlenmesi ve takip edilmesi söz konusudur.

### **1.1. Amaç**

Bu çalışmanın amacı Eskişehir ilinin ve çevresindeki arazi kullanımlarının 12 yıl içindeki fiziksel değişiminin, uzaktan algılama teknikleri kullanılarak incelenmesidir. Yapılan çalışmada kentsel alanın ve diğer arazi kullanımlarının işlevsellik ve büyüklük açısından değişimi belirlenmiştir.

### **1.2. Yöntem**

Bu çalışmada esas olarak uzaktan algılama yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada uzaktan algılamada kullanılan değişim analizi tekniklerinden sınıflandırma yöntemi uygulanarak Eskişehir ili kentsel alanının 1987 ve 1999

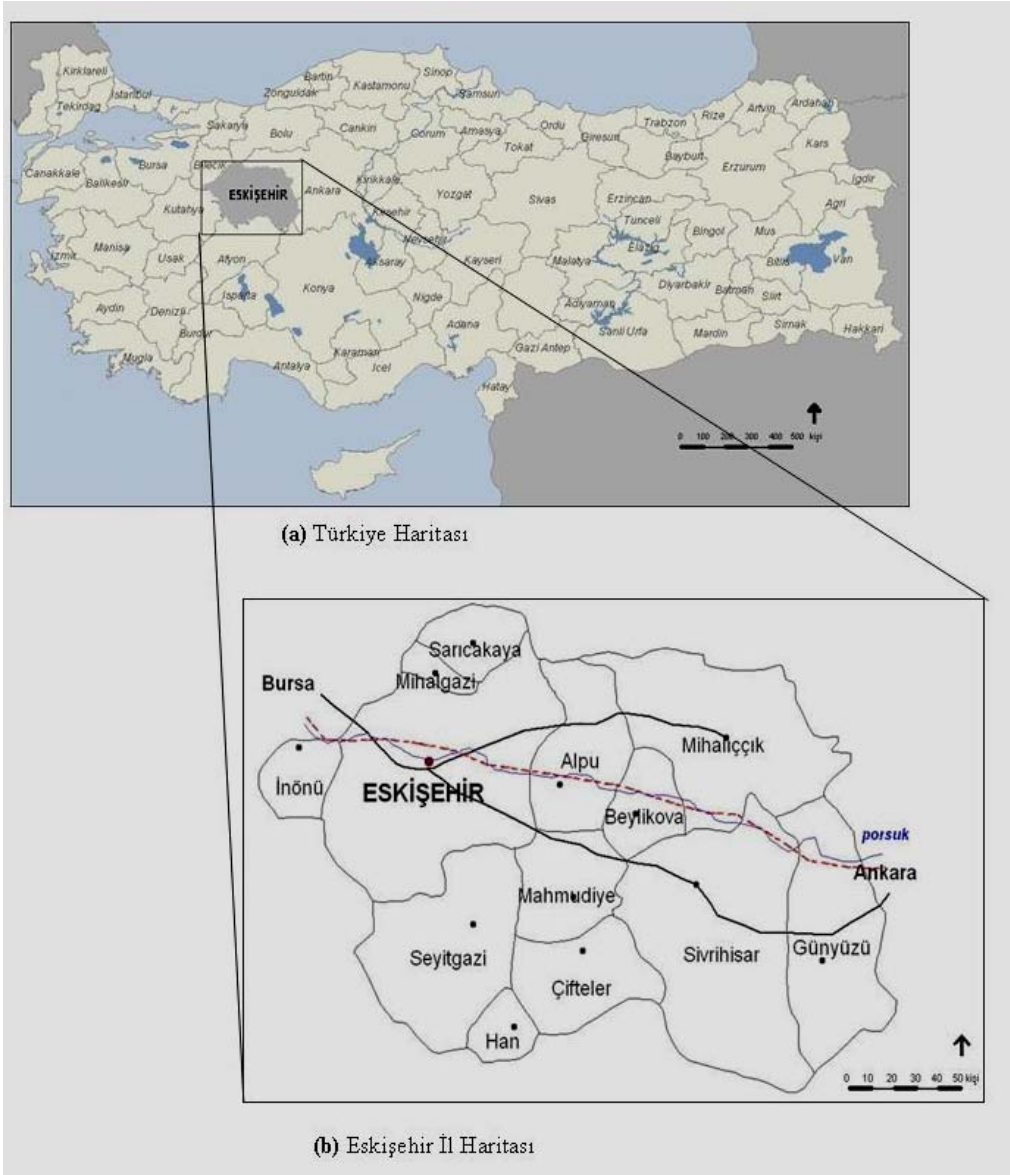
yılları arasındaki 12 yıllık arazi kullanımlarının işlevsel olarak değişimi belirlenmiştir. Yıllara göre arazi kullanım farklılığının belirlendiği değişim görüntüsü ile değişim matrisi oluşturulmuştur. Bu matris sonucu dönüşümü belirlenen arazilerin büyüklükleri de alansal olarak belirlenmiştir.

### **1.3. Kullanılan Veriler**

Çalışmada kullanılan veriler çalışmanın amacına, çalışma alanının büyüklüğüne ve verinin elde edilme şekline göre belirlenmiştir. Veriler Eylül 1987 tarihli Landsat 5 TM ve Eylül 1999 tarihli Landsat 7 ETM uydu görüntüleridir.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE KENTİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Eskişehir ili İç Anadolu Bölgesi'nin kuzey batısında yer almaktadır (Şekil 2.1a ve b). İl arazisi, Sakarya Nehri ile onun kolu olan Porsuk Çay'ının sulama havzalarında yer alan iki geniş ova ve bunları çevreleyen dağlardan oluşur. Porsuk Ovası'nın batı ucunda merkez ilçe yer alır [1].



**Şekil 2.1.** Eskişehir ili ve ilçeleri haritaları. (a) Eskişehir ilinin Türkiye'deki konumu ve (b) Eskişehir ili ilçeleri

İlin yüzölçümü yaklaşık 13.653 km<sup>2</sup>'dir. Bu alanıyla il, Türkiye topraklarının % 1.8'ini kaplamaktadır. 2000 yılı il nüfusu 706.009'dur. Toplam nüfusun 557. 028'i il ve ilçe merkezinde, 148.981'i köylerde yerleşmiştir. İlin yıllık nüfus artış hızı binde 9.61'dir.

Coğrafi konumundan dolayı Eskişehir, Anadolu'nun batıya açılan kapısı durumundadır. Demiryolu ve karayollarının kavşağında olması, tarımda ve sanayideki gelişmeler ile yeraltı kaynaklarının zenginliği, Eskişehir'i ekonomik bakımdan önemli bir merkez haline getirmiştir. İl ekonomisinde sektörlerin payı; % 61 ile hizmetler sektörü ilk sırada yer alırken, bunu % 28 ile sanayi sektörü ve % 11 ile tarım sektörü izlemektedir [1].

Eskişehir'in ekonomisinde tarım ve sanayi önemli bir paya sahiptir. Şehir nüfusunun kırsal nüfusa göre hızla büyümesi, yetiştirilmiş iş gücü potansiyelinin varlığı, ilin coğrafi bakımdan önemli yerleşim alanlarına ve pazarlara yakınlığı, enerji ve hammadde kaynaklarının uygunluğu, sanayi için gerekli altyapı yatırımlarının yeterli olması ve ulaşım kolaylıkları, bölge sanayisinin giderek gelişmesini sağlamıştır.

Eskişehir'deki iki üniversitenin varlığı da hem kültürel hem de ekonomik açıdan kentin ekonomisine katkıda bulunmaktadır.

## **2.1. Çalışma Alanı**

Çalışma alanı 30° 28' ve 30° 41' doğu meridyenleri ile 39° 48' ve 39° 43' kuzey paralelleri arasındadır (Şekil 2.2).

Çalışma alanının büyüklüğü 22,7x13 km olmak üzere yaklaşık 295 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Şekil 2.2b'de yapılaşmış alanlar kahverenginde olup çalışma alanının ortasında yer almakta, kentin kuzey ve batısında havaalanları, güneyinde ormanlık alan yer almaktadır. Eskişehir-Ankara kara yolu üzerinde ve kentin batısında yer alan renkli ve beyaz olarak görülen alanlar ise organize sanayi bölgesidir. Diğer alanlar ise sulu, kuru tarım alanları ile tarım dışı arazi alanlarıdır.





(a) Eskişehir İli Uydü Görüntüsü



(b) Çalışma Alanı

**Şekil 2.2.** Eskişehir ili yerleşim alanının ve çevresinin uydü görüntüsü. (a) Eskişehir ili 2005 yılı uydü görüntüsü ve (b) Çalışma alanı 1999 yılı RGB/753 Landsat 7 ETM uydü görüntüsü

## 2.2. Eskişehir İli Kentsel Alanın Tarihsel Gelişimi

Bu bölümde Eskişehir ilinin 1800'lü yıllardan bu yana gelişip büyümesindeki etkileyici unsurlar ve değişimin boyutları hakkında bilgiler yer almaktadır. Bu unsurlar, kentin aynı zamanda makro formunun oluşmasına da neden olan sanayi kuruluşları, ticari alanlar, ulaşım türü ve aksları, eğitim tesisleri

özellikle üniversite alanları ve bunlara bağlı olarak gelişen konut alanları ile yaya akslarıdır. 1890'lı yıllarda Eskişehir ilinin yerleşim alanı ilk olarak Porsuk Çayı'nın kuzey kıyısı ile demiryolu çevresinde yer almıştır. Demiryolu kentin ticari fonksiyonunu canlandırmış ve dolayısıyla yerleşim alanlarının genişlemesine de sebep olmuştur.

1900'lü yıllarda lokomotif üretim tesisi olarak kullanılan Cer Atölyesi kurulmuştur. Cer Atölyesi'nin kurulması ile sanayi alanında önemli gelişmeler meydana gelmiş, sanayinin gelişmesi ile ticari fonksiyonlar ve yerleşim alanları artmıştır. 1958 yılında adı Eskişehir Demiryolu Fabrikası olarak değiştirilen bu kuruluş, 1970 yılında Eskişehir Lokomotif Müessesesi, 1986 yılında ise, Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A.Ş. (TÜLOMSAŞ) adını almıştır. Cumhuriyet döneminde Türkiye genelinde sanayi alanında planlı bir döneme geçilmesiyle ilde kamu yatırımları artmıştır. 1926 yılında Tayyare Bakım Atölyesi ve 1933 yılında şeker fabrikası gibi kamu yatırımlarının yanı sıra aynı tarihlerde özel sektörde büyük ölçekli un, kiremit, taş ve toprağa dayalı üretim yapan kiremit ve tuğla fabrikaları kurulmuştur. Sanayide meydana gelen bu gelişmeler sonucunda kent nüfusu iki katına çıkmıştır. Artışın bu kadar yoğun olmasının diğer bir nedeni de, çevre kentlerden alınan göçten kaynaklanmaktadır. Gelişen sanayi ve buna bağlı olarak yarattığı istihdam kentte yeni yerleşim alanlarının açılmasına neden olmuş ve kent, kuzey batı yönünde gelişmiştir. Sanayide çalışan nüfusun yanı sıra, devlet kuruluşlarında ve askeri üste görevli çok sayıda memurun kent bünyesinde yer alması, bu dönemde Eskişehir'e memur ve işçi kenti kimliği kazandırmıştır. Kentte hızlı nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak ortaya çıkan konut sayısındaki artışa rağmen, gecekondulara rastlanmamaktadır.

1950'den sonraki yıllarda kentte hızlı bir gelişme meydana gelmiştir. Bu yıllarda kentte kamu yatırımları sürmüş, bölgesel merkez olma niteliği belirginleşen Eskişehir'de çeşitli alt yapı yatırımları yapılmıştır. Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi bu dönemde kurulmuştur. Bu yıllarda demiryolu ülke genelinde önemini yitirmiş ve ulaşımda karayolları ağırlık kazanmıştır. Bulunduğu konumdan dolayı kent gelişimi hızlanmış ve özellikle Bilecik – Ankara çevre yolu, kentin kuzeyindeki yerleşim alanları için çekim noktası haline gelmiştir [2].

Bu dönemde, kentte mahalleler dağınık, kopuk şeklindedir ve gecekondu alanları göze çarpmaktadır. Özellikle İstanbul – Ankara çevre yolunun kuzeyinde geniş bir alana yayılmıştır. Kentin bu şekilde kopuk olarak gelişmesi sanayi alanlarının da kent merkezinde kalmasına neden olmuş ve gelişme alanları kısıtlanmıştır. 1970’li yıllarda kentin doğusunda Eskişehir-Ankara karayolu üzerinde Eskişehir Sanayi Odası tarafından Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi (EOSB) kurulmuştur. Böylece, kentte sanayi tesislerinin yer seçimi düzenli bir şekilde sağlanmıştır ve kent merkezinde yer alan sanayi tesislerinin EOSB’ye taşınması ile kentte yeni boş alanlar meydana gelmiştir. Özellikle kent merkezi ile Yunus Emre Kampüsü arasında kalan “Fabrikalar Bölgesi” yeni işlev kazanmıştır. EOSB için 100 hektarlık bir alanda alt yapı çalışmalarına başlanmış alanın büyüklüğü 2000 yılında yaklaşık 286 hektara çıkmıştır. EOSB’de yaklaşık 10.000 kişi istihdam etmektedir.

Bu dönemde kentin gelişme yönleri tek yönde olmamış, birden fazla yöne gelişme olmuştur. Özellikle kentin gelişim yönü, EOSB’nin kurulması ile doğuya ve İstanbul-Ankara yönündeki kent ana çıkış aksları boyuncadır.

1980’lerde kentte mekansal kullanım bakımından büyük çaplı bir yenilik gözlenmemiştir. Yeni konut ihtiyacının karşılanması için yeni konut alanları açılmış ve kentte yoğunluk artmıştır. Bu gelişme alanlarında nüfusa hizmet edecek ticari, sosyo-kültürel tesisler ve yeşil alanlar da yer almıştır. Bu dönemde mekansal kullanım açısından en önemli yenilik, kentin kuzey batısında Anadolu Üniversitesi’nin yer almasıdır. Aynı zamanda kentin güney batısında, 1993 yılında ilin ikinci üniversitesi olan Osmangazi Üniversitesi kurulmuştur.

Bu dönemde sanayi alanları genelde EOSB içinde yer almıştır. Aynı zamanda bu dönemde kentin alansal olarak gelişmesinde kooperatifler dikkati çekmektedir [2].

2000’li yıllarda ise kent içi ulaşımında önemli bir değişiklik meydana gelmiş, üniversiteler arası, terminal ve kent merkezini birbirine bağlayan hafif raylı sistem getirilmiştir.

Görüldüğü gibi kentin gelişimini tetikleyen unsurlar, sanayi alanları ile üniversite alanlarıdır. Özellikle EOSB’nin kurulmasından sonra büyük yatırımlı firmaların burada yer seçmesi ile bu kuruluşlar önemli ölçüde istihdam yaratmış

ve kentin gelişim yönünü etkilemiştir. Ayrıca, kentte iki üniversitenin yer alması kentte farklı mekan kullanımlarının gelişmesine neden olmuştur. Kent merkezinde kafe, restoran, eğlence merkezleri gibi genelde gastronomiye yönelik ticaret alanları ile tiyatro, opera, sinema gibi sosyal-kültürel faaliyetlerin yoğunlaştığı alanlar ve tesislerin yer almasına neden olmuştur. Üniversite alanlarının varlığı aynı zamanda ulaşımı da etkilemiş, merkezde ticaret alanları ile Porsuk Çayı'nın ilişkilendirilmesinde yaya ağırlıklı ulaşım ağırlık verilmiştir. 2005 yılında hizmete geçen hafif raylı sistem ile bu yaya ağırlıklı mekanların bulunduğu merkezi ticaret alanı ile üniversiteler arası bağlantı sağlanmıştır.

Kısacası Eskişehir kent merkezi, sanayi ve eğitim sektörünün ve bunlara bağlı hizmetler sektörlerinin ön planda olduğu Ankara, İzmir gibi metropol bir kenttir [1].

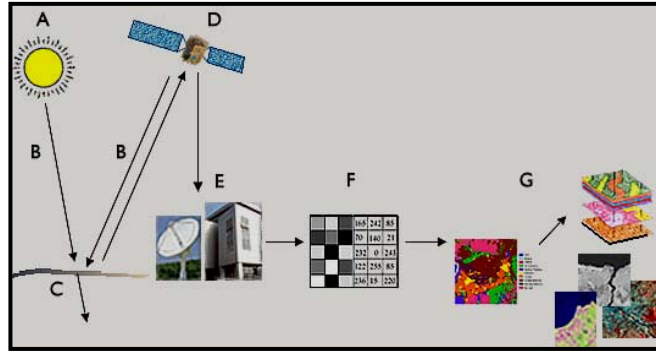
Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından yapılan "İllerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması (2003)" adlı araştırmaya göre, Türkiye genelinde 76 il arasında Eskişehir, 58 adet mali ve sosyal değişken kullanılarak yapılan sıralamada 6. sırada yer almıştır. Yine 1997 yılında Birleşmiş Milletler Kalkınma Programınca hazırlanan, Türkiye Ekonomik ve Sosyal Etütler Vakfı tarafından yayınlanan "İnsani Gelişmişlik Raporu"nda ise Eskişehir, beşeri gelişmişlik düzeyi bakımından 3. sırada yer almıştır. Eskişehir, kent ve yaşam kalitesi en yüksek illerden biri olup, İstanbul ve Ankara gibi iki büyük kentin ardından modern ve düzenli şehirleşmesi ile diğer Anadolu kentlerine örnek oluşturmaktadır. Eskişehir 2001 yılındaki % 79'luk şehirleşme oranı ile Türkiye'nin şehirleşme bakımından önde gelen illerinden biridir [3].

### 3. UYGULANAN YÖNTEMLER

Bu çalışmada yöntem olarak uzaktan algılama teknikleri kullanılmıştır.

#### 3.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama, fiziksel bir temas olmaksızın, algılayıcı sistemleri kullanarak yeryüzü hakkında bilgi edinme bilimidir. Uzaktan algılama teknolojileri yer yüzeyinden yansıyan ve yayılan enerjinin algılanması, kaydedilmesi, elde edilen materyalin bilgi çıkarmak üzere işlenmesi ve analiz edilmesinde kullanılır [4].



Şekil 3.1. Uzaktan algılamada veri elde etme ve veri işleme süreci

Uzaktan algılama süreci iki temel aşamadan oluşur. Bunlar "Veri Elde Etme" ve "Veri İşleme" aşamalarıdır (Şekil 3.1).

#### Verinin Elde Edilmesi:

- A. Enerji kaynağı: Hedefe bir kaynak tarafından enerji gönderilmesi gerekmektedir. Bu kaynak hedefe elektromanyetik enerji gönderir. Optik uydular için enerji kaynağı güneştir ancak radar uyduları kendi enerji kaynaklarını üzerlerinde taşır ve elektromanyetik enerji üreterek hedefe yollarlar.
- B. Işınım ve atmosfer: Enerji, kaynağından çıkarak hedefe yol alırken atmosfer ortamından geçer ve bu yol boyunca bazı etkileşimlere maruz kalır.

- C. Hedef ile etkileşim: Atmosfer ortamından geçen elektromanyetik dalga, hedefe ulaştığında hem ışınım hem de hedef özelliklerine bağlı olarak farklı etkileşimler oluşur.
- D. Enerjinin algılayıcı tarafından kayıt edilmesi: Algılayıcı hedef tarafından yayılan ve saçılan enerjiyi algılar ve buna ilişkin veri kayıt edilir.
- E. Verinin iletimi, alınması ve işlenmesi: Hedeften toplanan enerji miktarına ait veri, algılayıcı tarafından kayıt edildikten sonra, görüntüye dönüştürülmek ve işlenmek üzere bir uydu yer istasyonuna gönderilir.

#### Verinin İşlenmesi:

- A. Yorumlama ve analiz: Görüntü görsel, sayısal ve elektronik işleme teknikleri ile zenginleştirilir, analiz edilir ve nicel sonuçlar elde edilecek veriye sahip olunur.
- B. Uygulama: İşlenmiş veriden bilgi çıkarılır, bazı sonuçlara ulaşılır. Ayrıca elde edilen sonuçlar, başka veri kaynakları ile birleştirilerek kullanılır [4].

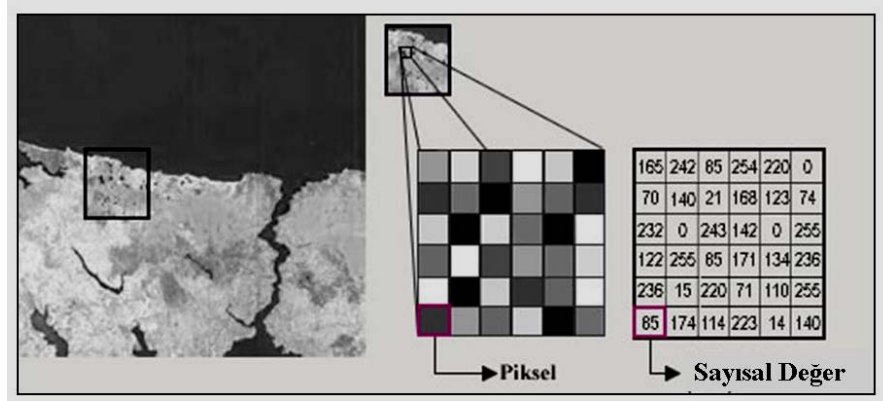
### **3.2. Uzaktan Algılamada Kullanılan Uydular ve Özellikleri**

Uzaktan algılamada uydu, cisimler tarafından yansıtılan veya yayılan elektromanyetik radyasyonun, uzaya yerleştirilen platformlar (uydu) üzerinde bulunan radyometreler tarafından ölçülmesine (pasif algılama) ve radar (aktif algılama) sistemlerine dayanır. Dünya çevresindeki yörüngesinde hareket ederken, algılayıcıları tarafından kaydedilen verileri belirli aralıklarla yer istasyonlarına gönderir.

Uyduyan elde edilen görüntü bir kamera ya da filmde elde edilmiş fotoğraf değildir. Uydular, görüntüleri, algılayıcıları sayesinde sayısal olarak elde ederler. Çalışma şekli olarak günümüzde kullanılan sayısal kameralarla aynı prensiplerde çalışmaktadırlar [5].

Uydu, yeryüzünden ve onun üstündeki cisimlerden gelen elektromanyetik enerjinin miktarını ölçen binlerce küçük alıcılardan oluşmuştur. Bunlar spektral ölçümler olarak adlandırılır. Her spektral yansıma değeri sayısal bir değer olarak kaydedilir. Bu sayılar dünyaya geri gönderilerek bilgisayarlar tarafından sayı dizilerine çevrilir, sıra ve sütunlar bir gri renk değerine denk gelen sayı ile ifade

edilir. Kısaca, sayılar küçük resim elemanlarına çevrilirler ve bir araya geldiklerinde görüntünün tamamını oluştururlar. Sayısal görüntüyü oluşturan resim elemanlarına piksel adı verilir. Her piksel, alandan gelen ortalama ışınımı veren bir sayısal değer olarak gösterilir. Bu sayısal değerler genellikle 0-255 arasındadır (Şekil 3.2).



**Şekil 3.2.** Yeryüzünden alınan bilgilerin, bilgisayarda sayısal olarak ifade edilmesi

Birçok uzaktan algılama uydusu, uyduya gelen elektromanyetik enerjiyi elektromanyetik spektrumun kesin olarak belirlenmiş özel dalga boylarında ölçerler. Elektromanyetik spektrumda dalga boyları 100 km'ye kadar uzunluğa sahip radyo dalga boylarından, 1 metrenin milyonda biri olan 1 nanometre (nm) kısa dalga boylarına sahip olan gama ışınlarına kadar uzanır. İnsan gözünün algılayabildiği dalga boyları, sadece görünür bölgedekilerdir.

Uydularda yer alan algılayıcılar, elektromanyetik spektrumun belli bölümünden yansıyan enerjiyi ölçebilen bantlardan oluşur. Band sayısı uydu çeşitlerine göre farklılaşır [5].

Uzaktan algılamada kullanılan uydu çeşitleri ve bu uyduların özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Yapılacak çalışmaya uygun olarak en uygun uydu görüntüsünün belirlenmesinde dikkat edilecek en önemli husus uydunun çözünürlük özellikleridir.

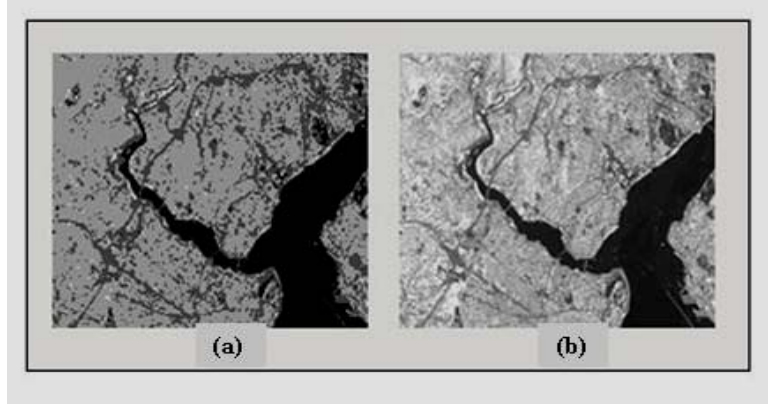
**Çizelge 3.1.** Uzaktan algılamada kullanılan uydu çeşitleri ve uyduların özellikleri

Uydu Türü	LANDSAT 4,5		LANDSAT 7	IKONOS 1,2	SPOT 1,2 ve 4 (3 aktif değil)	
<b>Algılayıcı Türü</b>	MIMS (Multispectral scanner system)	TM (Thematic Mapper)	ETM (Enhanced Thematic Mapper)	MIMS (Multispectral) ve PAN (Panchromat)	İki HRVIR (high resolution visible infrared) push-broom sensors	
<b>Spektral Çözünürlük</b>	1: 0.5 - 0.6 (G) 2: 0.6-0.7 (R) 3: 0.7-0.8 (VNIR) 4: 0.8 - 1.1 (NIR)	5: 1.55-1.75 (Mid-IR) 6: (thermal) 10.40-12.5 7: 2.09-2.35 (Mid-IR)	1: 0.45-0.515 (B) 2: 0.52-0.60 (G) 3: 0.63-0.69 (R) 4: 0.75-0.90 (NIR) 5: 1.55-1.75 (Mid-IR)	1: 0.45-0.53 (B) 2: 0.52-0.61 (G) 3: 0.64-0.72 (R) 4: 0.76-0.88 (VNIR) Pan: 0.45-0.90	1: 0.50-0.59 (G) 2: 0.61-0.68 (R) 3: 0.79-0.89 (NIR) 4: 1.38-1.73 (SWIR) ekle spot4 Pan: 0.51-0.073	
<b>Mekansal Çözünürlük</b>	80 m 185 km genişlik	30 m (visible, near and mid-IR) 120m (thermal IR) 185 Km genişlik	30 m (visible, near and mid-IR) 15m (Panchromatic) 60m (thermal Infrared) 185 km genişlik	4m (visible) 1m (panchromat): 11 km genişlik	20m (visible, near infrared), 10m (panchromatic), 60 km genişlikte	
<b>Zamansal Çözünürlük</b>	16 gün	16 gün	16 gün	26 gün	26 gün	
<b>Neler Tespit Edilir</b>	<b>Mek an</b>	Kent lekeleri ve yollar. Vejetasyon çalışmaların ve arazi/su alanlarının sınırları	Toprak/vejetasyon ayrımı Vejetasyon Bitki türleri ayrımı Thermal ve Jeolojik haritalama	Büyük binalar Orman Tarama Engeli topografya	Yollar,araçlar,binalar (pan) arazi kullanım, tarımsal kullanım, bitki örtüsü (color imager)	Ürün belirleme, kent-kır alan kullanımı, arazi haritalama, su kalitesi yönetimi, göl-akarsu çalışmaları, ekolojik çalışmalar, kaynak yönetimi, jeolojik çalışmalar (haritalama, afet, yağ-yakıt arama) mühendislik çalışmaları, orman görüntüleme ve bitki örtüsü çalışmaları
	<b>Zam an</b>	Ormanlık, kentsel, kırsal alanların gelişim süreci	Karasal ısı değişimi Vejetasyon/ arazi kullanım özellikleri	İnsan kaynaklı değişim hareketlerinin belirlenmesi Nüfus, Tarımsal faaliyetler, Kentsel-Kırsal değişimi	İnsan kaynaklı değişim hareketlerinin belirlenmesi Nüfus, Tarımsal faaliyetler, Kentsel-Kırsal değişimi	Ormansızlaşma, kır-kent alan değişimleri, Yerleşim alanı gelişimleri, Nüfus, su kaynakları, kirlenme görüntülenmesi, Kar ve buz değişim haritalama, Ürün tahmini, Koruma alanlarının görüntülenmesi
<b>Planlama ölçek büyüklükleri</b>	1:200000 ile 1:100000 Bölgesel planlama, Kırsal gelişim planlaması	1: 200000 ile 1:100000 Bölgesel, kırsal gelişim planlaması 1: 50000 ile 1:25000 Çevre düzeni planları, Koruma planları 1:10000 ile 1:5000 Kent planlama, ekolojik görüntüleme, koruma alanları	1:50000 ile 1:25000 Çevre düzeni planları, Koruma planları	1:10000 ile 1:5000 Kent planlama, ekolojik görüntüleme, koruma alanları	1:50000 ile 1:25000 Çevre düzeni planları, Koruma planları	

Çözünürlük bir görüntüleme sisteminde kayıt edilen detayların ayırt edilebilirlik ölçüsüdür. Uydu görüntüleri için 4 farklı çözünürlük tanımlanmaktadır:

a) Radyometrik Çözünürlük: Elektromanyetik enerji miktarında sahip olunan hassasiyet, radyometrik çözünürlüğü göstermektedir. Bir başka deyişle, bir görüntüleme sisteminin radyometrik çözünürlüğü, enerji farklılıklarını ayırt edebilme yeteneğidir. Bahsedilen enerji farklılıkları ayırt edilmesi mümkün olan gri tonu sayısına karşılık gelir. Aynı bölgeye ait 2-bitlik bir görüntü (Şekil 3.3a) ile 8-bitlik bir görüntü (Şekil 3.3b) karşılaştırıldığında, radyometrik çözünürlükle ilişkili olarak detay ayırt etme seviyesindeki fark göze çarpar (Şekil 3.3) [5].



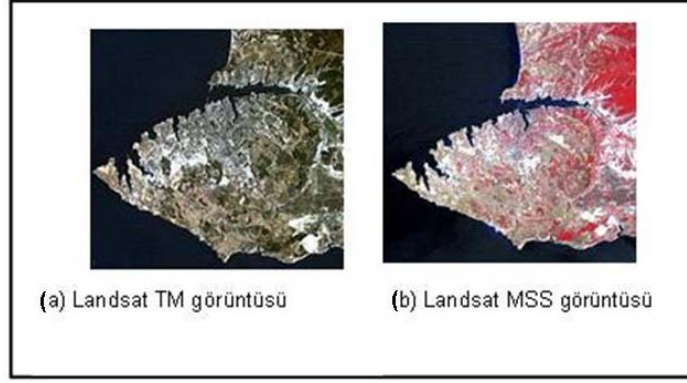


**Şekil 3.3.** Radyometrik çözünürlük. (a) 2 bitlik görüntü ve (b) 8 bitlik görüntü

Değişim analizi uygulanacak iki görüntünün aynı radyometrik çözünürlüğe sahip olması gerekir. Şekil 3.3'teki gibi bir 2 bit görüntü ile bir 8 bit görüntü ile yapılacak bir değişim analizinden anlamsız sonuçlar çıkar. Çünkü 2 bit görüntü 0-3 arasında yansıma değeri alabilirken, 8 bit görüntü 0-255 arasında yansıma değeri alır. Sonuçta her iki görüntüde aynı konuma karşılık gelen ve değişime uğramamış bir piksel, farklı değerlere sahip olacaktır.

b) Spektral Çözünürlük: Algılayıcının duyarlı olduğu dalga boyu aralıkları ile ilgilidir. Spektral çözünürlüğün iyi olması bir bandın algıladığı dalga boyu aralığının dar olduğunu gösterir.

Değişim analizinde kullanılan her iki görüntünün aynı spektral çözünürlüğe sahip olması gerekir. Birbirinden çıkartılacak olan görüntülerin aynı algılayıcının aynı bandı olması gerekir, ya da görüntüler farklı algılayıcılara ait ise, çıkartma işleminde bu algılayıcıların eşdeğer bandlarının kullanılması gerekir. Örneğin; Landsat TM bandları Landsat MSS bandlarına göre daha dar spektral aralıklara sahiptir ve her bir band farklı spektral aralıklarda elektromanyetik enerji kaydeder (Şekil 3.4). İki görüntünün aynı spektral aralıklarda olması, o iki görüntünün elektromanyetik enerjinin aynı dilimi üzerinde karşılaştırılabilmesini sağlar. Aksi halde, farklı dilimlerdeki görüntüler değişime uğramamış bir alanda bile farklı değerlerde görünebilir ve değişim analizinde yanılgılara sebep olabilirler [5].



**Şekil 3.4.** Aynı alana ait (a) Landsat TM ve (b) Landsat MSS görüntülerinin spektral çözünürlüğü

c) Mekansal Çözünürlük: Bir görüntüde fark edilebilir en küçük detay, algılayıcının uzaysal çözünürlüğü ile ilgilidir ve görülebilen en küçük hedef boyutunu tanımlar. Ticari uydular bir metreden kilometrelere varan çözünürlükler sağlamaktadırlar. Sadece çok büyük nesnelerin görülebildiği görüntülerin çözünürlüğü düşük, küçük nesnelerin ayırt edilebildiği görüntüler ise yüksek çözünürlüklüdür.

d) Zamansal Çözünürlük: Zamansal çözünürlük bir uzaktan algılama sisteminin aynı bölgeyi görüntüleme sıklığı ile ilgilidir. Bir bölgedeki spektral karakteristikler zamanla değişebilir ve çok zamanlı görüntü setleri kullanılarak değişim analizi yapılabilir.

Farklı tarihlerde alınmış iki görüntünün güneş ışığının şiddeti ve gölge etkisi gibi etkenlerdeki farklılığı en aza indirmek üzere günün aynı saatinde alınmış olması gerekmektedir. Hatta mümkünse bu verinin yıl dönümlerinde alınmış veriler olması gerekir. Örneğin, 1 Haziran 2001 ve 1 Haziran 2002 gibi. Böylece güneşin mevsimsel konumundan kaynaklanan etkiler giderilmiş olur ve bitki gelişiminin farklı dönemlerde olmasından kaynaklanabilecek olası değişim analizi hatalarının önüne geçilebilir [5].

Değişim analizi ile ilgili yapılacak projelerde, çalışmanın başlangıcında değişimi belirlenecek olan görüntülerdeki zamansal, spektral, uzaysal ve radyometrik çözünürlük özelliklerin uygunluğunun sağlanması gerekir.

Elde edilen iki görüntünün aynı tür algılayıcının aynı bandlarından, farklı yıllara ait görüntünün aynı ayda, aynı günde ve hatta aynı saatte alınması yapılacak çalışmanın hassasiyetinin ve doğruluğunun artmasına neden olacaktır.

Uzaktan algılamada görüntü elde etme üç ana rengin (kırmızı, yeşil, mavi) farklı oranlarda üst üste getirilmesi ile elde edilir. İnsan gözü sadece görünür bölgedeki dalga boylarını algılamaktadır. Optik görüntüler oluşturulurken, sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi bandlara ait görüntüler bilgisayar ekranında görüntülendiğinde doğal renkli görüntü, diğer tüm band kombinasyonlarının görüntülenmesi durumunda ise yapay renkli görüntü elde edilir. Yapay görüntüler, özellikle insan gözünün duyarlı olmadığı bir spektral bölgedeki yansımaya ilişkin bilgi sağlayarak gözün algılamadığının görünür hale getirildiği görüntüler olup bazı uygulama alanları için büyük öneme sahiptirler [5].

### **3.3. Görüntü İyileştirme**

Uzaktan algılamada elde edilen görüntüler her zaman sağlıklı sonuçlar vermeyebilir. Dünyanın geometrik yapısı, yeryüzünün topoğrafik yapısı, elektromanyetik dalga boyunun yeryüzünde ki saçılımları sonucunda yansıma değerinin değişmesi, algılayıcıdan kaynaklanan teknik hatalar vb. nedenlerden dolayı elde edilen görüntüler doğru değerler vermeyebilir. Bu yüzden uzaktan algılama ile veri elde etme işleminde, hatalarında sürece katılması ve veri kalitesinin düşmesi kaçınılmazdır. Bu durum doğal olarak görüntü üzerinde yapılan analizlerin doğruluğunu da etkilemektedir. Bu amaçla daha hassas ve doğru sonuçlara ulaşabilmek için, uydu görüntüsünün analiz edilmeye başlanmadan önce, ön işlemlerden geçirilmesi gerekir.

Uydu görüntülerinin içerdiği hatalar temel olarak iki başlıkta incelenir. Geometrik ve radyometrik iyileştirmelerdir [5].

#### **3.3.1. Geometrik iyileştirme**

Uzaktan algılamada, görüntülerdeki yansıma değerleri, dünyanın küreselliği ve kendi ekseni etrafında dönüşü, uydunun yörüngesindeki sapmalar ve diğer bazı

etkenlerden dolayı yeryüzündeki gerçek harita koordinatlarından sapma gösterir. Bu sapmanın bazı istatistiksel yöntemlerle düzeltilmesi işlemi geometrik düzeltmedir.

Görüntüde meydana gelen hataların giderilmesinde yer kontrol noktalarından yararlanır. Yer kontrol noktaları, raster veriyi tanımlayan projeksiyon veya koordinat sisteminde doğru biçimde konumlandırmaya yarayan noktalardır. Görüntüdeki bir noktanın yer kontrol noktasındaki yeri, görüntüde satır sütun değerleri ve koordinat sistemindeki x,y değerleri olarak yer alır. Yer kontrol noktaları sayesinde görüntüdeki noktaların satır sütun değerleri koordinat değerlerine eşlenir.

Görüntünün haritadaki gerçek koordinatlarına oturtulmasına yani görüntüdeki nokta koordinatlarının yeryüzündeki gerçek koordinatları olarak tanımlanması işlemlerine koordinatlandırma (rektifikasyon), bu işlemin iki görüntünün aynı noktalarını eşleştirme ya da bir görüntüyü diğerine göre düzeltme şekline ise koordinat eşleme (register ya da jeoreferanslama) denir [5].

### **3.3.1.1. Geometrik koordinatlandırma**

Geometrik koordinatlandırma (retrifikasyon), farklı zamana ve coğrafi bilgiye sahip olan görüntülerle yapılan çalışmalarda, görüntülerin düzlemsel hale getirilmesi işlemleridir. Ham haldeki uydu görüntüleri, belli bir projeksiyon veya koordinat sistemine göre yeterli hassasiyette konumlandırılmamıştır. Ayrıca görüntü algılayıcı düzleminin yükselmesi, alçalması, eğilmesi, dünyanın yuvarlaklığı ve arazinin engebeli yapısı gibi sistematik olmayan geometrik hatalar içermektedir. Bu hataların giderilmesinde iki farklı yöntem kullanılır. Bunlar görsel ve yoğunluk yeniden örneklendirme yöntemleridir [6].

İlk yöntem olan görsel yeniden örneklendirmede, girdi olarak tanımlanan uydu görüntüsü üzerinde bulunan piksel (satır ve sütun) değerleri ile bunlara ait harita koordinatları arasında ilişki tanımlanır. Bu yöntemde bu değerlerin birbirine dönüşümleri esnasında bazı hatalar meydana gelir. Bu hatalar matematiksel dönüşüm işlemleri ile giderilebilir.

İkinci yöntem olan yoğunluk yeniden örneklendirmede, geometrik koordinat dönüşümü ile düzenlenen ve harita koordinatlarındaki yeni yerlerine oturtulan (rektifiye edilen) piksellerin yeni yansıma ya da parlaklık değerleri oluşturulur. Bu yöntem uygulanırken başlıca üç örnekleme metodu kullanılır. Bunlar en yakın komşu (Nearest Neighbor), bilinear interpolasyon ve kübik sarmal (Cubic Convolution) metotlarıdır [6].

### **3.3.1.2. Geometrik koordinat eşleme**

Geometrik koordinat eşleme (register ya da jeoreferanslama); bir görüntüdeki elemanların başka bir görüntüdeki elemanlarla geometrik olarak eşleştirilmesidir. Bu yöntem geometrik hassasiyet ve düzeltme istemeyen, iki uydu görüntüsünün karşılaştırılması ya da benzer yerlerinin üst üste getirilmesi işlemlerinde kullanılır. Geometrik koordinatlandırma ile farkı, referans noktaları koordinatlandırmada haritadan, koordinat eşlemede diğer görüntü üzerinden bulunur.

Koordinat eşlemede genelde üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar haritadan görüntüye, GPS yoluyla ve görüntüden görüntüye koordinat eşlemedir.

Haritadan görüntüye koordinat eşleme yöntemi, görüntüde satır ve sütun numaraları ile belirtilen bir noktanın, haritada o noktaya denk gelen ve belirli bir projeksiyon sistemindeki x-y değerleri ile ifade edilen nokta ile ilişkilendirilmesidir [6].

GPS yoluyla ya da bilinen nokta koordinatları ile koordinat eşleme yönteminde, görüntüdeki değerler GPS sistemleri ile araziden toplanan koordinat değerleri ile eşleştirilir. Bu yöntem özellikle haritalanmamış ya da güncel olmayan haritaların kullanıldığı çalışmalarda kullanılır.

Görüntüden görüntüye koordinat eşlemede, aynı alana ait iki görüntü, aynı yüzey elemanlarının her iki görüntüde de aynı konuma gelecek şekilde birbiri ile eşleştirilir. Bu tür geometrik düzeltme işlemi genellikle bir harita projeksiyon sistemine ya da yer koordinatlarına ihtiyaç duyulmadığı durumlarda kullanılır [5].

### **3.3.2. Radyometrik iyileştirme**

Radyometrik iyileştirme, bir görüntüdeki bozukluk, düzensizlik ya da verinin alınması ve/veya kaydı ve veri iletimi esnasında meydana gelen olaylardan dolayı gerekebilir. Bozuklukların ortak yapısı, sistematik kayıplar içermesi ya da band alımı esnasında kaynaklanan kayıplardır. Radyometrik hatalar, algılayıcı sistem hataları ve çevresel kaynaklı hatalar olmak üzere ikiye ayrılır [6].

#### **3.3.2.1 Algılayıcı sistem hataları**

Uydu algılayıcısında bulunan dedektörlerin düzgün çalışmaması, görüntüde radyometrik hataya sebep olur. Dedektörlerin herhangi birinde meydana gelen hata ya da bozulma sonucunda, görüntüdeki piksel değerlerinde de yanlış değer görünür ve bozulma nedeniyle görüntüde siyah alanlar meydana gelir. Çünkü dedektördeki bozulma sonucunda buradaki piksel değeri sıfır olur ve siyah alanlar meydana gelir. Dedektörün düzgün çalışmadığı durumlarda ise bu satırdaki değerler normalden daha yüksek veya daha alçak çıkabilir.

Bazen de hata, dedektörlerin zaman zaman düzensiz çalışması yüzünden görüntü üzerinde rastgele yayılmış olabilir. Algılayıcı sistem hatalarını tamamen gidermek mümkün değildir. Çünkü kaydedilmeyen verinin yerine aslı konamaz. Ancak, bu hatalı piksellerin yeri, komşu satır ve piksel değerlerinin ortalamasını ve/veya diğer bandlarda bu satırlara denk gelen satır değerlerinin ortalamasını kullanan hesaplama yöntemleriyle bulunabilir [5].

#### **3.3.2.2. Çevresel kaynaklı hatalar**

Atmosferik ve topoğrafik hatalar olmak üzere ikiye ayrılır.

Atmosferik hatalar; Elektromanyetik enerji yeryüzüne ulaştıktan ve burada cisimle temas ettikten sonra, yansımaları ve daha sonra algılayıcıya ulaşması safhasında, atmosfer ortamında toz, sis gibi maddelerle etkileşir, emilir ve/veya yansır. Bu yüzden algılayıcıdaki yansıma değerleri de bu etkenlerden dolayı farklı değerlerde görülecektir. Atmosferik hatanın yüksek olduğu durumlarda band

oranlama, sınıflama gibi işlemler sonucu da sağlıklı ve gerçek değerler elde edilemeyecektir. Atmosferik hataların düzeltilmesinde histogram eşlemesi en sık kullanılan metottur [5].

Topoğrafik hatalar; topoğrafik eğim ve bakı durumu, bazı alanlarda piksel değerlerinin olduğundan daha farklı algılanmasına sebep olur. Bu alanlar topoğrafya sebebiyle tamamen göl altında kalmış olabilir ve bu yüzden olduğundan düşük değerlerde yansıma verirler. Topoğrafyadan kaynaklanan radyometrik hataların giderilmesinde band oranlarından elde edilen katsayılara dayanan düzeltme yöntemleri kullanılır. Bir diğer yöntemde çalışma alanının sayısal arazi modeli yardımı ile gölge alanlarını tespit etmektir [7].

### **3.4. Uzaktan Algılamada Değişim Analizi**

Uzaktan algılamada değişim analizi yeryüzünde meydana gelen değişimin, uzaktan algılama verisi kullanılarak sayısal olarak saptanması ve yorumlanmasındaki metotların incelenmesidir.

Yeryüzündeki arazi örtüsü ve arazi kullanımı gerek doğal gerekse yapay etkenlerden dolayı sürekli bir değişim halindedir. Bilginin elde edilmesi ve ileriye dönük tahminler içinde bu değişimin izlenmesi gerekir. Uzaktan algılama yöntemleri ile bilgiye erişim çok kısa bir zamanda ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Yeryüzünde değişim her ölçekte farklı detaylarda ve uzaktan algılamada farklı uydular kullanılarak incelenebilir. Değişimin ayrıntılarının iyi anlaşılabilmesi ve ileriye dönük arazi planlarının yapılması üç farklı düzeyde gerçekleştirilebilir.

- Yerel
- Bölgesel
- Ulusal

Örneğin yerel anlamda bir kentsel alandaki değişim yapı ölçeğinde sağlanırken bölgesel anlamda konut, sanayi, ticaret vb. işlev ölçeğinde, ulusal anlamda da kentsel-kırsal yerleşmeler ile olan ilişki ölçeğinde değişim sağlanabilir.

Uzaktan algılama ile her düzeydeki değişimin sayısal olarak saptanması ve görüntülenmesi söz konusudur. Sayısal değişimin belirlenmesinde kullanılan uydu görüntülerinin;

- Aynı coğrafik alana ait olması,
- Farklı zamanlara ait olması,
- En az iki tane olması gerekir.

Uzaktan algılama ile değişimin izlenmesi klasik yöntemlere kıyasla daha az zaman almakta ve daha az maliyetli olmaktadır. Ayrıca çok büyük alanların çalışılması da rahatlıkla yapılabilmektedir.

Uzaktan algılama ile sürekli bir değişim halinde bulunan tarım alanları, ormanlık alanlar gibi arazi örtüsü; kentsel ve kırsal alanlar gibi arazi kullanım alanlarının tespiti ve sayısal olarak görüntülenmesi sağlanır.

### **3.5. Uzaktan Algılamada Değişim Analizinin Kullanıldığı Alanlar**

Uzaktan algılama ile yeryüzündeki arazi örtüsü ve bu örtü üzerindeki değişim izlenerek kolaylıkla bilgi elde edildiğinden birçok meslek grubunca uygulanmaktadır. Bu nedenden dolayı kullanım alanı oldukça geniştir.

Genelde kullanım alanları;

Kentleşme alanında;

- Kentsel-kırsal yerleşim alanlarının gelişimi (gelişme yönü, büyüme miktarı, alan ve nüfus hesabı, gelişmenin yoğun ya da seyrek olduğu alanların tespiti).
- Planlı-plansız kentleşmenin belirlenmesi (yasal gelişmenin olup olmadığı, kaçak yapılaşmanın belirlenmesi).
- Kent-kır değişimi, (kentsel alana dönüşen kırsal alanların belirlenmesi, göç tahmini).



Tarım ve ormancılık sektöründe;

- Tarım alanlarındaki ürün değişiminin, hasar tespitinin belirlenmesi.
- Kent çeperlerindeki yerleşime açılan tarımsal arazilerin tespiti ve yasal çerçevede izlenmesi, bu arazilerin büyüklüklerinin belirlenmesi.
- Arazi ve arazi örtüsü kullanımının belirlenmesi.
- Ormanlık arazilerin değişiminin belirlenmesi (ormansızlaşmanın, ağaçlandırma çalışmalarının takibi, yangın sonucu tahrip olan alanların belirlenmesi).

Hidrolojik ve jeolojik konularda;

- Jeoloji haritalarının hazırlanması.
- Deniz, göl ve akarsu kirliliğinin belirlenmesi.
- Deniz yüzeyi sıcaklık dağılımının belirlenmesi.
- Kar dağılımını ve miktarını belirleme ve erime miktarı tespiti.
- Sel sonucu alanların incelenmesi.
- Toprak kayması sonucu alanların incelenmesi.
- Deprem sonrası zarar gören alanların tespiti.

### **3.6. Uzaktan Algılamada Değişim Analizi Teknikleri**

Uzaktan algılamada sık kullanılan değişim analizi teknikleri;

- Görsel yorumlama
- Görüntü yorumlama teknikleri (Aritmetik işlemler)
  - Görüntü çıkarma
  - Görüntü oranlama
  - Bitki indeksleri
- Sınıflandırma
  - Eğitilmiş (Kontrollü) sınıflandırma
  - Eğitimsiz (KontROLSÜZ) sınıflandırma
- Temel bileşenler analizi
- Değişim vektör analizi

### 3.6.1. Görsel yorumlama

Değişim analizlerinde en sık kullanılan tekniktir. Genelde diğer değişim analizleri ile beraberce kullanılabilir. Genelde yüksek çözünürlüklü algılayıcılar ile yapılan çalışmalarda kullanılır.

Görsel yorumlamada, kullanıcı, bilgisayar ortamında ya da başka sayısal olmayan bir ortamda iki farklı tarihli görüntüyü çıplak gözle ayrı ayrı kıyaslayarak ya da birbiri üstüne çakıştırarak yorum yapar. Ayrı ayrı kıyaslamada farklı tarihlerde alınan iki görüntü bilgisayar ortamında yan yana getirilir. Görsel olarak her iki görüntü kıyaslanarak değişikliğe uğramış olan alanlar işaretlenir. Üst üste çakıştırmada ise her iki görüntü farklı renklendirilerek üst üste getirilir, değişimin görüldüğü alanlar da farklı renklendirilir [8].

Görsel yorumlama tek başına bir araştırmada kullanılabildiği gibi yapılan bir tekniğin son aşamasında kontrol amacıyla da kullanılabilir.

### 3.6.2. Görüntü yorumlama teknikleri (Aritmetik işlemler)

Görüntü algoritmaları görüntüler üzerinde yapılan matematiksel işlemlerden oluşmaktadır. Uzaktan algılamadaki uydu, uçak, radar gibi çeşitli algılayıcılardan elde edilen görüntüler raster veri formatındadır. Bu yüzden yapılacak görüntü algoritmalarındaki matematiksel işlemlerde piksellerin yansıma değerleri kullanılır. Bilgisayarda görüntülenen piksel değerleri 0-255 arasındadır.

Görüntü algoritma işlemleri;

- Görüntü çıkarma,
- Görüntü oranlama,
- Bitki indeksleridir.

**a) Görüntü Çıkarma:** Farklı tarihlerde alınan aynı coğrafik alana ait iki görüntünün sahip olduğu her bir pikselin yansıma değerlerinin birbirinden çıkarılması işlemidir [8].

Çıkarma işleminin matematiksel tanımı;

$$BV_{ij(\text{değişim})} = BV_{ij(1)} - BV_{ij(2)} + C \quad (3.1)$$

$BV_{ij(\text{değişim})}$ : Değişim görüntüsünün j'ninci sütundaki i'ninci satırdaki pikselin yansıma değeri.

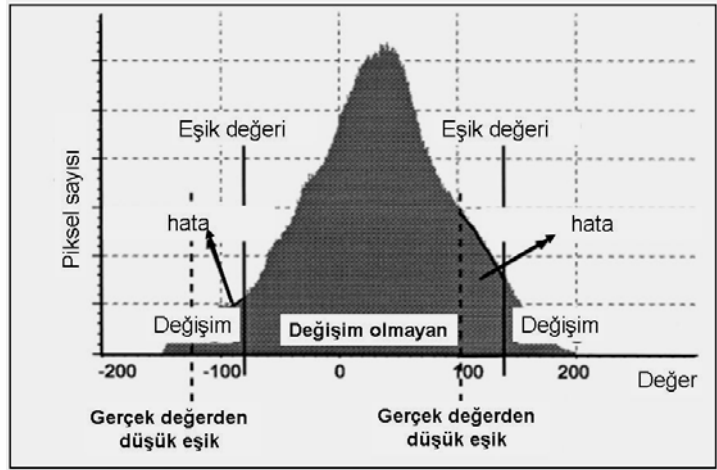
$BV_{ij(1)}$  : İlk tarihli görüntünün j'ninci sütundaki i'ninci satırdaki pikselin yansıma değeri.

$BV_{ij(2)}$  : İkinci tarihli görüntünün j'ninci sütundaki i'ninci satırdaki pikselin yansıma değeri.

C : Elde edilecek değerin daima pozitif çıkması için kullanılan sabit sayı.

Elde edilen değişim görüntüsündeki piksel yansıma değerleri sıfır ve sıfıra yakın ise değişim olmayan alanlar, sıfırdan farklı ise değişim olan alanlar olarak ifade edilir.

Görüntü çıkarmada dikkat edilmesi gereken en önemli konu eşik değerlerinin belirlenmesidir. Eşik değeri elde edilen değişim görüntüsündeki piksel yansıma değerlerinin göz önünde bulundurularak, değişim olan ve olmayan alanların hangi piksel değerinden sonra, ya da önce olacağını belirlenmesidir (Şekil 3.5). Eşik değerinin belirlenmesi diğer görüntü algoritma teknikleri için de önemlidir. Bu değerin belirlenmesi kullanıcıya bağlıdır. Kullanıcı bu değeri belirlerken o coğrafik alanın özelliklerine (tür, büyüklük vb.) bakar. Kullanıcı bu değeri birkaç kez deneyerek ya da bazı standart değerleri kullanarak belirleyebilir [8]. Şekil 3.5'te grafiğin yatayında piksel değerleri, düşeyinde piksel sayısı bulunmaktadır. Dikeyde siyah renkli çizgiler (Actual threshold) olması gereken (doğru) eşik değerini, kesikli siyah renkli çizgiler ise belirlenen ancak yanlış olan eşik değerini göstermektedir. Bu iki sınır (değer) arasında kalan alanlar ise hatalı olarak hesaplanan piksel değerleridir. Aslında görüntüde değişmeyen alanlar görüntü çıkarma işlemindeki hata sonucu değişen alan olarak görülmektedir [9].



**Şekil 3.5.** Eşik değerinin gösterimi

**b) Görüntü Oranlama:** Görüntü oranlama, görüntü çıkarma tekniğine benzer. Yine bu teknikte de her bir piksel yansıma değerleri kullanılır, değerlerin birbirine bölünmesi ile elde edilir.

Bölme işleminin matematiksel tanımı;

$$BV_{ij}(\text{Değişim}) = BV_{ij(1)} / BV_{ij(2)} \quad (3.2)$$

$BV_{ij}(\text{değişim})$  : Değişim görüntüsünün j'ninci sütundaki i'ninci satırdaki pikselin yansıma değeri.

$BV_{ij(1)}$  : İlk tarihli görüntünün j'ninci sütundaki i'ninci satırdaki pikselin yansıma değeri.

$BV_{ij(2)}$  : İkinci tarihli görüntünün j'ninci sütundaki i'ninci satırdaki pikselin yansıma değeri.

Değişim görüntüsündeki piksel yansıma değerleri 1'e eşit ya da çok yakın ise değişimin olmadığını gösterir.

Görüntü oranlamada da çıkarmada olduğu gibi değişen ve değişmeyen alanların tespiti için eşik değerlerinin belirlenmesi gerekir. Görüntü çıkarmadan en önemli farkı bulutlanma, gölgeleme gibi çevresel etkileri en aza indirger [8].

c) **Bitki İndeksleri:** Bitki indeksleri birden çok banda uygulanan algoritmalarıdır. Genelde kullanım alanları bitki varlığı, yoğunluğu, türü, fotosentez miktarının saptanması gibi arazi örtüsü ve arazi kullanımı ile ilgili çalışmalara yöneliktir. Uzaktan algılamanın yeryüzündeki doğal kaynakların ortaya konması konusundaki geniş uygulamaları, bitki örtüsü ve ürünlerle ilgili olduğundan, bitki indeksi teknikleri değişim analizi tekniklerinden en sık kullanılanıdır.

Bitki örtüsünün saptanması ile aynı zamanda kentsel yerleşim alanları çevresindeki arazi kullanımı değişimi belirlenebilir. Böylece kent çevresindeki tarım arazilerinin ne kadarının kentsel alana açıldığının ve yasal olarak mı açıldığının tespiti yapılabilir [10].

Genelde en sık kullanılan bitki indeksi (Normalized difference vegetation index) NDVI'dir. Bu indeks ile yapılan çalışmada iki band kullanılır. Bu bandlar bitki varlığına dair özellikler içeren kırmızı ve kızıl ötesi bandlardır. Bu bandlarla yapılan matematiksel işlemler sonucu elde edilen değişim görüntüsünde bitkilerin bulunduğu alanlar baskın biçimde görünür hale gelmektedir.

Matematiksel tanımı;

$$NDVI = \frac{TM_4 - TM_3}{TM_4 + TM_3} \quad (3.3)$$

veya

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3.4)$$

Burada NDVI; Landsat TM kırmızı bandı (TM<sub>3</sub> ya da RED), yakın kızılötesi (TM<sub>4</sub> ya da NIR) bandından çıkarılarak ve sonucun iki bandın toplamına bölünerek elde edilir. Bu işlem her bir banttaki her bir piksel değeri için yapılır.

Kızılötesi bant (NIR) klorofille dolayısıyla yeşil bitkilere duyarlılık gösteren banttır. Yeşil bitkilerin bulunduğu alanlar bu bandta yüksek değerler alacaktır.

Kırmızı (RED) band ise bunun aksine yeşil bitkilere duyarsızdır. Yeşil renk bu band aralığında çok az miktarda enerji yansıtır. Bu sebeple bitkilerin bulunduğu alanlar düşük değerler gösterir.

Elde edilen görüntü, iki tek bandtan elde edildiği için siyah – beyazdır. Piksel değerlerinin yüksek olması yani görüntüde beyaz ve beyaza yakın renklerin görünmesi bitki varlığının yoğun olduğu alanların olduğunu gösterir. Piksel değerlerinin düşük olması, yani görüntüde koyu tonlarda renklerin görünmesi bitki varlığının az olduğu ya da hiç olmadığı alanların olduğunu gösterir [7].

### 3.6.3. Sınıflandırma

Genel olarak sınıflandırma, bir veri grubu içinde belirli bir sınıf oluşturan cisimlerin benzerliğinden yola çıkarak ve özelliklerine göre seçilerek gruplandırılması olarak tanımlanabilir. Bu işlemde, bir cisim kümesi içinde benzer cisimlerin homojen sınıfları oluşturması veya verilen cismin özelliğinden yola çıkarak birçok veya daha önceden tanımlanmış sınıfların oluşturulmasının matematik ve istatistik yöntemlerle gerçekleştirilmesidir [11].

Sınıflandırma işleminin amacı; çalışılan cisimdeki sınıflara yönelik olarak görüntüye ilişkin pikselleri gruplamaktır. Böylelikle sayısal ortamda bulunan uydu görüntülerinden sınıflandırılmış bir raster veri elde edilir. Ham veri olarak adlandırılan uydu görüntülerindeki piksel yansıma değerlerinden bilgi elde edilir.

Sınıflandırmada birden çok band kullanılır, bu bandlar üst üste geldiğinde aynı konumda bulunan hücrelerin piksel değerleri, o hücrelerin “spektral modelini” belirler. Çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılarak hücrelerin spektral modellerini birbiri ile karşılaştırır, benzer spektral özellikleri içinde toplayan sınıflar oluşturur ve her bir hücreyi spektral olarak en yakın olduğu sınıfa atar. Bu sınıflar daha sonra kullanıcı tarafından incelenip analiz edilerek her bir spektral sınıfın yeryüzünde temsil ettiği sınıf belirlenir [5].

Sınıflandırmada genelde kullanılan iki metot vardır. Bunlar eğitilmiş (kontrollü) ve eğitimsiz (kontrolsüz) sınıflandırmadır.

**a) Eğitilmiş Sınıflandırma:** Eğitilmiş sınıflandırma, çalışma alanının arazi örtüsü ve arazi kullanımı hakkında verilen ön bilgileri kullanarak sınıflandırma için gerekli istatistiksel temeli oluşturur ve sınıflandırmayı bu temel üzerine kurar.

Eğitimli sınıflandırmada bilgisayarda otomatik sınıflandırmaya geçmeden önce arazinin kaç farklı sınıfa ayrılacağının ve neler olacağının belirlendiği bir sınıflandırma yapılması gerekir.

Bilgisayarda otomatik olarak yapılan sınıflandırma için her bir konulu sınıfın gerçekten temsil ettiğine inanılan pikseller seçilir. Seçilen pikseller istatistiksel (ortalama, standart sapma, kovaryans matrisi vb.) olarak incelenir ve her bir piksel kendisine en yakın istatistiksel özellikleri gösteren sınıfa atanır. Elde edilen görüntüde her bir sınıf farklı bir renkte tanımlanır [5].

Eğitimli sınıflandırmada yardımcı verilerden yararlanılması sınıflandırma sonucunun hassasiyetini artırır. Kullanılan yardımcı veriler (arazi kullanımı, topoğrafik harita, eğim, bakı analizleri vb.) sınıflandırma öncesinde ve sınıflandırma sürecinde analiz edilerek otomatik sınıflandırmanın sonucunu değiştirebilir [12].

**b) Eğitimsiz sınıflandırma:** Eğitimsiz sınıflandırmada çalışma alanı ile ilgili ön bilgi gerekmemektedir. Kullanıcı sadece bazı parametreleri belirlemek gibi programa az sayıda bilgi girer.

Eğitimsiz sınıflandırma spektral modellerin oluşturduğu istatistik gruplara dayanarak yapılır. Spektral modellerden yola çıkararak, tüm görüntünün sınıflandırılması için kullanılan metoda göre kullanıcıdan bazı parametreler istenebilir. Bu parametreler en yüksek sınıf sayısı, yarıçap mesafesi, spektral uzay mesafesi, sınıfların birleştirilmesi aşamasında değerlendirilecek piksel adedi gibi parametrelerdir. Hücrelerin spektral modellerine göre spektral sınıflar oluşturulur. Her bir hücre bu sınıflardan hangisine yakın özellikler gösteriyorsa ona atanır. Eğitimsiz sınıflandırma sonucunda görüntü belli sayıda sınıflara ayrılır, ancak bu sınıfların yeryüzünde hangi konulu sınıfı temsil ettiği veya bir sınıfı gerçekten temsil edip etmediği bilinmemektedir. Bu sınıfların karşılık gelebileceği konulu sınıflar ancak alana ait diğer verilerin değerlendirilmesi ile ya da arazi çalışması sonrasında tespit edilebilir [5].

Eğitimli ve eğitimsiz sınıflandırma işlemleri otomatik olarak ve kısa sürede yapılması bakımından avantajlı görünmektedir ve genelde değişim analizi tekniklerinde en çok tercih edilen iki tekniktir. Ancak sınıflandırma sonuçları bazı sebeplerden dolayı birçok hatayı barındırır ve elde edilen sonuç hiçbir zaman bir

son ürün olarak kullanılmamalıdır. Bu hatalar, yeryüzündeki cismin yansıma değerlerinin atmosferik, topoğrafik vb. çevresel etkilerden dolayı algılayıcılarda hatalı belirlenmesinden kaynaklanır. Bir diğer sebep ise, farklı cisimlerin aynı veya benzer spektral özellikler göstermesinden kaynaklanır. Örneğin, doğal bitki örtüsü henüz yeşil iken tarım alanları ile benzer spektral özellikler gösterebilir. Bu da farklı konulu sınıflara ait oldukları halde bu cisimlerin aynı spektral sınıfa atanmasına sebep olur.

Çevresel etkilerden kaynaklanan hatalar görüntü düzeltme yöntemleri ile düzeltilebilir. Ancak diğer nedenden dolayı, sınıflandırma sonuçlarını iyileştirmek için, doğru kabul edilen bir referans veri ile (arazi kullanımı, fotoğrafı vb.) karşılaştırılması gerekir. Sınıflandırmanın ne kadar doğru olduğu ise, bilgisayar tarafından otomatik sınıflandırma sonucu yaptığı doğruluk analizi ile belirlenebilir. Sınıflandırma sonucunun bir son ürün olarak kullanılması için kabul edilebilir doğruluk oranı en az %70'tir [13].

Sınıflandırma metodu ile değişim analizinin uygulanması iki şekilde olur. İlk olarak sınıflandırma yapılmış iki görüntü görsel olarak yorumlanır. İkinci uygulamada ise, sınıflandırılan görüntüler tekrar sınıflandırılır. İkinci kez yapılan sınıflandırmada alan büyüklükleri hakkında bilgi edinilebilir. Aynı zamanda bir değişim matrisi elde edilir. Sınıflandırmanın diğer değişim analizi tekniklerine göre en önemli farkı değişim matrisinin oluşturulmasıdır. Değişim matrisi, ilk tarihli görüntüdeki her bir sınıftaki her bir piksel değerinin son tarihli görüntüde hangi sınıfa ve piksel değerine denk geldiğinin gösterimidir. Örneğin ilk tarihli görüntüde bir tarım alanının son tarihli görüntüde hangi alana dönüştüğü ve miktarlarındaki değişimi görülebilir [12].

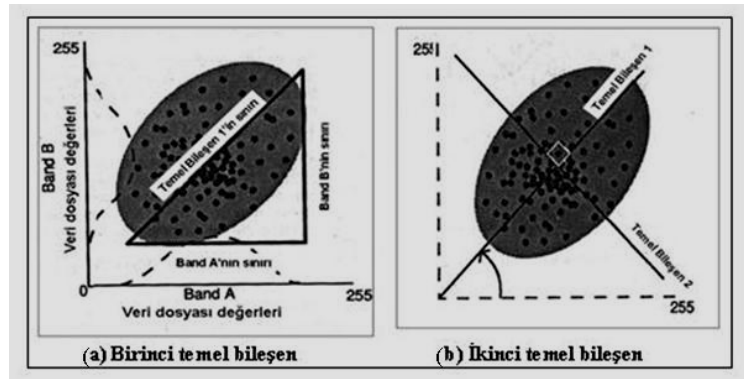
#### **3.6.4. Temel bileşenler analizi**

Temel bileşenler analizi birden fazla band üzerinde gerçekleştirilen bir analizdir. Birden fazla bandın temel bileşenler istatistik metodu ile işlemden geçirilmesi sonucunda orijinal görüntülerden daha zengin görüntü ya da görüntüler elde edilir [5].



Temel bileşenler analizi birbiri ile ilişkisi yüksek bandlar arasında uygulanır. Örneğin; Landsat TM 1,2,3 bandları ve Landsat TM 5,7 bandları kendi aralarında ilişkisi yüksek olan bandlardır. Bandlar arasındaki ilişkinin yüksek olması istatistiksel benzerlik ve veri tekrarı anlamına gelmektedir. İlişkinin zayıflığı ise verilerin farklı istatistiksel özelliklerde ve farklı içeriklerde olduğunu gösterir [5].

Temel bileşenler analizi için öncelikle birbiri ile ilişkisi yüksek olan bandların bir dönüşüm işleminden geçirilmesi gerekmektedir. İlişkisi yüksek olan bandlardan temel bileşenin bulunması için bazı istatistiksel dönüşüm modellerinden faydalanılır. Bu istatistiksel işlemler, bandlardaki piksel değerlerin kovaryans – varyans ile ilişki matrislerinin oluşturulması ve bunların sonucundan da “eigen değerleri” ve “eigen vektörleri”nin oluşturularak temel bileşen (PC) değerlerinin bulunmasıdır. İki bandın piksel değerlerinin üç boyutlu dağılımını gösteren pilot grafiğinde oluşan elips alanının ortasından geçen doğru, birinci temel bileşen olarak kabul edilir (Şekil 3.6a). Bu doğruya dik olana ikinci temel bileşen denir (Şekil 3.6b).



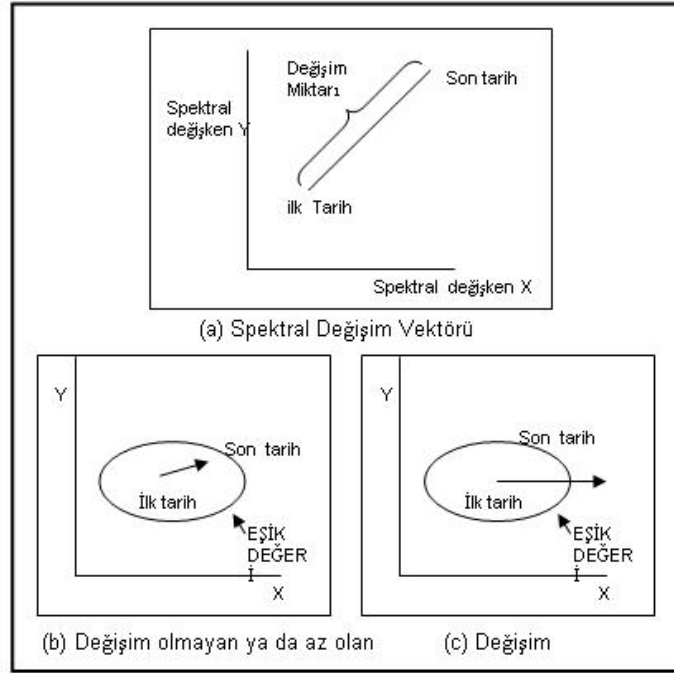
Şekil 3.6. Temel bileşenler pilot grafiği. (a) Birinci temel bileşen ve (b) İkinci temel bileşen

PC1 olarak adlandırılan (Şekil 3.6a) birinci temel bileşenin içinde çalışmada kullanılan bandlardaki (Band A – Band B) birbirine benzeyen yansıma değerleri bulunur. PC2 olarak adlandırılan (Şekil 3.6b) ikinci temel bileşende ise birinci bileşene dik bir yönde olup birinci bileşenden artan diğer yansıma değerleri bulunur [14].

Temel bileşenler analizi ile birden fazla bandta bulunan bilgileri tek görüntüde bir araya getirerek yorumlama işlemi için daha zengin ve yoğun içerikli yeni bir görüntü elde edilebilir. Birden fazla görüntüyü tek bir bileşende toplarken veri kaybını en düşük düzeyde tutmaktadır [14].

### 3.6.5. Değişim vektör analizi

Değişim vektör analizi spektral değişim vektörü üretir. Bu vektör ilk tarihli görüntüden son tarihli görüntüye olan değişimin yönünü ve büyüklüğünü bulur veya tanımlar (Şekil 3.7a). İlk tarihli görüntüden son tarihli görüntüye bir spektral vektör çizilir. Değişim olan ve olmayan alanların belirlenmesi için bir eşik değeri belirlenir. Spektral vektör üzerinde eşik değerine karşılık gelecek bir elips çizilir. Bu elips şeklindeki sınırın içindeki alan değişim olmayan (Şekil 3.7b), dışta kalan alan ise değişim olan alandır (Şekil 3.7c) [5].



**Şekil 3.7.** Değişim vektör analizi. (a) Spektral değişim vektörü, (b) Değişim olmayan ya da az olan ve (c) Değişim

## 4. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde ilk olarak değişim analizi teknikleri kullanılarak ve veri olarak uydu görüntüleri kullanılarak yapılan örnek çalışmalar yer almaktadır. Bu bölümde yapılan çalışmalarda hangi tür değişim analizi tekniği kullanıldığı, çalışma alanının neresi olduğu, kullanılan verilerin neler olduğu ve sonuçlar hakkında bilgiler verilmektedir.

İkinci bölümde ise, kentsel alanların değişimlerinin belirlendiği ve Landsat uydu görüntülerinin kullanıldığı örnek çalışmalar yer almaktadır. Bu bölümde ayrıca yapılan çalışmalarda Landsat uydu verilerinden hangi tür bandların kullanıldığı ve elde edilen görüntülerin sağlıklı olup olmadığı hakkında yorumlarda yer almaktadır.

### 4.1. Değişim Analizi Teknikleri ile İlgili Örnek Çalışmalar

Değişim analizi teknikleri ve veri olarak uydu görüntüleri kullanılarak yapılan örnek çalışmalar;

Arizona eyaleti Tucson şehrinin arazi örtüsünün değişiminin belirlendiği çalışmada, yöntem olarak eğitilmiş ve eğitimsiz sınıflandırma teknikleri kullanılmış ve sonuçta her iki sınıflandırmanın sonuçları kıyaslanmıştır. 1994 ve 1998 yıllarına ait Landsat TM görüntüleri kullanılmıştır. Her iki görüntü aynı aya hatta aynı saate aittir. Çalışma sonrasında değişim matrisi oluşturulmuştur. Sınıflandırma sonucunda bazı piksellerin işleme katılmadığı tespit edilmiş bu yüzden her bir sınıflandırmadan önce görüntülerin “Maksimum Filtreleme” yapılması gerektiği tavsiye edilmiştir [15].

Volta havzasındaki arazi kullanımının değişimi görüntülenmiştir. Ocak 1990 ve Şubat 2000 tarihli Landsat TM görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında tüm havzanın arazi kullanımının değişiminin belirlendiği eğitilmiş sınıflandırmanın en yakın komşu örnekleme algoritması kullanılmıştır. İkinci aşamasında havzanın çeşitli bölümleri ayrı ayrı incelenerek ve her birine ayrı analiz tekniği uygulanarak değişimi belirlenmiştir. Bu amaçla Landsat TM verisi ile beraber NOAA görüntüleri de kullanılmıştır. Havzadaki yerleşmelerin

gelişimlerinin incelenmesinde sınıflandırma, ormansızlaşmanın belirlenmesinde Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bitki indeksi kullanılmıştır [16].

Kenya’da bir kentsel yerleşim alanının kent çeperindeki gecekondu alanlarının belirlenmesi amacıyla sınıflandırma tekniği kullanılmıştır. 1985, 1993 ve 2004 yıllarına ait hava fotoğrafları kullanılmıştır. Sınıflandırma sonucu görsel yorumlama tekniği ile yeni yapılaşan alanlar tespit edilmiştir [17].

Essex, Massachusetts yerleşim alanındaki değişimin görüntülenmesinde üç değişim analizi kullanılarak en doğru tekniğin hangisi olduğu belirlenmiştir. Kullanılan analiz teknikleri çok tarihli görsel birleştirme, görüntü farklılaştırma ve sınıflandırmadır. Her üç teknik içinde Eylül 1990 ve Ağustos 2001 yıllarına ait Landsat TM görüntüleri kullanılmıştır. Çok tarihli görsel birleştirme tekniğinde Landsat TM band 4 kullanılmıştır. 1990 yılına ait görüntü kırmızı ve mavi tabakaya, 2001 yılı band 4 görüntüsü yeşil tabakaya yerleştirilmiştir. Bant çıkarmada ise dört band (1,2,3,4) kullanılmıştır [18].

Traverse, Michigan yerleşiminin arazi kullanım değişiminin görüntülenmesi ile ilgili çalışmada iki değişim analizi tekniği kullanmıştır. İlk olarak sınıflandırma yapılmış ve sınıflandırma sonucu elde edilen görüntüler çıkarılmıştır. Ağustos 1993 ve Temmuz 1999 Landsat TM görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler renkli kompozit olarak sınıflandırılmıştır. Seçilen bandlar 7,4,2’dir. Eğitimsiz ve eğitilmiş sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırmada, sınıfların belirlenmesinde United States Geological Survey (USGS) Level II sınıfları kullanılmıştır [6]. Sınıflandırma sonucu elde edilen görüntüler çıkartılarak değişim görüntüsü elde edilmiştir. Sonuçta bir kentsel gelişimin belirlenmesinde bu iki sınıflandırmanın yeterli olacağı belirtilmiştir [19].

Band oranlama tekniği kullanılarak ekolojik değişim görüntülenmiştir. Landsat MSS 5 ve 7 bandları kullanılarak görüntü karşılaştırma, oranlama ve bitki indeksi analiz teknikleri kullanılmıştır. Sonuçta karşılaştırma analiz tekniğinde kullanılan band 5 görüntüleri kentsel aktiviteleri, orantılamada band 7 büyük çaplı değişimleri ve bitki indeksi de bitkileşme değişimi ve kentsel alanların sınırlarının ve anayolların belirlenmesinde iyi olduğu belirtilmiştir [20].

## 4.2. Konu ile İlgili Örnek Çalışmalar

Kentsel alan ve arazi kullanımının değişimi ile ilgili yapılan ve veri türü olarak Landsat uydu görüntüleri kullanılan örnek çalışmalar;

Traverse şehrine ait kentsel alanın değişimi incelenmiştir. Ağustos 1993 (Landsat 5) ve Temmuz 1999 (Landsat 7) yıllarına ait Landsat görüntüleri kullanılarak eğitilmiş sınıflandırma ile değişim görüntüsü elde edilmiştir. Her bir görüntü ayrı ayrı sınıflandırılmıştır. Eğitilmiş sınıflandırma öncesinde üç farklı algoritma test edilmiş (Linear Discriminant, Quadratic Discriminant ve Minimum Euclidean Distance) ve en iyi doğruluk değerinin elde edildiği Quadratic Discriminant algoritması kullanılmıştır. Sonuçta değişim görüntüsü ile değişim matrisi elde edilmiştir. Bu matriste 1993 ve 1999 yıllarına ait değişimin belirlendiği piksel sayıları yer almaktadır. Bu piksel sayılarından değişimi olan alanların büyüklükleri elde edilmiştir [19].

Arizona eyaleti Tucson şehrine ait arazi kullanım değişimi belirlenmiştir. Önceden boş olan arazinin daha sonra kentsel alana dönüşümü incelenmiştir. Bu amaçla Mayıs 1984 ve Mayıs 1998 Landsat TM görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler yalancı renklendirme (RGB/432) yapıldıktan sonra değişim görüntüsü elde edilmiştir. Sonuçta her bir görüntüye ait arazi kullanım büyüklükleri grafiksel olarak anlatılmıştır [21].

Born, Ouagadougou kasabasına ait kırsal bir yerleşim alanının değişimi belirlenmiştir. Aralık 1984 ve Ekim 1999 tarihli Landsat görüntüleri kullanılmıştır. Her iki görüntü contextual sınıflama metodu ile sınıflandırılmıştır. Sonuçta sadece yerleşim alanına ait piksel değerlerine göre alansal büyüklük elde edilmiş ve 15 yıldaki alansal değişim grafiksel olarak ifade edilmiştir [16].

Connecticut, Salmon nehri havzasındaki arazi kullanım değişimi belirlenmiştir. Çalışmada birden çok tarihli Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan veriler 1973 MSS, 1976 MSS, 1981 MSS, 1983 MSS, 1985 TM, 1988 TM, 1993 TM ve 1995 TM görüntüleridir. Çalışmada amaç ormanlık alanlardan kentsel alana dönüşmüş olan alanları ve alan büyüklüğünü belirlemek olduğundan eğitimsiz sınıflandırma yapılarak sınıf sayısı az tutulmuştur (kent, tarım, orman, su, ıslak alan ve çorak alan). Her bir görüntü

yalancı renklendirilerek sınıflandırma yapılmıştır. Elde edilen sınıflandırılmış görüntülerden alansal olarak elde edilen değerler tablosal olarak ifade edilmiştir. Ancak çalışmada Landsat MSS görüntülerinin mekansal çözünürlükleri çok düşük olduğundan renklendirme sonucunda, görüntülerin yorumlanmasında zorlanılmıştır [22].

Massachusetts, Essex County'da kentsel değişim analizi yapılmıştır. Eylül 1990 ve Ağustos 2001 tarihli Landsat TM verileri kullanılmıştır. Çalışmada üç farklı yöntem kullanılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Yöntemler, multi-date visual composite, image differencing ve post-classification metotlarıdır. İlk metotta Eylül 1990 tarihli Landsat TM 4 bandı kırmızı ve mavi tabakaya, Ağustos 2001 tarihli Landsat TM 4 bandı yeşil tabakaya yerleştirilmiştir. Elde edilen siyah beyaz görüntüde gri renkli alanlar değişim olmayan alanları ifade etmektedir. Ancak bu teknik ile sayılabilir bir sonucun elde edilemeyeceği ancak görsel değişimin belirlenebileceği ifade edilmiştir. İkinci metotta (görüntü çıkarma) her iki görüntünün de 1,2,3,4 bandları kullanılarak değişim görüntüsü elde edilmiştir. Son metot da (post classification) her iki görüntü ayrı sınıflandırılarak elde edilen görüntülerden değişim görüntüsü elde etmiştir. Bu metotla aynı zamanda değişim matrisi de elde edilmiştir [12].

Minnesota, İkiz şehir metropol alanındaki 7 tane yerleşim alanının değişimi incelenmiştir. Kullanılan veriler 1986, 1991, 1998 yıllarına ait Landsat 5 TM ve 2002 Landsat 7 ETM görüntüleridir. Verilerin her biri ayrı sınıflandırılarak post classification yöntemi kullanılmış ve değişim analizi uygulanmıştır. Değişim görüntüleri ve elde edilen değişim matrisleri ikişer yıl olarak alınmış ve incelenmiştir. Sonuçta elde edilen değişim görüntülerinden ve doğruluk analizlerinden sağlıklı sonuçlar elde edildiği ifade edilmiştir [23].

#### **4.3. Değişim Analizi Tekniklerinin Kıyaslanması**

Değişim analiz tekniklerinin belirlenmesi yapılacak proje çalışmasına bağlıdır. Belirlemede dikkat edilecek hususlar;

- Çalışma alanının fiziksel, kültürel, sosyal özellikleri,

- Kullanılacak verinin türü (uydu görüntüsünün çeşidi, hava fotoğrafı vb.),
- Değişimi belirlenecek görüntülerin çözünürlük özellikleri,
- Görüntülerin tarihleri,
- Kullanıcının bilgi düzeyi,
- Kullanılacak yazılım - donanım özellikleridir.

Analiz tekniklerinin birbirlerine göre getiri ve götürüleri vardır. Bir değişim analizi tekniği her çalışmada diğerine göre daha üstündür denilemez.

Yapılan bir projede kullanılan tekniğin en uygununun belirlenmesinde ise, doğruluk analizleri kullanılır. Doğruluk analizleri birden fazla olmakla birlikte, istatistik hesaplamalara dayanmaktadır.

Örnek çalışmalardan elde edilen bilgilere göre;

- Sınıflandırma tekniğinin, yüksek çözünürlüklü (IKONOS, hava fotoğrafı) görüntülerde kullanımına gerek yoktur. Diğer tekniklere göre, değişimin alansal büyüklüğü yıllara göre belirlenebilir.
- Görsel yorumlama ile yapılan çalışmalarda nicel sonuçlar elde edilemez.
- Algoritmalar farklı tarihli görüntülerin aynı bantları için yapılır.
- Temel bileşenler analizi diğer tekniklere göre daha karmaşıktır, buna uygun yazılım programının seçilmesi gerekir.
- Algoritmalarda oranlama, çıkarmaya göre bulutlanma, gölgelenme gibi etkileri azaltır.
- Değişim vektör analizi ve temel bileşenler analizi diğer tekniklere göre en az kullanılan tekniktir.

## 5. ÇALIŞMADA KULLANILAN VERİLER VE YAZILIM

Bu bölümde çalışmada kullanılan veriler ve bu verilerle ilgili iyileştirme ve analiz çalışmalarının yapıldığı yazılım hakkında bilgiler yer almaktadır.

### 5.1. Kullanılan Uzaktan Algılama Verileri

Çalışmada kullanılan veriler Eylül 1987 tarihli Landsat 5 TM ve Eylül 1999 tarihli Landsat 7 ETM görüntüleridir. Kullanılan veriler çalışmanın amacına, çalışma alanının büyüklüğüne ve verinin elde edilme şekline göre belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan Landsat uyduların yörünge koordinatları 179/36'dır.

Uydu görüntülerinin aynı ay olmasına veri seçiminde özen gösterilmiştir. Uydu görüntüsünün tarihi, görüntünün yeryüzünden kaydedildiği anın tarihidir. Özellikle değişim analizi ile ilgili çalışmalarda farklı yıllara ait aynı aya sahip tarihli görüntüler olmasına dikkat edilmelidir. Çünkü mevsimsel değişiklikler ve buna bağlı bitki örtüsünün değişimi sınıflandırmayı etkileyecektir.

İlk Landsat uydusunun 1972 yılında uzaya gönderilmesinden sonra 4 adet Landsat uydusu daha yörüngeye oturtulmuştur. İlk kuşak 3 uydudan oluşmaktadır. Bu uydular iki alıcı taşımaktadır. Return Beam Vidicon (RBV) kamera ve Multispectral Scanner (MSS). RBV kamera ile yaşanan teknik sorunlar, MSS'in spektral ve radyometrik üstünlüğü nedeniyle RBV nadiren kullanılır.

İkinci kuşak Landsat uyduları, 1982'de Landsat 4 ile başlayarak, RBV yerine Thematic Mapper (TM) adında yeni bir cihazla donatılmışlardır. 1993 yılında, Landsat 6 şansız bir şekilde düştükten sonra Landsat 7, geliştirilmiş Thematic Mapper ve yüksek çözünürlüklü tarayıcı ile donatılarak Mart 1999'da fırlatılmıştır [24].

Landsat 5 TM görüntü çözünürlüğü yani görüntüdeki piksel boyutu 30x30m'dir. Landsat 5 TM, 7 spektral banda sahiptir ve yalnız 6. band 120x120m çözünürlüklüdür. Termal kızılötesi bandına sahiptir. Yeryüzü üzerinde aynı alanı 16 günde bir tarar ve görüntü büyüklüğü 185x185km'dir [25].



Landsat 7 ETM geliştirilmiş Thematic Mapper tarayıcısı taşımaktadır. Standart 7 banda ek olarak 15 m çözünürlüğe sahip pankromatik band eklenmiştir. Buna ek olarak termal bandın çözünürlüğü de 60 m'ye indirilmiştir [24].

**Çizelge 5.1.** Landsat 5 TM ve Landsat 7 ETM bandlarının özellikleri

BANT	DALGA BOYU	NİTELİKLERİ VE KULLANIM ALANI
BANT1	0.45 - 0.52	Mavi dalgaboyuna karşılık gelir. Su yüzeyinin 15 m altından yansır. Suya karşı duyarlı olduğu gibi toprak ve bitki karakterizasyonu işlemlerinde de kullanılmaktadır.
BANT2	0.52 - 0.60	Yeşil dalgaboyuna karşılık gelir. Su yüzeyinin 10 m altından yansır. Su kirliliğinin belirlenmesinde etkili olduğu gibi, hastalıklı ve sağlam bitkilerin analizinde de kullanılmaktadır.
BANT3	0.63 - 0.69	Kırmızı dalgaboyuna karşılık gelir. Bu bandta bitki-toprak ayırımı rahatlıkla yapılabilir. Çünkü bu dalga boyunda klorofil maddesinden dolayı bitkiler enerji absorbe ederler ve mat görünürler. Bina çatıları net olarak ayırt edilebilir.
BANT4	0.76 - 0.90	Bu çalışma alanı, insan gözünün göremediği, yakın infrared bölgesine karşılık gelir. Bitki, bu bandta çok büyük bir pik yapar.
BANT5	1.55 - 1.75	Orta infrared bölgesine karşılık gelir. Su yüzeyinden yansıyan ışın analiz edilebilmektedir. Ayrıca kar, buz, bulut, hidrolojik aktiviteler gibi bir takım olaylar incelenebilmektedir.
BANT6	10.40 - 12.50	Thermal infrared bölgesine karşılık gelir. 120x120 m çözünürlüğe sahiptir. Bu band, volkanların ve termal suların analizi gibi, ısısal olayların ayırılmasında kullanılır.
BANT7	2.08 - 2.35	Uzak infrared bölgesine karşılık gelir. Jeolojik kaya birimlerinin ve madenlerin analizinde kullanılır.

Landsat 5 TM ve Landsat 7 ETM uydu görüntülerinin 7 bandına ait dalga boyları ve nitelikleri ile kullanım alanları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi 6. band yani termal bandın dalga boyu diğerlerine göre büyüktür ve dolayısıyla görüntü çözünürlüğü de çok yüksektir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda genelde 6. band kullanılmaz.

## 5.2. Yazılım

Çalışmada görüntülerin iyileştirilmesi, temel bileşenler analizi, sınıflandırma, doğruluk analizi raporlarının oluşturulması ve değişim matrisinin oluşturulması işlemleri Erdas 8.5 görüntü analiz programı kullanılarak yapılmıştır.

## 6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Eylül 1987 tarihli Landsat 5 TM ve Eylül 1999 tarihli Landsat 7 ETM görüntülerle ilgili analiz, sınıflandırma ve doğruluk analizleri çalışmaları anlatılmıştır. Görüntülerin projeksiyon sistemleri tanımlandıktan ve iyileştirme işlemleri tamamlandıktan sonra iki farklı yöntemle sınıflandırma yapılmıştır. Birinci yöntem klasik sınıflandırma, ikinci yöntem ise temel bileşenler analizi kullanılarak sınıflandırmadır. Bu iki farklı yöntem sonrasında, her iki yöntem sonucunda elde edilen sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk analizleri yapılmış ve sonuçta uygun sınıflandırma yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem sonucunda elde edilen iki farklı tarihli sınıflandırılmış görüntülerden değişim matrisi kullanılarak değişim görüntüsü elde edilmiştir.

Uygulamada öncelikle görüntülerin projeksiyon sistemleri tanımlanmıştır. Projeksiyon sistemi olarak “UTM 36. bölge” ve “WGS 84 datum” seçilmiştir. Daha sonra geometrik düzeltme yapılmıştır. 1987 yılı görüntüsü 1999 yılı görüntüsüne göre geometrik iyileştirme yapılmış, koordinat eşleme yöntemi kullanılarak görüntüler aynı konuma gelecek şekilde eşleştirilmiştir. Böylelikle her iki görüntüde aynı nokta, aynı koordinat değerine sahip olmuştur. Daha sonra geometrik iyileştirilmesi yapılmış ve koordinatlandırılmış görüntüler iki farklı yöntemle sınıflandırılmıştır.

İlk sınıflandırma yöntemi klasik sınıflandırmadır. Sınıflandırma için en uygun bandlar seçilmiştir. Bu seçim işlemi için “En Uygun İçerik Etkeni (OIF)” yöntemi kullanılmış ve her iki farklı tarihli görüntüler için 3 band elde edilmiştir.

İkinci aşamada seçilen bandların radyometrik iyileştirmesi yapılmıştır. Radyometrik iyileştirme yöntemlerinden sis iyileştirme yöntemi kullanılmış ve yalnızca 1987 tarihli Landsat 5 TM ve 1999 tarihli Landsat 7 ETM görüntülerinin 3. bandlarına uygulanmıştır.

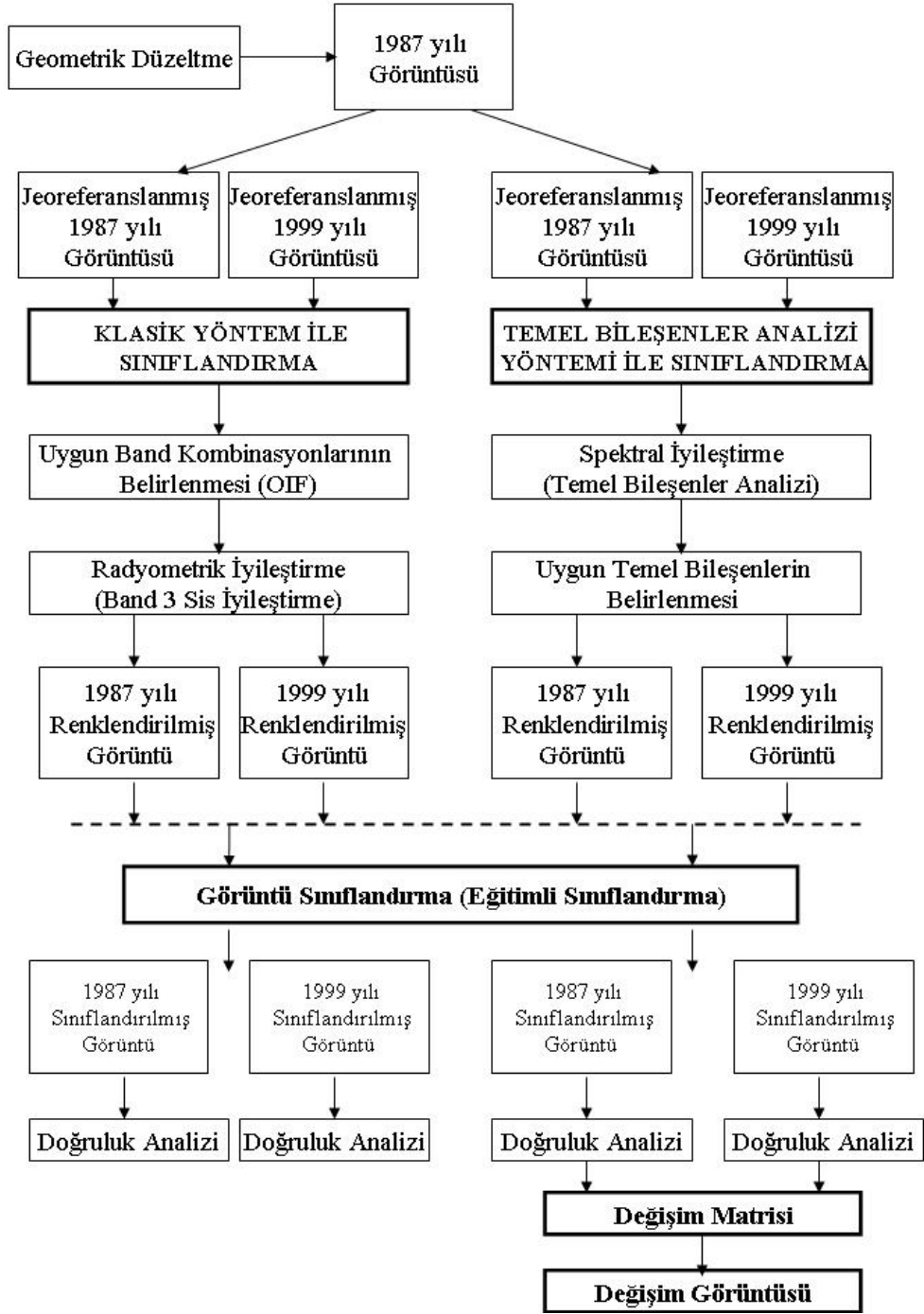
Üçüncü aşamada, sınıflandırma yapılmış, sınıflandırma yöntemi olarak eğitilmiş sınıflandırma yöntemi kullanılmış ve her iki farklı tarihli görüntü için sınıflandırılmış görüntüler elde edilmiştir. Klasik sınıflandırma yönteminin son aşamasında, sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk analizleri elde edilmiştir.

Uygulama çalışmasında ikinci yöntem, temel bileşenler analizi yöntemi kullanılarak sınıflandırmadır. Bu yöntemde 1987 yılı Landsat 5 TM ile 1999 yılı Landsat 7 ETM tarihli görüntülerin her ikisi için spektral iyileştirme yapılmış ve iyileştirmede temel bileşenler analizi yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta her iki farklı tarihli görüntüye ait 6 temel bileşen elde edilmiştir.

İkinci aşamada en uygun temel bileşenler belirlenmiştir. Görsel olarak ve yapılan önceki çalışmaların incelenmesi sonucunda, her iki farklı tarihli görüntüler için üç temel bileşen belirlenmiştir.

Üçüncü aşamada, eğitilmiş sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma her iki tarihli görüntü için ayrı yapılmış, sonuçta 1987 tarihli ve 1999 tarihli iki farklı sınıflandırılmış görüntü elde edilmiştir.

Temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırma yönteminin son aşaması ise doğruluk analizlerinin elde edilmesidir. Yapılan çalışma basamakları önceden planlanan akış şemasında belirlenmiştir (Şekil 6.1).

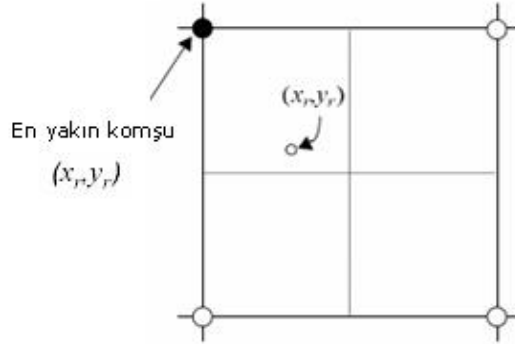


Şekil 6.1. Yapılan çalışmanın akış şeması

## 6.1. Görüntülerin Geometrik İyileştirilmesi

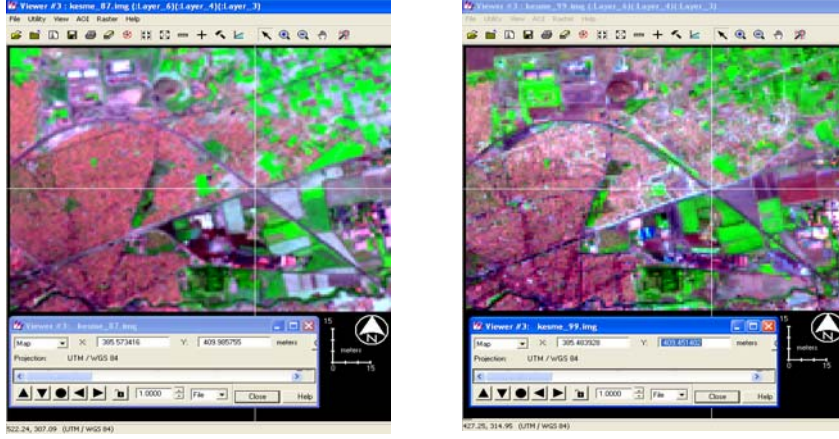
Çalışmada sınıflandırma yöntemlerine geçmeden önce, projeksiyon sistemi belirlenmiş olan görüntülerde geometrik iyileştirme yapılmıştır. Geometrik iyileştirme, bölüm 3’te bahsedildiği gibi görüntülerdeki nokta koordinatlarının haritadaki gerçek koordinatlarına oturtulmasıdır. Bu çalışmada değişim analizi yöntemi olarak sınıflandırma kullanıldığından, iki farklı tarihe ait görüntüler arasında koordinat eşleme yöntemi kullanılmıştır.

“En Yakın Komşu Örnekleme” yöntemi ile 1987 yılı görüntüsü 1999 yılı görüntüsüne göre geometrik olarak koordinatlandırılmıştır. Böylece herhangi bir alandan seçilen bir nokta her iki yıla ait görüntüde de aynı koordinat değerine sahiptir. En yakın komşu örnekleme yöntemi, bir pikselin koordinat değerlerine en yakın komşu koordinat değerleri olarak belirlenmesidir. Koordinat eşlemede transfer edilecek görüntüdeki piksel koordinat değerlerine, kaynak görüntüden seçilen en yakın piksel koordinat değerleri olarak atanır. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi  $(x_o, y_o)$  koordinatlı transfer edilecek piksel koordinat değerleri ona en yakın olan  $(x_r, y_r)$  referans görüntüdeki piksel koordinat değerleri olarak atanır [26].



Şekil 6.2. En yakın komşu örnekleme yöntemi

1987 yılı RGB/543 görüntüsünün 1999 yılı RGB/543 görüntüsüne göre geometrik düzeltme yapılmıştır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. 1987 RGB/543 görüntüsünün 1999 RGB/543 görüntüsüne göre koordinat eşlemesi

1999 RGB/543 görüntüsü örnek olarak incelendiğinde; 1987 RGB/543 görüntüsünde seçilen bir noktanın koordinat değerleri (385,409) 1999 RGB/543 görüntüsündeki aynı noktanın koordinat değerleri ile aynıdır.

## 6.2. Klasik Yöntem ile Sınıflandırma

Klasik sınıflandırma yönteminde, öncelikle sınıflandırma için en uygun bandlar belirlenmiştir. En uygun band seçiminde “En Uygun İçerik Etkeni” yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde bandların spektral değerleri veri olarak kullanılarak bazı istatistiksel hesaplamalar yapılmıştır. Bu yöntem sonucunda her iki tarihli görüntü içinde sınıflandırma için en uygun 3 band seçilmiştir.

İkinci aşamada, seçilen bandların radyometrik iyileştirmesi yapılmıştır. Radyometrik iyileştirme yöntemlerinden “Sis İyileştirme” yöntemi kullanılmış ve yalnızca 1987 tarihli Landsat 5 TM ve 1999 tarihli Landsat 7 ETM görüntülerinin 3. bandlarına uygulanmıştır.

Üçüncü aşamada sınıflandırma yapılmış ve sınıflandırma yöntemi olarak eğitimli sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırma her iki farklı tarihli görüntü için ayrı uygulanmış, sonuçta 1987 ve 1999 yıllarına ait sınıflandırılmış görüntüler elde edilmiştir. Klasik sınıflandırma yönteminin son aşamasında sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk analizleri elde edilmiştir.

### 6.2.1. Uygun band kombinasyonlarının belirlenmesi

Uzaktan algılama ile ilgili çalışmalarda kullanılacak band ya da bandların neler olacağının belirlenmesi gerekir. Analiz çalışmalarında tek band kullanılabilceği gibi birden fazla band kullanılarak da (renklendirme) analiz yapılabilir. Uygun band ya da bandların hangilerinin olacağı ise yapılacak çalışmaya bağlıdır.

Bu çalışmada bandların istatistiksel değerlerinin kullanılarak en uygun band kombinasyonunun belirlendiği “En Uygun İçerik Etkeni (OIF)” yöntemi kullanılmıştır.

En uygun içerik etkeni, birden fazla sayıda band ile yapılacak uzaktan algılama çalışmalarında, hangi band kombinasyonunun yapılacak iş için uygun olacağının belirlenmesini sağlayan istatistiksel bir analiz yöntemidir. Bu yöntemde, her bir bandın yansıma değerleri kullanılır ve bu değerler kullanılarak bazı istatistiksel hesaplamalar yapılır. Bu hesaplamada bandlar üçerli ve her defasında birbirinden farklı olarak kullanılır. Hesaplama sonucunda her bir band üçlüsünden elde edilen değerlerden hangisi en büyükse, o band üçlüsü en uygun band kombinasyonu olarak belirlenir [6].

Yöntemin matematiksel tanımı;

$$\text{OIF} = \frac{\sum_{k=1}^3 S_k}{\sum_{j=1}^3 \text{Abs}(r_j)} \quad (6.1)$$

OIF : En uygun içerik etkeni

k : Kullanılan band numarası

j : Kullanılan bandların korelasyon katsayı değerleri

$S_k$  : k bandı verilerinin standart sapma değerleri

$\text{Abs}(r_j)$ : Kullanılan üç bandtan herhangi iki tanesinin korelasyon katsayısı değeri

Formülde, en uygun içerik etkeni değeri, kullanılan üç bandın standart sapma değerlerinin toplanarak, birbirlerine göre korelasyon değerlerinin ikişerli olarak toplanması ile elde edilen değere bölünmesidir. Böylece yüksek standart

sapma değerlerine ve birbirlerine göre düşük korelasyon değerlerine sahip olan bandlar, en uygun band kombinasyonu olarak seçilir. Bu korelasyon ve standart sapma değerlerindeki farklılık, bandlardaki yansıma değerlerinin de farklılığından kaynaklandığı için, tek görüntüde üç farklı yansıma değerleri özelliği gösteren görüntüler ile çalışılmış olacaktır. Tek görüntüde işlevlerin, örneğin arazi kullanımlarının ayırt edilebilirliği hem daha sonraki yapılacak analiz çalışmalarında, hem de görsel yorumlamada daha iyi olacaktır. Görüntülerdeki arazi kullanımlarının algılanması, daha sağlıklı olacağından yapılacak çalışmalarda daha sağlıklı ve güvenilir olacaktır.

Bu çalışmada, 1987 ve 1999 yıllarına ait görüntülerin 6 farklı bandı kullanılmıştır (Band 1,2,3,4,5,7). Bu çalışmada 6. band mekansal çözünürlüğü diğer bandlara göre daha düşük olduğundan kullanılmamıştır. Hesaplama her iki yıla ait görüntüye de ayrı ayrı uygulanmış ve her bir hesaplamada toplam 20 tane değer elde edilmiştir.

**Çizelge 6.1.** 1987 ve 1999 tarihli band kombinasyonları ve ilk 5 OIF değerleri

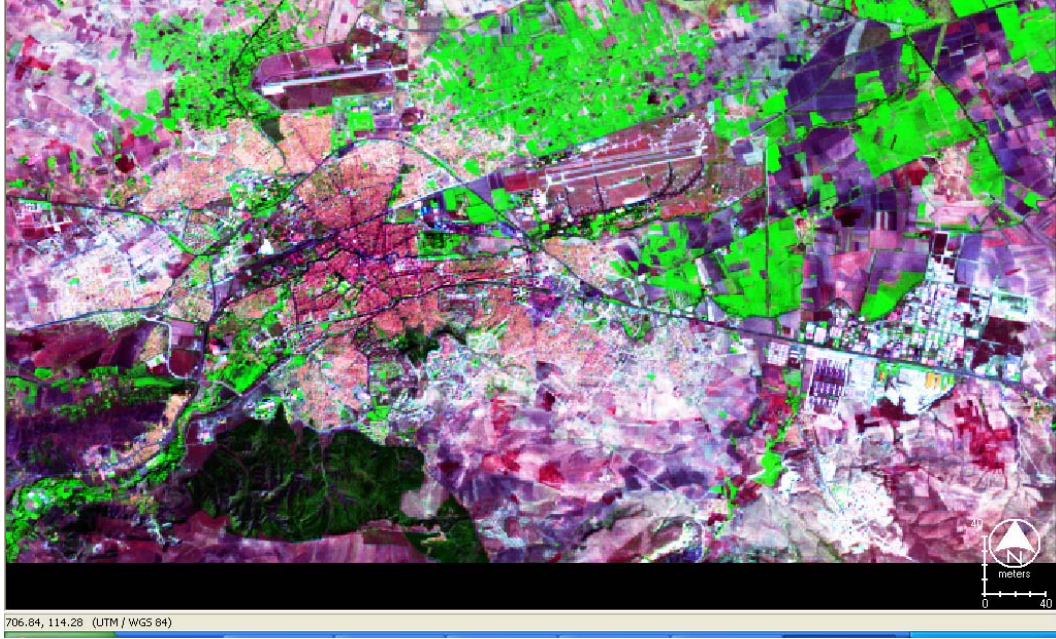
1987			1999		
Sıra	Kombinasyon	OIF	Sıra	Kombinasyon	OIF
1	347	44,61	1	457	41,02
2	547	40,16	2	347	40,04
3	345	39,65	3	345	39,09
4	145	39,04	4	147	36,89
5	147	38,60	5	247	35,87

İlk 5 OIF değerleri incelendiğinde her iki yıla ait hesaplama içinde yüksek değer alan 347 bandları seçilmiştir (Çizelge 6.1). 1987 RGB/743 ve 1999 RGB/743 bandlarının görüntüleri Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verilmiştir.





Şekil 6.4. Eskişehir ili 1987 RGB/743 renkli görüntüsü

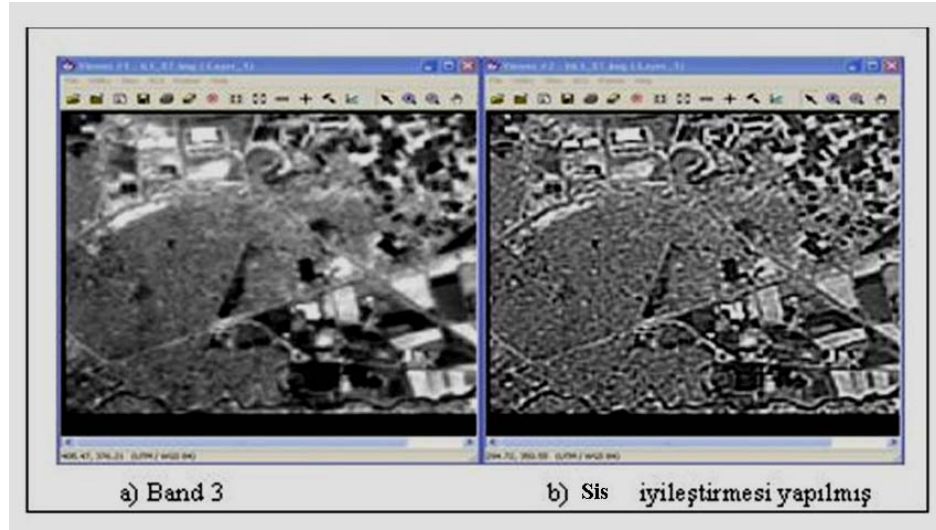


Şekil 6.5. Eskişehir ili 1999 RGB/743 renkli görüntüsü

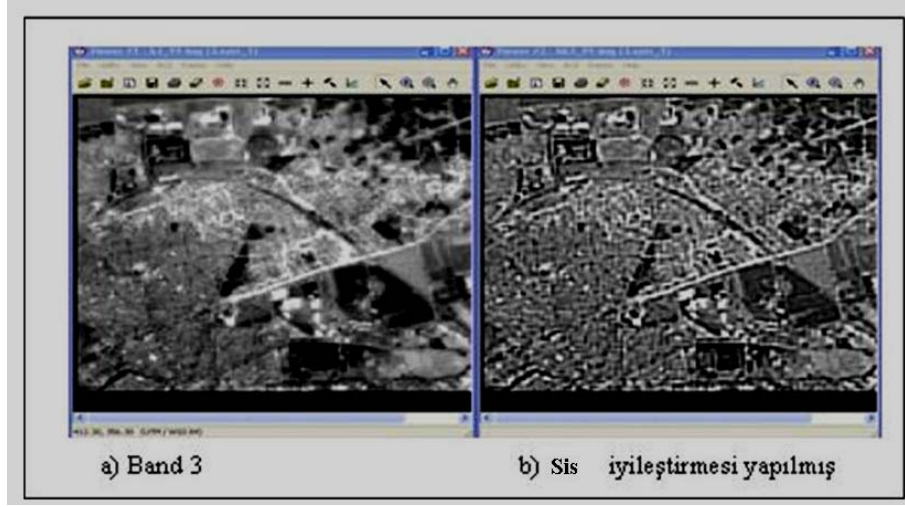
## 6.2.2. Görüntülerin sis radyometrik iyileştirilmesi

Sis iyileştirme, görüntüde atmosferdeki saçılımdan kaynaklanan etkilerin giderilmesini sağlar. Sis düzeltme, genelde farklı tarihli görüntülerin kıyaslanmasında ya da görüntü oranlama işlemlerinde kullanılır. Bu yöntemde aynı alana ait ve aynı tarihli iki farklı band kullanılır. İyileştirilmesi yapılacak olan bandtaki görüntüde en küçük yansıma değerine sahip pikseller belirlenir. Görüntüde bu en düşük değerler belirlenirken, genelde aynı özelliğe sahip piksel değerlerinin olduğu alanlar seçilir. Genelde su özelliği gösteren alanlar gibi piksel değerlerinin birbirine çok yakın olduğu alanlar seçilir. Çünkü her iki görüntüde de bu alanlardaki yansıma değerleri birbirine yakın olur [27].

Çalışmada seçilen RGB/347 bandlardan sadece 3.bandta sis iyileştirme yapılmıştır. Çünkü 1. 2. ve 3. bandlar, kısa dalga boyu içeren spektral bandlardır ve bu yüzden bu dalga boylarının atmosferdeki saçılımları yüksek olacaktır. Bu amaçla çalışmada, 1987 ve 1999 yıllarına ait görüntülerin 3. bandlarında sis iyileştirme yapılmıştır (Şekil 6.6 ve Şekil 6.7).

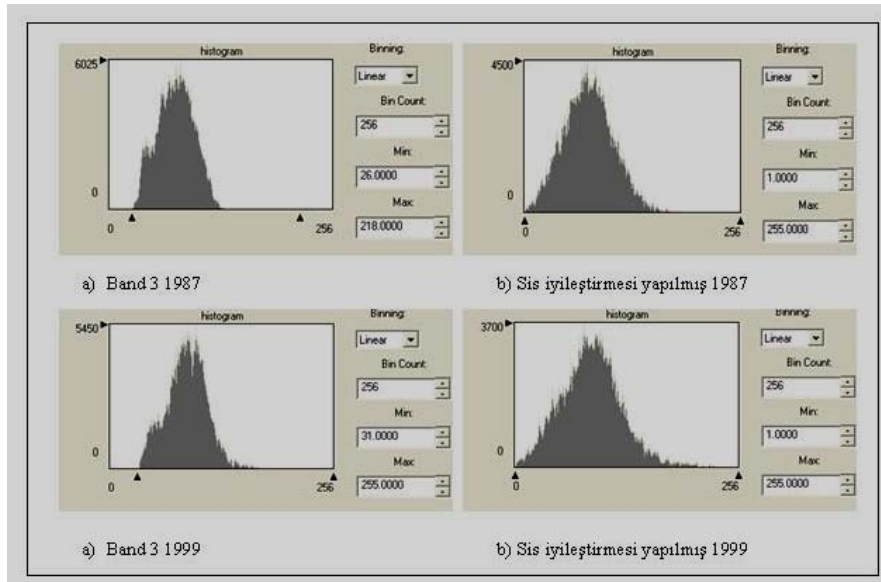


Şekil 6.6. 1987 yılı band 3 görüntüsünün sis iyileştirilmesi öncesi (a) ve sonrası görüntüsü (b)



**Şekil 6.7.** 1999 yılı band 3 görüntüsünün sis iyileştirilmesi öncesi (a) ve sonrası görüntüsü (b)

1987 yılına ait 3.bandtaki görüntüde yansıma değerleri, sis iyileştirme öncesinde, en düşük yansıma değeri 26 iken düzeltme sonrası bu değer 1 olmuştur. Aynı şekilde 1999 yılı 3. bandtaki görüntüde en düşük yansıma değeri 31 iken, düzeltme sonrasında bu değer yine 1 olmuştur (Şekil 6.8).



**Şekil 6.8.** 1987 yılı ve 1999 yılı band 3 görüntüsünün spektral saçılım grafikleri. (a) 1987-1999 yılları band 3 sis iyileştirme öncesi ve (b) 1987 – 1999 yılları band 3 sis iyileştirilmesi sonrası spektral saçılım grafiği



Her iki görüntünün 3. bandı için yapılan sis iyileştirme sonrasında renklendirilen görüntüler Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir.



**Şekil 6.9.** 1987 yılı sis iyileştirmesi yapılmış RGB/743 bandı renkli görüntüsü



**Şekil 6.10.** 1999 yılı sis iyileştirmesi yapılmış RGB/743 bandı renkli görüntüsü

### 6.2.3. Görüntülerin sınıflandırılması

Yapılan çalışmada “Eğitimli Sınıflandırma” yöntemi kullanılmıştır. Bu sınıflandırma, sınıfların belirlendiği sınıflandırma şemasının oluşturulması ve otomatik sınıflandırma olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Sınıflandırma şemasının oluşturulması aşamasında, konulu sınıflar belirlenmiştir. Bu sınıfların oluşturulmasında, görüntüdeki her bir arazi sınıfı için örnek pikseller toplanır. Piksel sınıflarından oluşan bu sete “Eğitim Seti” denir.

Eğitimli sınıflandırma işleminde, her sınıf için toplanan piksel değerleri analiz edilerek sınıfların istatistiksel özellikleri belirlenir. Daha sonra bu örnek özellikler kullanılarak, tüm görüntü sınıflara ayrılır. Eğitimli sınıflandırma işleminde yapılması gereken ilk iş, görüntü sınıflarının (konulu sınıfların) belirlenmesidir. Sınıflandırma işleminden geçirilecek olan alanın kaç sınıfa ayrılması ve bu sınıfların neler olduğu kesin olarak ortaya konmalıdır. Eğitim setinin oluşturulmasında kullanılan örnek pikseller, her bir konulu sınıf için, o sınıfı iyi temsil eden alanlardan toplamak suretiyle oluşturulur.

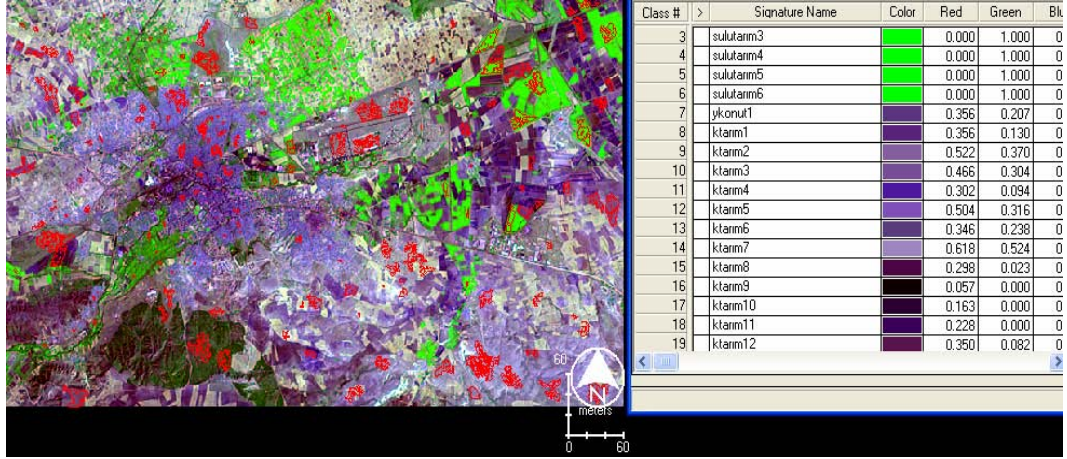
Konulu sınıfların ayrımı için çok sayıda kullanılan standart sınıflandırma sistemleri vardır. Bunlar ABD Jeolojik Araştırma Merkezi Sınıflandırma Sistemi (United States Geological Survey) U.S.G.S., Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan Çevre Bilgileri Koordinasyonu sınıflandırma sistemi (Coordination of Information on the Environment) CORINE ve Köy Hizmetlerinin Toprak haritalarında yer alan Şimdiki Arazi Kullanım (SAK) gibi sistemlerdir [5]. Bu çalışmada CORINE ile SAK sınıflandırma sistemlerinden yararlanılmış aynı zamanda çalışma alanının büyüklüğüne, ölçeğine ve arazi yapısına uygun olarak bir sınıflandırma sistemi oluşturulmuştur (Çizelge 6.2).

**Çizelge 6.2.** Sınıflandırmada kullanılan konulu sınıflar

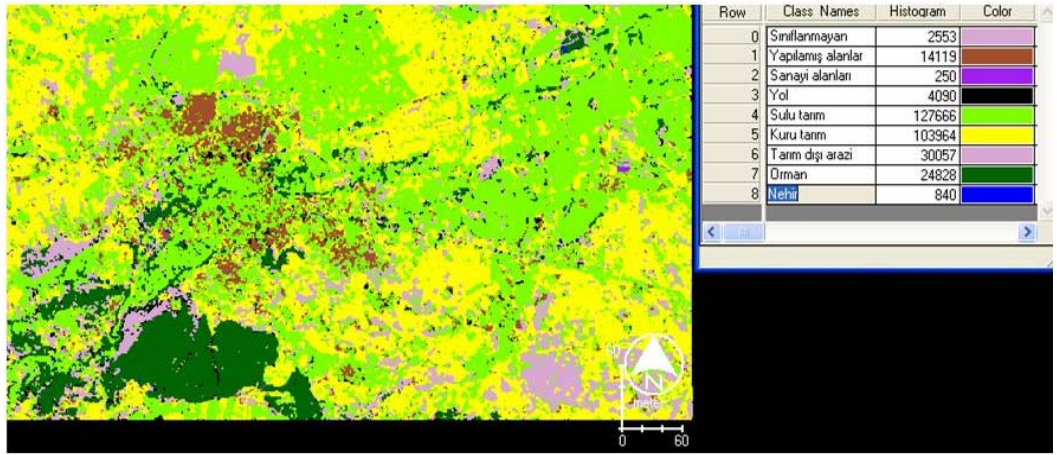
<b>Kentsel ve Kırsal Yapılaşma Alanları</b>	1- Yapılmış Alanlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tipik kentsel alanlarını ifade etmektedir. Bu alanlar düzenli veya düzensiz nizamda yapılaşma alanlarıdır.</li> <li>•Mesken binaların formuna yakın olan eğitim, ticaret, kültürel tesis gibi diğer kentsel donatı alanları,</li> <li>•Kent içi zayıf ulaşım ağını (dar cadde ve sokaklar)</li> <li>•Kent çevresindeki yeni yapılaşma alanları ile gecekondu tarzında olan seyrek yapılaşma alanları, bahçeli evler</li> <li>•Kırsal yerleşim alanları (Köyler)</li> </ul>
	2 - Sanayi Alanları	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Mesken amaçlı kullanılmayan sanayi tesisleridir.</li> <li>•Mesken binalarından daha büyük ve yer yer açık alanlara sahip bütünlük alanlardır. Bu alanların tanımlanmasında aynı zamanda büyüklük, şekil ve bazen de çevresel elemanlar söz konusudur.</li> </ul>
	3 - Yol	<ul style="list-style-type: none"> <li>•25 m'den daha dar olmamak üzere karayolları ve karayolu ulaşımının sağlanabilmesi için tahsis edilmiş alanlar (kavşak, göbek)</li> </ul>
<b>Tarım Alanları</b>	4 Kuru Tarım Alanları	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sulama gerektirmeyen, mevsimsel olarak ekilen sonra biçilen veya toplanan uzunlukları genelde 1 metreyi aşmayan otsu bitkilerdir. Genelde sonbahar döneminde ekilir, ilkbaharda gelişmeye başlar, yazın ürün verir ve yaz sonunda hasat edilir. (buğday, arpa, tahıl, mısır, nohut gibi)</li> <li>•Kuru tarım alanları genelde eğimi % 30'dan az olan ve çoğu zaman yan yana parseller halinde olan alanlardır.</li> <li>•Tespitinde parsel yapısı kolayca algılanmalarında yardımcı olur. Homojen yapıdadır.</li> </ul>
	5 - Sulu Tarım Alanları	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Doğal sulamanın dışında, yapay olarak sulama gerektiren ürün tarımudur. Toprağa yakın yüzeyler su olarak yansıdığı için görüntüde kolay ayırt edilebilmektedir.</li> <li>•Genelde yerleşim alanlarına yakın yerlerdir.</li> </ul>
<b>Ormanlık ve Doğal Alanlar</b>	6 - Orman	<ul style="list-style-type: none"> <li>•İğneli ya da geniş yapraklı ağaçlardan oluşan, doğal ya da yapay olarak geliştirilmiş ağaçlıklardır.</li> </ul>
	7 - Tarım dışı araziler (Doğal Otlak Alanlar, Seyrek Ağaç, Çıplak alanlar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Tarım amaçlı kullanılmayan, üzerinde ağaç varlığı bulunmayan mera alanlarıdır.</li> <li>•Seyrek ağaçlık alan bulunduğu yüzeyin yansı kadar ağaçlık alandır</li> <li>•Çıplak alanlar, üzerinde herhangi bir yapı bulunmayan, tarım ve otlak alan amaçlı kullanılmayan, çok zayıf bitki örtüsü olan, kayalık ya da tarımsız alanlardır</li> </ul>
<b>Su Alanları</b>	8 - Akarsu	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Akarsu ağı ve kanalları</li> <li>•Çizgisel şekli ve koyu renkleri ile kolaylıkla ayırt edilebilir.</li> </ul>

Görüntüler belirlenen sınıflandırma şemasına göre 8 sınıfa ayrılmıştır. Görüntüdeki eğitim sınıfları oluşturulurken, her bir sınıf için birden fazla eğitim alanı seçilmiştir. Bu işlem yapılırken araziye ait bir arazi kullanım haritası kullanılmıştır [28].





Şekil 6.11. 1987 yılı RGB/743 görüntüsü ve konulu sınıflar tablosu



Şekil 6.12. 1987 yılı klasik yöntem eğitilmiş sınıflandırılmış görüntüsü

Şekil 6.11’de 1987 yılı RGB/743 görüntüsü ile konulu sınıfların belirlendiği tablo bulunmaktadır. Görüntüdeki renklerin belirttiği sınıflar aşağıdaki gibidir.

- Yapılaşmış alanlar mavi, beyaz renkli alanlar,
- Sanayi alanları mor, beyaz, pembe renkli alanlar,
- Yollar siyah, koyu kırmızı, gri renkli alanlar,
- Sulu tarım alanları yeşil, koyu mavi, mor, lacivert renkli alanlar,
- Kuru tarım alanları beyaz, açık sarı, gri renkli alanlar,
- Tarım dışı araziler gri, yeşil tonları, açık mavi renkli alanlar,
- Ormanlık alanlar koyu yeşil renkli alanlar,
- Nehir çimen yeşili, koyu gri ve siyah renkli alanlardır.

Görüntü üzerindeki kırmızı renkli alanlar, belirlenen tematik sınıflar için örnek seçilen aynı özelliği gösteren alanlardır (Şekil 6.11). Bu alanların seçiminde önemli olan, her bir sınıfı tanımlayacak türdeş piksellerin ve her bir sınıf için o sınıfı tanımlayacak birden fazla alan seçilmesidir. Örneğin arazide kuru tarım alanı olarak seçilen toplam 17 sınıf vardır. Sınıflandırmanın sağlıklı olabilmesi amacıyla buna benzer her bir eğitim sınıfı için, birden fazla alt sınıf oluşturulmuştur.

Sınıflandırmanın ikinci aşaması, otomatik sınıflandırmadır. Konulu sınıflar belirlenip bu sınıflara karşılık gelen örnek alanlar belirlendikten sonra, otomatik sınıflandırma yapılır. Bu amaçla, eğitilmiş sınıflandırma yönteminde, sık kullanılan ve yapılan örnek çalışmalarda genelde en doğru sınıflamayı yapan “En Yakın Komşu Örnekleme” yöntemi kullanılmıştır. Buna göre bilinmeyen piksellerin sınıflandırılmasında, sınıflandırılacak piksel değerlerinin varyansları ve kovaryansları değerlendirilir. Bu değerlendirme sırasında, nokta kümelerinin normal dağılımda olduğu varsayılır. Bu varsayım altında sınıf deseninin dağılımı, ortalama vektör ve kovaryans matrisi yardımı ile tanımlanabilir. Herhangi bir pikselin, örnek sınıflardan herhangi birisinde yer alma olasılığı istatistiksel olarak hesaplanır. Her bir sınıf için olasılıkların değerlendirilmesinden sonra, piksel bunlardan en olası sınıfa atanır. Eğer pikselin herhangi bir sınıfa ait olma olasılığı, belirlenen bir eşik altında ise, bilinmeyen olarak sınıflandırılır [26].

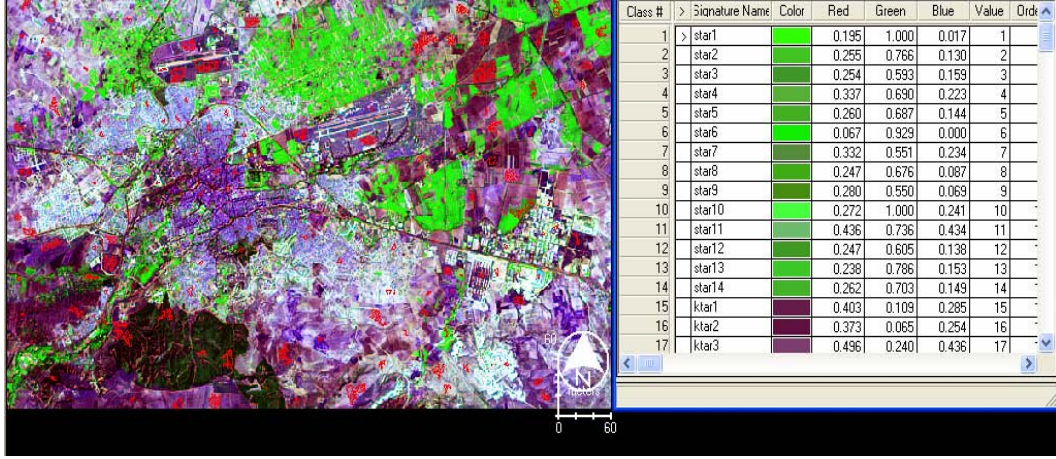
1987 yılı görüntüsünün eğitilmiş sınıflandırma sonucu elde edilen sınıflandırılmış görüntüsünde 8 sınıf bulunmaktadır (Şekil 6.12). Görüntüde; yapılaşmış alanlar kahverengi, sanayi alanları mor, yol siyah, sulu tarım alanları yeşil, kuru tarım alanları sarı, tarım dışı araziler açık mor, orman koyu yeşil ve nehir mavi renkli alanlardır.

1999 yılı görüntüsünün sınıflandırmasında aynı sınıflar kullanılmıştır. Şekil 6.13'te 1999 yılı RGB/743 görüntüsü ile konulu sınıflarının belirlendiği tablo bulunmaktadır.

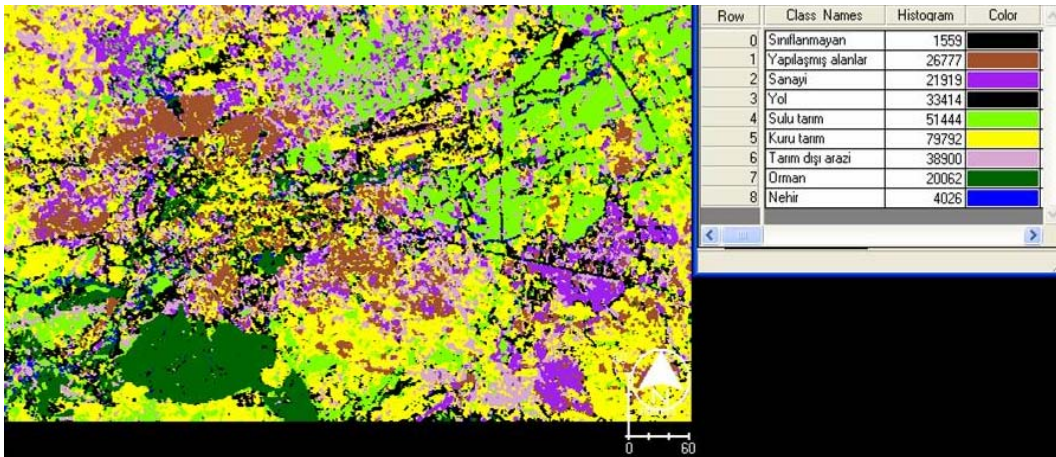


Görüntüdeki renklerin belirttiği sınıflar aşağıdaki gibidir.

- Yapılaşmış alanlar mavi ve beyaz renkli alanlar,
- Sanayi alanları mor, beyaz, pembe renkli alanlar,
- Yollar siyah, koyu kırmızı, gri renkli ve pembe alanlar,
- Sulu tarım alanları yeşil, koyu mavi, mor, lacivert renkli alanlar,
- Kuru tarım alanları beyaz, açık sarı, gri renkli ve açık mor alanlar,
- Tarım dışı araziler gri, koyu mavi renkli alanlar,
- Ormanlık alanlar koyu yeşil renkli alanlar,
- Nehir pembe, siyah ve yeşil renkli alanlardır.



Şekil 6.13. 1999 yılı RGB/743 görüntüsü ve konulu sınıflar tablosu



Şekil 6.14. 1999 yılı klasik yöntem eğitilmiş sınıflandırılmış görüntüsü

1999 yılı görüntüsü de aynı şekilde 8 sınıfa ayrılmış ve her bir sınıfı tanımlayan aynı özelliğe sahip homojen piksel değerlerinin seçildiği konulu sınıflar oluşturulmuştur (Şekil 6.13).

Otomatik sınıflandırma aşamasında da aynı yöntem kullanılmıştır. 1999 yılı görüntüsünün eğitilmiş sınıflandırma sonucu incelendiğinde; Yapılaşmış alanlar kahverengi ve beyaz, sanayi alanları mor, yol siyah, sulu tarım alanları yeşil, kuru tarım alanları sarı, tarım dışı araziler açık mor, orman koyu yeşil ve nehir mavi renkli alanlardır (Şekil 6.14).

#### **6.2.4. Doğruluk analizi**

Doğruluk analizi, eğitim alanı olarak ayrılan bölgeler dışında kalan test alanlarına ilişkin piksel değerlerinin, referans kabul edilen, haritalar ya da arazi hakkında kesin bilgi veren bir kaynakla istatistiksel olarak karşılaştırma ilkesine dayalı bir kontrol yöntemidir. Böylece yapılan sınıflandırmanın sağlıklı olup olmadığı anlaşılır. Buna göre elde edilen sınıflandırılmış görüntülerin istatistiksel doğruluk değerleri elde edilir.

Doğruluk analizi iki aşamada gerçekleşir. İlk aşama örnek piksellerin görüntü üzerine yerleştirilerek referans görüntü ile karşılaştırılmasıdır. İkinci aşama seçilen noktaların istatistiksel işlemler sonucunda doğruluk yüzdesinin ve hata değerinin hesaplandığı kapp değeri ( $\kappa^{\wedge}$ ) elde edilmesidir [29].

İlk aşamada örnek piksellerin görüntü üzerine yerleştirilmesi, seçilecek yöntem ve bu amaçla kullanılacak piksel sayısı çok önemlidir. Bu çalışmada her konulu sınıf için eşit sayıda nokta kullanılmıştır. Kullanılan piksel sayısı, yapılan çalışmada görüntünün satır ve sütun sayısının yaklaşık % 10'u olan 224 noktadır [30].

Toplamda her bir görüntü için 224 nokta seçilmiş, her bir sınıf için ise rastgele 28 nokta seçilmiştir. Örnek nokta kullanılmasında diğer bir yöntem rastgele noktaların kullanılmasıdır. Bu yöntem bu çalışmada kullanılmamıştır. Çünkü bu yöntemde, piksel atılmasında kentsel alana rastgelen nokta sayısı çok azdır. Çalışmada kentsel alanın değişimine önem verildiğinden her bir sınıf için eşit sayıda rastgele nokta atma yöntemi kullanılmıştır. 1987 yılı sınıflandırılmış

görüntü üzerinde 224 nokta atıldıktan sonra, bu örnek noktalar referans görüntü ile karşılaştırılmıştır.

İkinci aşama doğruluk analizi raporunun elde edilmesidir. Bu raporda her bir sınıf için seçilen piksel sayısı, seçilen bu noktaların referans görüntüde hangi sınıflara atandığı, noktaların atanması sonucu elde edilen doğruluk yüzdesi değerleri ve toplam doğruluk yüzdesi değeri hesaplanmıştır. Ayrıca her bir sınıf için hata derecesinin belirlendiği kappa değeri ve toplam kappa değeri hesaplanmıştır.

Hatalar, piksellerin yanlış sınıflandırılmasından dolayı oluşmaktadır. Analizde hata derecesi yerine doğruluk derecesi de araştırılabilir. Eğer çok sayıda sınıflandırılmamış piksel varsa, eğitim veri setlerinin gerçeği temsil etme oranı düşer. Sınıflandırmada doğruluk derecesinin gösterilmesinde en yaygın kullanılan metot kappa değerinin hesaplandığı hata matrisinin oluşturulmasıdır.

Kappa değeri, sınıflandırmanın doğruluğunu ağırlıklı olarak hesaplayan bir istatistiksel ölçüdür [30].

Kappa değerinin matematiksel tanımı;

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i-} \cdot x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i-} \cdot x_{+i}} \quad (6.2.)$$

Burada;

K : Kappa değeri

r : Sınıf sayısı

$x_{i-}$  : Satır toplamı

$x_{ii}$  : Hata matrisinin köşegen elemanları

$x_{+i}$  : Sütun toplamı

N : Hata matrisindeki toplam piksel sayısıdır.

**Çizelge 6.3.** Kappa değerlerine göre sınıflandırma sonuçları

Kappa değeri	
0.00	Sınıflandırılmış ve referans verileri arasında uyuşmanın olmadığı
1.00	Tam uyuşma
> 0.75	Sınıflandırma çok iyi
< 0.40	Sınıflandırmanın yetersiz olduğu

Sonuçta bulunan değer Çizelge 6.3'te verilen sonuçlara göre kıyaslanır ve sınıflandırma performansı değerlendirilir. Çizelgede;

- I. Sınıflandırılmış görüntüde rasgele atılan nokta sayısı,
- II. Sınıflandırılmış görüntüde seçilen sınıfın referans görüntüde aynı sınıfa rast geldiği doğru nokta sayısı,
- III. Her bir sınıfın yüzde olarak sınıflandırma doğruluğu,
- IV. Her bir sınıfın kappa değeridir.

**Çizelge 6.4.** 1987 yılı RGB/743 klasik sınıflandırma sonrası elde edilen doğruluk analizi

<b>SINIFLAR</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
1 – Yapılaşmış Alanlar	28	15	% 53.57	0.4891
2– Sanayi Alanları	28	13	% 46.43	0.4328
3 – Yol	28	9	% 32.14	0.2533
4 – Sulu Tarım Alanı	28	25	% 89.29	0.8789
5 – Kuru Tarım Alanı	28	23	% 82.57	0.7786
6 – Tarım Dışı Arazi	28	23	% 82.00	0.7768
7 – Orman	28	18	% 68.26	0.5984
8 – Nehir	28	14	% 50.00	0.4425
<b>TOPLAM</b>			<b>% 63.03</b>	<b>0.5813</b>

Çizelge 6.4'e göre 1987 yılı RGB/743 klasik sınıflandırma yöntemi ile eğitimli sınıflandırma yöntemi sonucu elde edilen doğruluk analizi ve kappa değeri görülmektedir. Her bir sınıf için sınıflandırılmış 1987 yılı görüntüsünden 28 nokta seçilmiştir. Doğruluk değeri yüzdesi % 70'in üzerinde olan değerler sınıflandırmanın iyi yapıldığını gösterir. Buna göre kentsel alanların bulunduğu 1., 2. ve 3. sınıfın doğruluk değerleri düşük; 4. 5. ve 6. sınıfların doğruluk değerleri yüksektir.

Doğruluk değeri yüzdelerinin standart değer olan % 70'in altında olmasının nedeni, otomatik sınıflandırmada bazı sınıfların yanlış seçilmesidir. Bazı sınıfların seçiminde karışıklık olmasıdır. Bu çalışmada; yapılaşmış alanlar, sulu ve kuru tarım alanlar ile; yolun, ormanlık alan ve nehir alanları ile; sanayi alanlarının yol ve ormanlık alanları ile karıştığı görülmüştür.

1987 yılı toplam doğruluk yüzdesi % 63.03'tür. Yapılan çalışmalarda sınıflandırma sonucu elde edilen doğruluk analizi yüzde değerinin % 70'ten yukarı olduğu durumlarda sınıflandırmanın iyi yapıldığı sonucuna varılmıştır. Buna göre çalışma sonrası elde edilen % 63.03 değeri, sınıflandırmanın iyi olmadığını gösterir. Ayrıca kentsel alanları ifade eden sınıfların (1,2,3) doğruluk değerleri incelendiğinde sınıflandırmanın iyi olmadığını gösterir.

Kappa değeri yüksek olan sınıflar 4, 5 ve 6'dır. 1987 yılı toplam kappa değerinin 0.5813 olması Çizelge 6.3'e göre incelendiğinde sınıflandırmanın yetersiz olduğunu göstermektedir. Ayrıca kentsel alanları ifade eden 1., 2. ve 3. sınıfların kappa değerleri incelendiğinde sınıflandırmanın iyi olmadığını görür.

**Çizelge 6.5.** 1999 yılı RGB/743 klasik sınıflandırma sonrası elde edilen doğruluk analizi

<b>SINIFLAR</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
1 – Yapılaşmış Alanlar	28	11	% 37.00	0.3219
2– Sanayi Alanı	28	6	% 21.43	0.1750
3 – Yol	28	3	% 10.71	0.0586
4 – Sulu Tarım Alanı	28	18	% 68.00	0.6007
5 – Kuru Tarım Alanı	28	20	% 71.43	0.6269
6 –Tarım Dışı Arazi	28	14	% 50.00	0.3942
7 – Orman	28	17	% 60.71	0.5751
8 – Nehir	28	3	% 10.71	0.0891
<b>TOPLAM</b>			<b>% 41.24</b>	<b>0.3551</b>

Çizelge 6.5'e göre 1999 yılı RGB/743 klasik sınıflandırma yöntemi ile eğitimli sınıflandırma yöntemi sonucu elde edilen doğruluk analizi ve kappa değeri görülmektedir. Her bir sınıf için sınıflandırılmış 1999 yılı görüntüsünden 28 nokta seçilmiştir. Doğruluk değeri yüzdesi % 70'in üzerinde olan tek sınıf 5'tir. Diğer tüm sınıfların doğruluk değerleri düşüktür.

Bu çalışmada otomatik sınıflandırma sonucu hatalı seçilen sınıflar olmuştur. Yapılaşmış alanların, tarım dışı arazi ve kuru tarım alanları ile; yolun, kuru tarım, sanayi alanları ve tarım dışı arazi alanları ile; sanayi alanlarının yol, sulu ve kuru tarım alanları ile; nehrin sulu ve kuru tarım alanları ve ormanlık alanlar ile karıştığı görülmüştür.

1999 yılı toplam doğruluk yüzdesi % 41.24'tür, bu değer % 70'ten düşük olduğu için sınıflandırmanın iyi yapıldığı sonucuna varılmıştır. Buna göre çalışma sonrası elde edilen % 41.24 değeri, sınıflandırmanın iyi olmadığını gösterir. Ayrıca kentsel alanları tanımlayan 1., 2. ve 3. sınıfların doğruluk değerleri incelendiğinde sınıflandırmanın iyi olmadığı ortaya çıkmıştır.

Kappa değeri tüm sınıflar için düşük değerlidir. 1999 yılı toplam kappa değerinin 0.3551 olması Çizelge 6.3'e göre incelendiğinde sınıflandırmanın yetersiz olduğu anlaşılmaktadır.

### **6.3. Temel Bileşenler Analizi Yöntemi ile Sınıflandırma**

Temel bileşenler analizi yöntemi kullanılarak değişim görüntüsü elde edilmesi yönteminde her iki farklı tarihe ait görüntüler ayrı ayrı sınıflandırılmıştır.

İlk olarak görüntüler, spektral iyileştirme yöntemlerinden olan temel bileşenler analizi yöntemi kullanılarak iyileştirilmiştir. Analiz sonucunda her bir tarihli görüntü için 6 farklı bileşen (siyah-beyaz görüntüler) elde edilmiştir. İkinci aşamada en uygun 3 temel bileşen seçilerek renklendirilmiş görüntüler elde edilmiştir. Üçüncü aşamada, renklendirilmiş 1987 ve 1999 yıllarına ait görüntüler eğitilmiş sınıflandırma yöntemi kullanılarak sınıflandırılmıştır. Bu aşama sonucunda her yıla ait sınıflandırılmış görüntüler elde edilmiştir. Son aşamada ise, her bir farklı tarihli görüntü için doğruluk analizi tabloları oluşturulmuştur.

#### **6.3.1. Görüntülerin spektral iyileştirilmesi**

Çalışmada 1987 yılı Landsat 5 TM görüntüsü ile 1999 yılı Landsat 7 ETM görüntüsü spektral iyileştirme yöntemlerinden olan "Temel Bileşenler Analizi" yöntemi kullanılarak iyileştirme yapılmıştır.

Temel bileşenler analizi yöntemi birden fazla band üzerinde gerçekleştirilen bir analizdir. Bu yöntemde görüntülerdeki piksel değerleri kullanılarak bazı istatistiksel hesaplamalar yapılır. Sonuçta birden fazla bandta bulunan bilgiler tek görüntüde bir araya getirilerek yorumlama işlemi için daha zengin ve yoğun içerikli yeni bir görüntü elde edilebilir. Birden fazla görüntüyü tek bir bileşende toplarken veri kaybını en düşük düzeyde tutmaktadır.

### **6.3.2. Uygun temel bileşenlerin belirlenmesi**

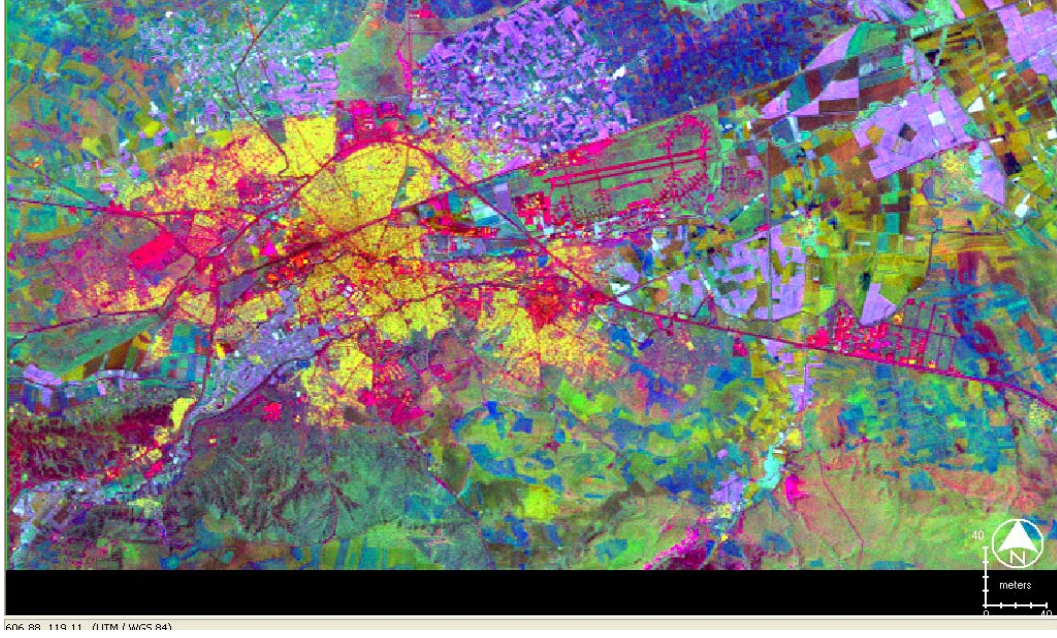
Temel bileşenler analizi sonucunda her iki farklı tarihli görüntü içinde 6 temel bileşen elde edilmiştir. Korelasyon değerleri birbirine yakın olan 6 yeni temel bileşen siyah-beyaz görüntü elde edilmiştir. Bu görüntülerden en uygun 3 temel bileşen görüntüsü seçilmiştir. Görüntülerin seçimi, yapılacak çalışmaya uygun olarak belirlenmiş ve üç temel bileşen seçilerek görüntüler renklendirilmiştir.

1999 tarihli Landsat 7 ETM ve 1987 tarihli Landsat 5 TM görüntüsünden elde edilen temel bileşenlerin özellikleri ve görsel analizi sonucunda;

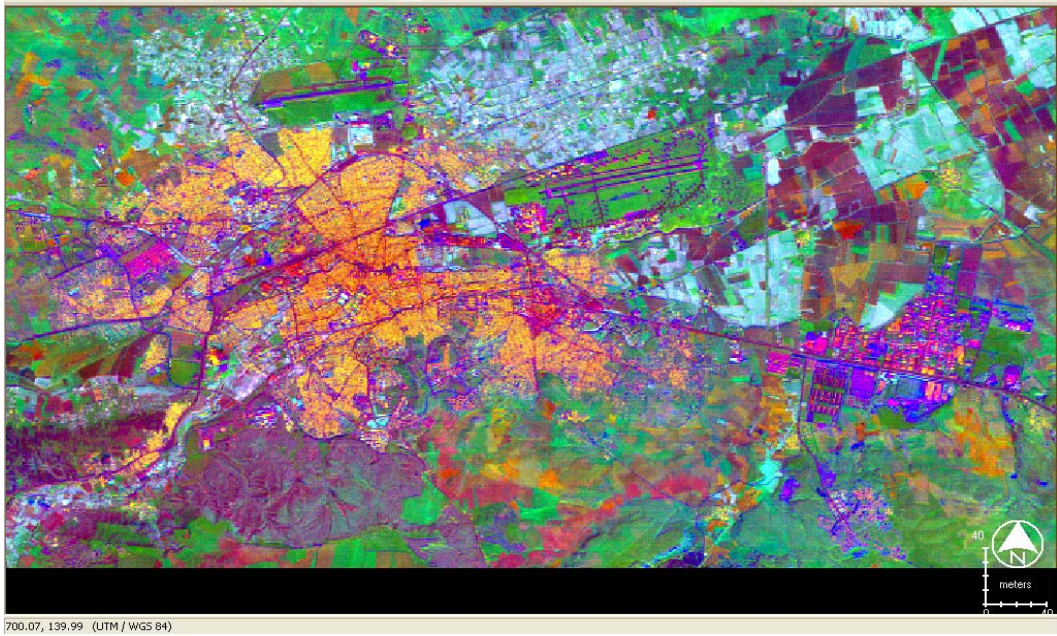
- 1. Temel bileşende kuru tarım alanları ve ormanlık alanlar beyaz renkli, görsel olarak daha iyi ayırt edilebilmekte,
- 2. Temel bileşende sulu tarım alanları beyaz renkli ve görsel olarak daha iyi ayırt edilebilmekte,
- 3. Temel bileşende yollar ve çıplak alanlar (havaalanı pisti) beyaz renkli ve görsel olarak iyi ayırt edilebilmekte,
- 4. Temel bileşende konut ve sanayi alanları beyaz renkli ve görsel olarak iyi ayırt edilebilmekte,
- 5. Temel bileşende görüntü diğer dört bileşene göre biraz bozuk -arazi kullanımı görsel olarak iyi ayırt edilememekte-, tarım dışı alanlar beyaz renkli ve görsel olarak daha iyi ayırt edilebilmekte,
- 6. Temel bileşende görüntü çok bozuk olduğundan, bu bileşen seçime dahil edilmemiştir.



Bileşenler görsel olarak analiz edilmiş 1987 ve 1999 görüntülerinin her ikisi içinde en uygun bileşenler olarak RGB/234 temel bileşenleri seçilmiştir.



**Şekil 6.15.** 1987 yılı RGB/432 Temel bileşenler renklendirilmiş görüntü



**Şekil 6.16.** 1999 yılı RGB/432 Temel bileşenler renklendirilmiş görüntü



Renklendirilmiş RGB/432 temel bileşeni 1987 yılı görüntüsünde; yapılaşmış alanlar sarı ve turuncu renkli, yollar ve sanayi alanları pembe ve kırmızı renkli, sulu tarım alanları mor renkli, kuru tarım alanları yeşil, kahverengi ve mavi renkli, tarım dışı arazi alanları yeşil renkli, ormanlık alan ise yeşil ve bordo renkli olarak görülmektedir (Şekil 6.15).

Renklendirilmiş RGB/432 temel bileşeni 1999 yılı görüntüsünde; yapılaşmış alanlar turuncu, sanayi alanları pembe, yollar lacivert, sulu tarım alanları açık mavi ve mor, kuru tarım alanları mor, kahverengi ve yeşil, tarım dışı arazi alanları yeşil, ormanlık alanlar mor ve yeşil renkli olarak görülmektedir (Şekil 6.16).

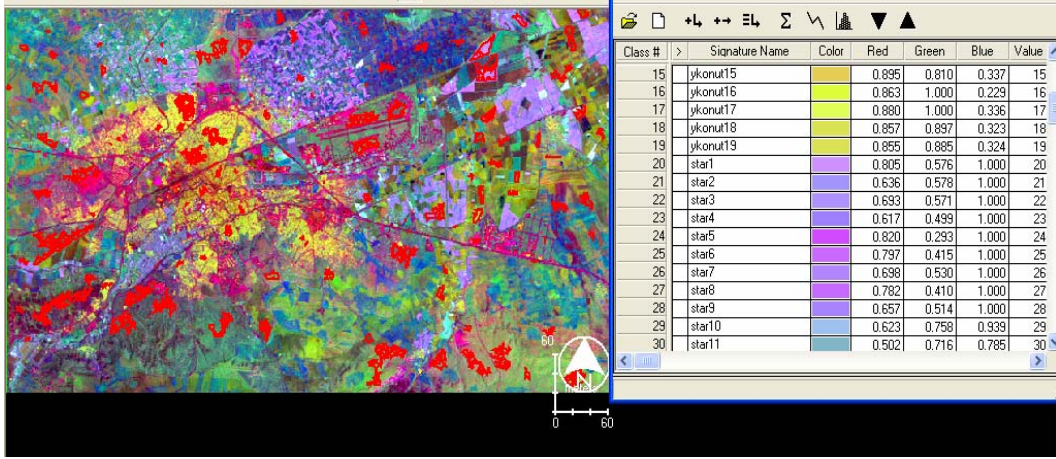
### **6.3.3. Görüntülerin sınıflandırılması**

Klasik yöntemde olduğu gibi bu çalışmada da her iki farklı tarihli görüntü için eğitimli sınıflandırma yöntemi kullanılmış ve sınıflandırma iki aşamada yapılmıştır. Bu sınıflandırma yönteminde kullanılan tüm yöntemler, klasik sınıflandırma yönteminde kullanılan, konulu sınıf tablosu, örnekleme alanlarının belirlenmesi yöntemleri, eğitimli sınıflandırma yöntemi ve doğruluk analizinin hazırlanması gibi yöntemler ile aynıdır.

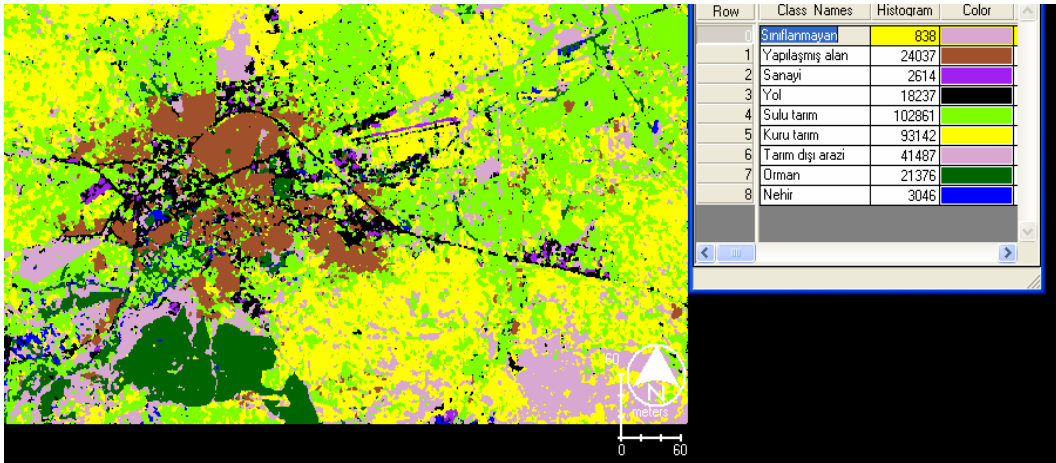
İlk aşamada her iki farklı tarihli görüntü, 8 sınıftan oluşan konulu sınıflandırma tablosuna göre sınıflara ayrılmış ve konulu sınıf tablosu oluşturulmuştur. İkinci aşamada otomatik sınıflandırma yapılmış ve “En Yakın Komşu Örnekleme” yöntemi kullanılmıştır. Görüntüdeki renklerin belirttiği sınıflar (Şekil 6.17);

- Yapılaşmış alanlar sarı ve turuncu renkli alanlar,
- Sanayi alanları pembe, mor ve kırmızı renkli alanlar,
- Yollar mor, pembe renkli alanlar,
- Sulu tarım alanları açık mavi, açık mor, kahverengi alanlar,
- Kuru tarım alanları mavi, yeşil renkli alanlar,
- Tarım dışı araziler yeşil renkli alanlar,
- Ormanlık alanlar koyu yeşil renkli alanlar,
- Nehir mor, yeşil, kırmızı renkli alanlardır.

Görüntü üzerinde kırmızı renkli alanlar, belirlenen konulu sınıflar için örnek seçilen aynı özelliğe sahip alanlar olarak belirlenmiştir (Şekil 6.17).



Şekil 6.17. 1987 yılı RGB/432 Temel bileşen renklendirilmiş görüntüsü ve konulu sınıflandırma tablosu



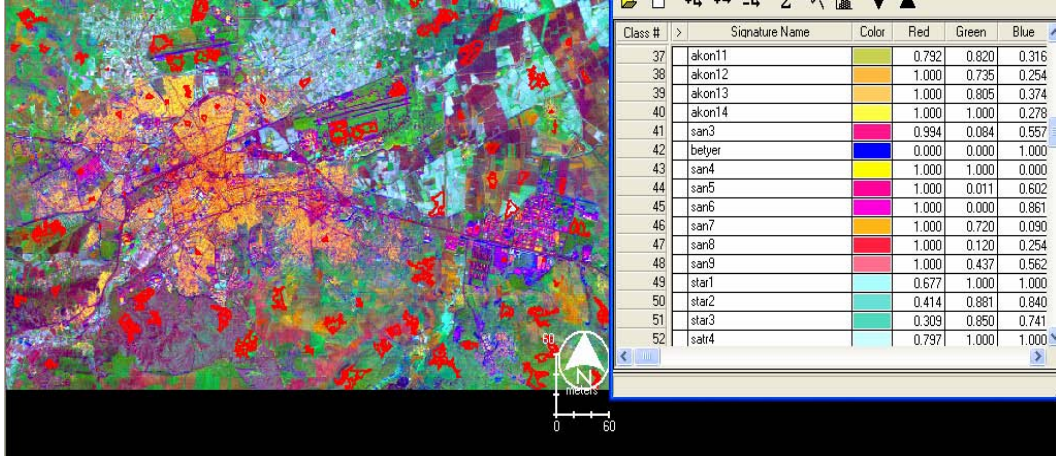
Şekil 6.18. 1987 yılı temel bileşenler yöntemi ile sınıflandırılmış görüntüsü ve açıklaması

Görüntüde 8 farklı sınıf bulunmaktadır. Görüntünün eğitilmiş sınıflandırılması ile; yapılaşmış alanlar kahverengi ve turuncu, sanayi alanları mor, yol siyah, sulu tarım alanları yeşil, kuru tarım alanları sarı, tarım dışı araziler açık mor, orman koyu yeşil ve nehir mavi renkli alanlardır (Şekil 6.18).

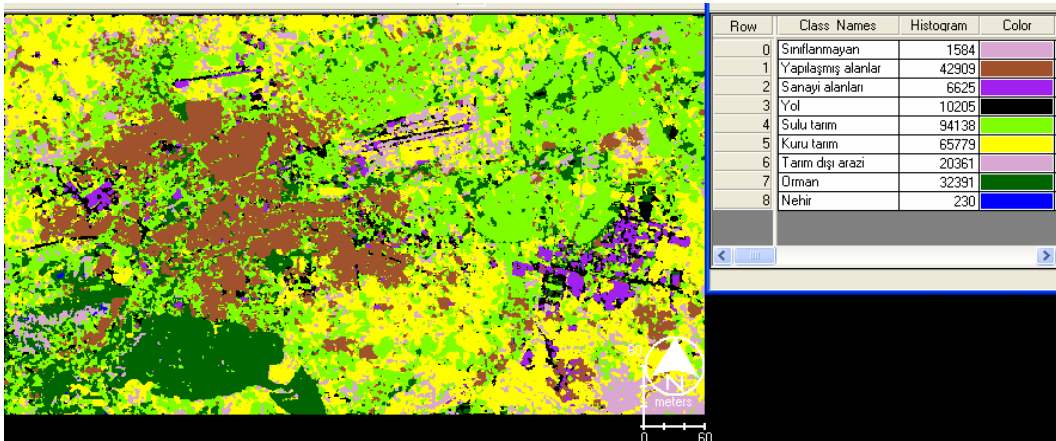
1999 yılı görüntüsünün sınıflandırılmasında aynı sınıflar kullanılmıştır (Şekil 6.19).

Görüntüde renklerin belirttiği sınıflar aşağıdaki gibidir.

- Yapılaşmış alanlar turuncu ve açık sarı renkli alanlar,
- Sanayi alanları mavi, pembe, mor renkli alanlar,
- Yollar lacivert, mor, pembe renkli alanlar,
- Sulu tarım alanları açık mavi, açık yeşil renkli alanlar,
- Kuru tarım alanları mavi, yeşil renkli alanlar,
- Tarım dışı araziler yeşil renkli alanlar,
- Ormanlık alanlar bordo, mor, yeşil renkli alanlar,
- Nehir mor, yeşil, kırmızı renkli alanlardır.



Şekil 6.19. 1999 yılı RGB/432 Temel bileşen renklendirilmiş görüntüsü ve konulu sınıflandırma tablosu



Şekil 6.20. 1999 yılı temel bileşenler yöntemi ile sınıflandırılmış görüntüsü ve açıklaması

1999 yılı görüntüsünde aynı şekilde 8 sınıfa ayrılmış ve her bir sınıfı ifade eden homojen piksel değerlerinin seçildiği konulu sınıflar oluşturulmuştur. Otomatik sınıflandırma aşamasında da aynı yöntem kullanılmıştır. Eğitimli sınıflandırma sonucu elde edilen 1999 yılı görüntüsünde 8 sınıf bulunmaktadır (Şekil 6.20). Görsel olarak analiz yapıldığında görüntüde, sanayi alanları, yapılaşmış alanlar, sulu tarım alanları, tarım dışı arazi alanları rahatlıkla görülebilmektedir. Ancak yollar ve nehir rahat olarak görünmemektedir.

#### 6.3.4. Doğruluk analizi

Temel bileşenler analizi yöntemi sınıflandırma sonucu elde edilen 1987 ve 1999 tarihli sınıflandırılmış görüntülerin her biri için doğruluk analizleri yapılmıştır. Klasik yöntemde yapıldığı gibi bu görüntüler içinde 224 nokta seçilmiştir ve her bir sınıf için 28 nokta atılmıştır.

**Çizelge 6.6.** 1987 yılı RGB/432 temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırma sonrası elde edilen doğruluk analizi

SINIFLAR	I	II	III	IV
1 – Yapılaşmış Alanlar	28	24	% 85.71	0.8421
2 – Sanayi Alanı	28	24	% 85.71	0.8421
3 – Yol	28	22	% 78.57	0.7590
4 – Sulu Tarım Alanı	28	28	% 100.00	1.0000
5 – Kuru Tarım Alanı	28	22	% 78.57	0.7595
6 – Tarım Dışı Arazi	28	26	% 92.85	0.9037
7 – Orman	28	13	% 74.43	0.7180
8 – Nehir	28	4	% 42.85	0.4091
<b>TOPLAM</b>			<b>% 79.83</b>	<b>0.7791</b>

1987 yılı ve 1999 yılı görüntüler için elde edilen doğruluk analizi ve kappa değerleri Çizelge 6.6 ve 6.7’de verilmiştir. Buna göre;

- I. Sınıflandırılmış görüntüde rasgele atılan nokta sayısı,
- II. Sınıflandırılmış görüntüde seçilen sınıfın referans görüntüde aynı sınıfa rast geldiği doğru nokta sayısı,
- III. Her bir sınıfın yüzde olarak sınıflandırma doğruluğu
- IV. Her bir sınıfın kappa değeridir.

Çizelge 6.6'ya göre 1987 yılı RGB/432 temel bileşenler analizi yöntemi kullanılarak sınıflandırma yöntemi ile uygulanan eğitimli sınıflandırma yöntemi sonucu elde edilen doğruluk analizi ve kappa değeri görülmektedir. Her bir sınıf için sınıflandırılmış 1987 yılı görüntüsünden 28 nokta seçilmiştir. Doğruluk değeri yüzdesi % 70'in üzerinde olan değerler sınıflandırmanın iyi yapıldığını gösterir. Buna göre nehir hariç diğer tüm sınıfların doğruluk değerleri yüksektir.

Bu çalışmada otomatik sınıflandırma sonucu hatalı seçilen sınıflar olmuştur. Yapılaşmış alanların, kuru tarım alanları ve yol ile; yolun, sanayi alanları ve kuru tarım alanları ile; sanayi alanlarının yol ile; nehrin tarım dışı arazi alanları ve sulu tarım alanları ile karıştığı görülmüştür.

1987 yılı toplam doğruluk yüzdesi % 79.83'tür. Yapılan çalışmalarda sınıflandırma sonucu elde edilen doğruluk analizi yüzde değerinin % 70'ten yukarı olduğu durumlarda sınıflandırmanın iyi yapıldığı sonucuna varılmıştır. Buna göre çalışma sonrası elde edilen % 79.83 değeri, sınıflandırmanın iyi yapıldığını gösterir. Ayrıca kentsel alanları ifade eden 1., 2. ve 3. sınıfların doğruluk değerleri incelendiğinde sınıflandırmanın iyi yapıldığını gösterir.

Kappa değeri yüksek olan sınıflar 7 ve 8 hariç tüm sınıflardır. 1987 yılı toplam kappa değerinin 0.7791 olması Çizelge 6.3'e göre incelendiğinde sınıflandırmanın iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca kentsel alanları ifade eden 1., 2. ve 3. sınıfların kappa değerleri incelendiğinde sınıflandırmanın iyi yapıldığını gösterir.

**Çizelge 6.7.** 1999 yılı RGB/432 temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırma sonrası elde edilen doğruluk analizi

<b>SINIFLAR</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>
1 – Yapılaşmış Alanı	28	23	% 82.14	0.8091
2– Sanayi Alanı	28	22	% 78.57	0.7600
3 – Yol	28	20	% 45.43	0.4365
4 – Sulu Tarım Alanı	28	28	% 100.00	1.0000
5 – Kuru Tarım Alanı	28	27	% 96.43	0.9577
6 – Tarım Dışı Arazi	28	27	% 96.43	0.9577
7 – Orman	28	21	% 58.86	0.5794
8 – Nehir	28	12	% 51.29	0.4925
<b>TOPLAM</b>			<b>% 76.14</b>	<b>0.7491</b>

Çizelge 6.7'ye göre 1999 yılı RGB/432 temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırma yöntemi sonucu elde edilen doğruluk analizi ve kappa değeri görülmektedir. Buna göre her bir sınıf için sınıflandırılmış 1999 yılı görüntüsünden 28 nokta seçilmiştir. Doğruluk değeri yüzdesi % 70'in üzerinde olan değerler sınıflandırmanın iyi yapıldığını gösterir. Buna göre nehir ve ormanlık alanlar hariç diğer tüm sınıfların doğruluk değerleri yüksektir.

Bu çalışmada otomatik sınıflandırma sonucu hatalı seçilen sınıflar olmuştur. Yapılaşmış alanların, kuru tarım alanları ve tarım dışı arazi alanları ile; yolun, kuru tarım alanları ile; sanayi alanlarının yol ile; nehrin tarım dışı arazi alanları ve kuru tarım alanları ile karıştığı görülmüştür.

1999 yılı toplam doğruluk yüzdesi % 76.14'tür. Çalışma sonrası elde edilen % 76.14 değeri, sınıflandırmanın iyi performansta yapıldığını gösterir. Ayrıca kentsel alanları ifade eden 1., 2. ve 3. sınıfların doğruluk değerleri incelendiğinde sınıflandırmanın iyi performansta yapıldığını gösterir.

Kappa değeri yüksek olan sınıflar 3, 7 ve 8 hariç tüm sınıflardır. 1999 yılı toplam kappa değerinin 0.7491 olması sınıflandırma performansının çok yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca kentsel alanları ifade eden 1. ve 2. sınıfların kappa değerleri, sınıflandırmanın iyi performansta yapıldığını gösterir.

**Çizelge 6.8.** Sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesi

SINIFLANDIRMA YÖNTEMİ	Doğruluk Yüzde Değeri		Kappa Değeri	
	1987	1999	1987	1999
Klasik	63.03	41.24	0.5813	0.3551
Temel bileşenler analizi yöntemi	79.83	76.14	0.7791	0.7491

Sonuç olarak her iki sınıflandırma yöntemi ile elde edilen görüntüler ve doğruluk analizi tabloları incelenmiştir. Sonuçlara göre son yöntem olan “Temel Bileşenler Analizi Yöntemi ile Sınıflandırma” yönteminin en iyi sınıflandırma yöntemi olduğu belirlenmiştir. Bu yöntem sonucu elde edilen sağlıklı ve görsel yorumu iyi olan sınıflandırılmış görüntüler kullanılarak değişim matrisi elde edilmiştir (Çizelge 6.8).

## 7. DEĞİŞİM MATRİSİNİN OLUŞTURULMASI

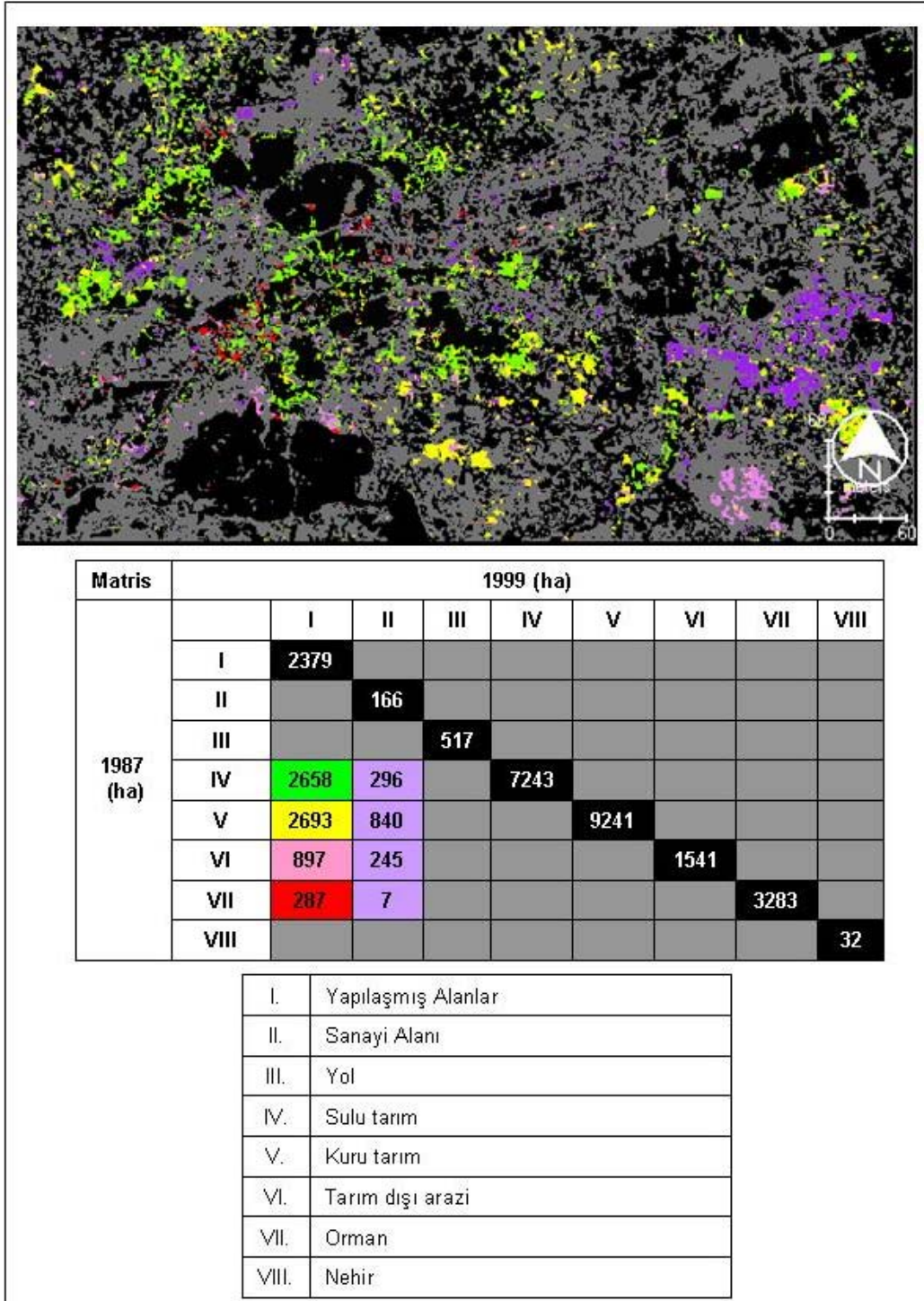
Değişim matrisi, sınıflandırılmış aynı alana ait iki farklı tarihli görüntüdeki sınıfların her birinin birbirine göre değişimini belirler. Matrisin yatay ve dikey elemanları belirlenir. Dikey elemanı olarak ilk tarihli sınıflandırılmış görüntü, yatay elemanı olarak son tarihli sınıflandırılmış görüntü seçilir. Her iki görüntü içinde yapılan konulu sınıflandırmanın sayısının ve sırasının aynı olması gerekir. Matris işlemi sonucunda değişim görüntüsü ile iki sütunlu tablo elde edilir. Bu tabloda ilk sütunda ilk tarihli görüntüdeki sınıflar, ikinci sütunda son tarihli görüntüdeki sınıflar yer alır. Böylece ilk tarihli görüntüdeki arazi kullanımının son tarihli görüntüde işlevinin değişip değişmediği, değiştiyse hangi sınıfa ait olduğu belirlenmiş olur.

Bu çalışmada matrisin dikey elemanı (ilk tarihli görüntü) olarak 1987 yılı Landsat 5 TM temel bileşenler analizi yöntemi ile elde edilen sınıflandırılmış görüntüsü, yatay elemanı olarak (son tarihli görüntü) 1999 yılı Landsat 7 ETM aynı sınıflandırma yöntemi ile elde edilen sınıflandırılmış görüntüsü kullanılmıştır (Şekil 7.1).

Elde edilen değişim görüntüsüne göre sınıfların birbirlerine göre değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışmada kentsel alanların değişimi ön planda tutulduğundan kentsel alanların arazi dönüşümü yorumlanmıştır. Buna göre siyah renkli alanlar her iki yılda değişmeyen alanları, gri renkli alanlar değişimin olduğu alanları tanımlamaktadır. Renkli alanlar ise yapılaşmış alanlara ve sanayi alanlarına açılan, kentsel gelişme alanlarını tanımlamaktadır (Şekil 7.1). Değişim görüntüsünde;

- Sarı renkli alanlar kuru tarım alanlarından yapılaşmış alanlara olan değişimi,
- Yeşil renkli alanlar sulu tarım alanlarından yapılaşmış alanlara olan değişimi,
- Pembe renkli alanlar tarım dışı arazilerden yapılaşmış alanlara olan değişimi,
- Kırmızı renkli alanlar ormanlık alanlardan yapılaşmış alanlara olan değişimi,
- Mor alanlar kuru tarım, sulu tarım, tarım dışı arazilerden sanayi alanlarına olan değişimi tanımlamaktadır.





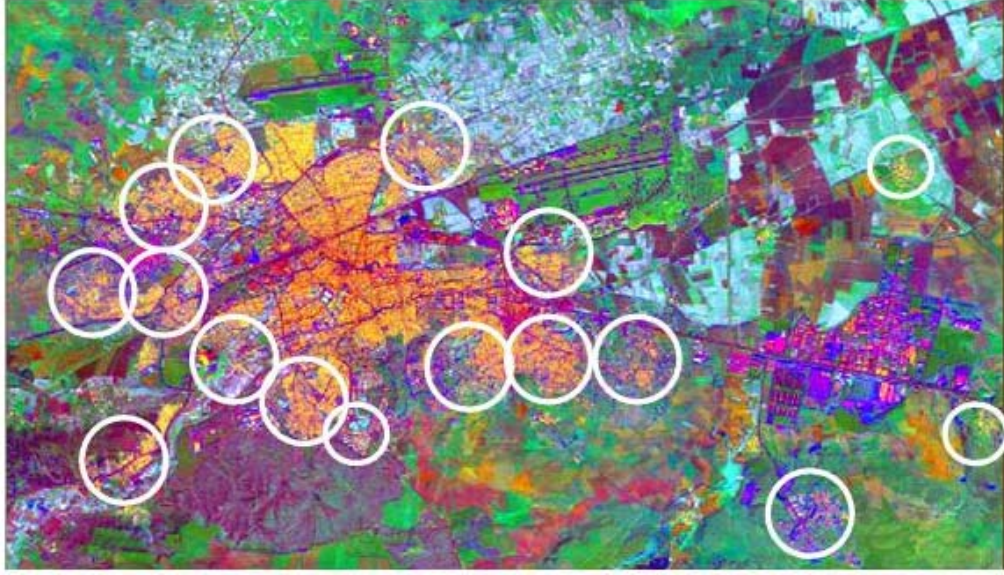
Şekil 7.1. Değişim matrisi, değişim görüntüsü ve sınıfların alansal değişimi



Değişim matrisi ile değişim görüntüsü ve alansal değişim büyüklükleri belirlenmiştir (Şekil 7.1). Buna göre değişim görüntüsünde siyah renkli alanlar 1987 ile 1999 yılı görüntülerde değişim olmayan alanlar, renkli alanlar kentsel alanlara olan değişimi, gri renkli alanlar ise diğer sınıfların alansal değişimlerini göstermektedir. Renklendirilen alanlar kentsel alanlara olan değişimi ifade etmektedir. Çalışmada amaç kentsel alan değişiminin belirlenmesi olduğundan bu alanlara dair sınıfların alansal büyüklükleri verilmiş ve renklendirilmiştir. Renklendirmeye göre;

- Yeşil renkli alanlar, kentsel alana açılan sulu tarım arazileri, 2658 ha,
- Sarı renkli alanlar, kentsel alana açılan kuru tarım arazileri, 2693 ha,
- Pembe renkli alanlar, kentsel alana açılan tarım dışı araziler, 897 ha,
- Kırmızı renkli alanlar, kentsel alana açılan ormanlık araziler, 287 ha,
- Mor renkli alanlar, kent dışı çalışma alanı, 1388 ha olarak belirlenmiştir.

Aşağıda Eskişehir ili kentsel yerleşim alanı ve çalışma alanı içerisindeki kırsal yerleşimlerin 1987'den 1999'a olan değişiminin ne ve nasıl olduğu yer almaktadır. Değişim, sulu-kuru tarım arazilerinden, tarım dışı arazilerden, ormanlık alanlardan yapılaşmış ve sanayi alanlarına göre incelenmiştir. Gelişme alanları beyaz çember ile gösterilen yerlerdir (Şekil 7.2).



**Şekil 7.2.** Değişim alanları

**A. Sulu tarım alanlarından kentsel yerleşim alanlarına olan değişim:**

Sulu tarım alanlarından konut alanlarına olan değişim incelendiği zaman yanlış sınıflama alanlarına rastlanmıştır. Aslında yapılaşmış alan olarak görünmeyen bazı alanlarda değişim alanı olarak görünmektedir. Nedeni 1999 tarihli görüntüde yapılaşmış alan sınıflaması hatasından kaynaklanmaktadır.

- Kent merkezinin kuzey batısında, Askeri Havaalanı'nın kuzeyinde sulu tarım alanlarına yakın alanlarda yeni gelişme alanları. Fevziçakmak Mahallesi.
- Kent merkezinin kuzeybatısında Anadolu Üniversitesi'ne yakın alanlarda yeni gelişme alanlarının oluşması. Esentepe, Sütluçe ve Şirintepe Mahalleleri.
- Kent merkezinde boş alanların yerleşime açılması, böylelikle kent merkezinde yarı boş alanların yapılaşmaya açılması.
- Kent merkezinin güneybatısında kent merkezine yakın alanlarda yeni konut alanlarının açılması. Sümer Mahallesi.
- Kentin güneybatısında Orhangazi ormanlık alanının güneyinde Porsuk Çayı boyunca yeni gelişme alanlarının açılması.

- Kent merkezinin güney doğusunda yeni gelişme alanı Erenköy Mahallesi.
- Askeri Havaalanı'nın güneyinde kentin doğusunda yeni gelişme alanı. Gündoğdu Mahallesi.

B. Kuru tarım alanlarından kentsel yerleşim alanlarına olan değişim:

Kuru tarım alanlarından yapılaşmış alanlara olan değişim incelendiği zaman sulu tarım alanları sınıflamasında olduğu gibi yanlış sınıflama alanlarına rastlanmıştır. Nedeni 1999 tarihli görüntüde yapılaşmış alan sınıflaması hatasıdır.

- Kent merkezinin batısında Kütahya karayolu boyunca yeni gelişme alanlarının açılması. Sazova Mahallesi'nin kuzeyi.
- Kentin güneyinde ormanlık alan ile kent merkezi arasındaki Osmangazi Üniversitesi'ne yakın alanlarda yeni gelişme alanlarının açılması. Büyükdere ve Gültepe Mahalleleri.
- Kentin güneydoğusunda Ankara karayolu boyunca EOSB'ye doğru yeni gelişim alanlarının açılması. Yenidoğan, Erenköy ve Emek Mahalleleri.
- Kentin kuzey doğusunda Ankara – Bilecik karayolunun ve Askeri Havaalanı'nın kuzeyinde yeni gelişme alanlarının açılması. Fevzi Çakmak Mahallesi.

C. Tarım dışı arazilerinden kentsel ve kırsal yerleşim alanlarına olan değişim:

- Kent merkezinin güneybatısında yeni gelişme alanları. Sümer ve Osmangazi Mahalleleri arasındaki alanlar.
- Kentin güneybatısında Orhangazi ormanlık alanının güneyinde Porsuk Çayı boyunca yeni gelişme alanlarının açılması.
- Kentin güneyinde ormanlık alanının kuzeyinde Osmangazi Üniversitesi'ne yakın alanlarda yeni gelişme alanlarının açılması. Büyükdere ve Gültepe Mahalleleri.
- EOSB'nin güneyinde Ankara karayolunun güneyinde yeni gelişme alanı. Sultandere Mahallesi.
- Kentin doğusunda sulu tarım alanlarında Yassıhöyük kırsal yerleşim alanı.

D. Ormanlık alanlardan kentsel yerleşim alanlarına olan değişim:

Ormanlık alanların yerleşime açıldığı alanlar incelendiğinde, alansal değişimlerin daha çok kent merkezinde ve küçük alanlar olarak gerçekleştiği görülmektedir.

- Kent merkezinin güneybatısında yeni gelişme alanları. Sümer ve Osmangazi Mahalleleri.
- Kentin güneybatısında, ormanlık alanının batısında yeni gelişme alanı.
- Kentin güneyinde ormanlık alan ile kent merkezi arasındaki Osmangazi Üniversitesi'ne yakın alanlarda yeni gelişme alanlarının açılması. Büyükdere ve Gültepe Mahalleleri.

E. Sanayi alanlarına olan değişim:

Sanayi alanı olarak tanımlanan alanlar, mesken binalarından daha büyük ve yer yer açık alanlara sahip bütünleşik alanlardır. Bu alanların tanımlanmasında büyüklük, şekil ve bazen de çevresel elemanlar söz konusudur. Bu tür alanların çatı malzeme özellikleri ve biçimleri mesken alanlarına göre farklılaşır.

Çalışmada bu sınıfta havaalanı pisti, sanayi alanları, tarım ya da benzeri kullanımı olmayan boş araziler, EOSB alanındaki ara yollar ve boş alanlar bulunmaktadır. Belirlenen alanlar;

- Kent merkezinin kuzeyindeki havaalanının pisti, buna ait binalar ve Anadolu Üniversitesi İki Eylül kampüsü.
- Kent merkezinin batısında küçük sanayi sitesi.
- Kentin doğusunda Ankara karayolu üzerinde EOSB alanı.
- EOSB'nin ve Ankara karayolunun güneyinde yer alan Sultandere Mahallesi

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Eskişehir ili 1987-1999 yılları arasındaki 12 yıllık arazi kullanım değişimi iki farklı sınıflandırma yöntemi kullanılarak izlenmiştir. Değişimde özellikle kentsel alanların değişimine dikkat edilmiş ve sonuçta bu değişime yönelik bulgular elde edilmiş ve yorumlar yapılmıştır.

Uygulama aşamasında öncelikle görüntü iyileştirme ve koordinatlandırma çalışmaları yapılmıştır. Her iki farklı tarihli görüntü için iki farklı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Her bir görüntünün sınıflandırılması sonucunda toplamda 4 doğruluk analizi tablosu elde edilmiştir. Bu analizler değerlendirildikten sonra, uygulanan sınıflama yöntemlerinden en uygun ve sağlıklı sonucun elde edildiği; doğruluk analizi tablolarına göre en yüksek değeri alan görüntülerin sınıflandırıldığı yöntem en uygun yöntem olarak seçilmiştir. Temel bileşenler analizi en uygun yöntem olup bu yöntem sonucunda elde edilen sınıflandırılmış görüntüler değişim matrisinde kullanılmıştır. Değişim matrisi ile kent ve kent dışı arazi kullanım alanlarının alansal değişimi ve büyüklüğü belirlenmiştir.

Çalışmada, 1987 Eylül Landsat 5 TM ve 1999 Eylül Landsat 7 ETM verileri ile iki türlü sınıflandırma yapılmıştır. Bunlar “Klasik Sınıflandırma” ve “Temel Bileşenler Analizi Yöntemi ile Sınıflandırma”. Her iki yöntem içinde “Eğitilmiş Sınıflandırma” ile “En Yakın Komşu Örnekleme Metodu” kullanılmıştır. Sınıflandırılmış görüntüler sonucunda doğruluk analizleri yapılmış ve sınıflandırmanın doğruluğunu gösteren doğruluk analizi değerleri ile kapa değerleri elde edilmiştir.

Klasik yöntem ile sınıflandırma sonucu, 1987 Eylül Landsat 5 TM RGB/743 sınıflandırılmış görüntüsünün doğruluk analizi değeri % 63.03, kapa değeri 0.5813; 1999 Eylül Landsat 7 ETM RGB/743 sınıflandırılmış görüntüsünün doğruluk analizi değeri % 41.24, kapa değeri 0.3551'dir.

Temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırma sonucu, 1987 Eylül Landsat 5 TM RGB/432 temel bileşeni sınıflandırılmış görüntüsünün doğruluk analizi değeri % 79.83, kapa değeri 0.7791; 1999 Eylül Landsat ETM RGB/432 temel bileşeni sınıflandırılmış görüntüsünün doğruluk analizi değeri % 76.14, kapa değeri 0.7491'dir.

İki sınıflandırmanın sonucu karşılaştırıldığı zaman, en yüksek sonuçların temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırmanın olduğu görülmüştür. Klasik sınıflandırma sonucu elde edilen doğruluk ve kappa değerleri diğer yöntemlere göre düşük olduğu gibi, standart değerlerin (doğruluk analizi % 70, kappa değeri 0.7500) altında da çıkmıştır. Temel bileşenler analizi yöntemi ile sınıflandırma yöntemi 1987 Eylül Landsat 5 TM RGB/432 temel bileşeni ile elde edilen sonuçlar, 1999 Eylül Landsat 7 ETM RGB/432 temel bileşeni ile elde edilen sonuçlara göre daha yüksek çıkmıştır. Sınıflamanın, kullanılan verilerin aynı aya ait olmasına rağmen uydu görüntülerinin türüne göre farklılaştığı ve farklı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Landsat 5 TM verisinin kentsel alanların belirlenmesinde, 234 temel bileşenleri kullanılarak daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmüştür. RGB/234 temel bileşenleri kentsel alanların belirlenmesinde uygundur.

Çalışma sonucunda elde edilen alansal verilerin kıyaslanması amacıyla 1990 ve 2000 yıllarında hazırlanan Nazım İmar Planlarına göre kentsel alan büyüklükleri incelenmiştir. Elde edilen verilere göre 1990 yılı toplam kentsel alan 7343 ha, 2000 yılı 10.540 ha'dır [30]. Bu büyüklük içine konut, merkezi ticaret alanı ile sanayi alanı dahil edilmiştir. Çalışma sonucu elde edilen veriler ise 1987 yılı 5.944 ha ve 1999 yılı 12.186 ha'dır. Görüldüğü gibi değerler elde edilen Nazım İmar Planı değerlerine yakın çıkmıştır. Ancak 1987 tarihli görüntüden elde edilen büyüklük, 1999 tarihli görüntüden elde edilen büyüklüğe göre doğruluğu daha fazladır. Yapılan sınıflandırma işlemlerinde de görsel olarak yapılan analize ve doğruluk analizi raporlarına göre aynı sonuca ulaşılmaktadır.

Tüm bu analiz ve yorumların ışığında kentin, bu 12 yıllık değişim sürecinde yağ lekeli (kent gelişim yönü birden fazla) şeklinde geliştiği görülmüştür. Aynı zamanda kent merkezindeki boş ve yarı boş alanların dolması ile yoğunluk artışı olduğu gözlenmiştir. Ancak yapılan çalışma ile yatayda olan yoğunluk değişimi (boş alanların yapılaşmaya açılması) belirlenebilir.

Kentin gelişme yönlerine bakıldığında her yöne gelişim söz konusudur. Bu gelişimin nedenleri arasında, kent çeperlerinde bulunan çekici unsurlar bulunmaktadır.

Kentin kuzey ve kuzey batısında yer alan Anadolu Üniversitesi Yunus Emre Kampüsü'nün alansal ve nüfus olarak büyümesi ile İki Eylül Kampüsü'nün kurulması. Güneyde yer alan Osmangazi Üniversitesi'nin alansal ve nüfus olarak büyümesi. Doğuda yer alan EOSB'nin gelişip büyümesi unsurlarıdır. Bu çekici unsurlar nedeniyle kent merkezinin bu alanlara doğru gelişmesi söz konusu olmuş ve bu alanlara yakın yerlerde mevcut yoğunluk artışı meydana gelmiştir. Aynı zamanda yeni alt merkez oluşumu söz konusudur (Sultandere Mahallesi).

Gelişme aksları çevredeki önemli şehirler ile olan karayolu bağlantıları boyunca görülmektedir. Doğuda Ankara karayolu, batıda Kütahya karayolu ve İstanbul-Bursa karayolu boyunca gelişim söz konusudur. Ankara karayolu boyunca olan gelişim diğer iki aksa göre daha fazladır. EOSB'nin bu dönemde önemli ölçüde büyümesi bu gelişimin etkenleri arasındadır.

Sanayi alanlarının gelişimi incelendiğinde, özellikle EOSB'nin Ankara karayolu boyunca genişlemesi dikkat çekmektedir. Kentin kuzeyinde yeni havaalanı açılması ve buna bağlı binalar ile İki Eylül Kampüs alanı ve batıdaki küçük sanayi sitesinin genişlemesi ile yeni gelişme alanları oluşmuştur.

Kentin gelişimine engel olan etkenler arasında, doğusundaki askeri havaalanı, kuzeyindeki havaalanı, güneyindeki ormanlık alan, kuzey doğusunda sulu tarım arazileri yer almaktadır. Bu yüzden kentin karayolu ile bağlı olduğu büyük kentlere doğru gelişimi ağır basmaktadır.

Kullanılan Landsat 5 TM ve Landsat 7 ETM verileri üst ölçekteki çalışmalar için uygun çözünürlükte verilerdir. Bu veriler 1/25000 ve 1/50000 ölçekteki kentsel-kırsal alansal değişiminin belirlenmesinde, uygun spektral çözünürlükteki verilerdir.

Sınıflandırmada temel sınıflar oluşturulurken, daha fazla sayıda sınıf oluşturulmalıdır. Daha sonra bu sınıflar, temel sınıflara uygun şekilde birleştirilmelidir.

Sınıflandırma sonucu değişimin belirlenmesinden önce, sınıflandırmanın doğruluğunu anlamada doğruluk analizi yapılmalıdır. Değişim analizi yapılacak çalışmalarda kullanılan farklı yıllara ait görüntülerin aynı mevsim ve hatta aynı saatte olmasına dikkat edilmelidir.

Sınıflandırmada kullanılan veriler ile ilgili spektral ve radyometrik iyileştirmelerden, yapılacak çalışmaya göre, uygun olan yöntemler seçilebilir. Bu iyileştirmeler ile üzerinde iyileştirme yapılan veriler ile daha sağlıklı sınıflandırma çalışmaları yapılabilir. Ancak ham verilerin spektral değerlerinin değişmemesi sınıflandırma için önemlidir.

Çalışmada arazi değişimi sadece fiziksel alan değişimi olarak gerçekleştirilebilmiştir. Ancak bu, Eskişehir ilinin gelişiminin, gerçeğe dayalı şekilde sonuçlar elde edilmesinde tek veri olamaz ve buna dayalı olarak sağlıklı gelişim yorumları yapılamaz. Çünkü kent içinde birçok dinamiği birden barındırır. Nüfus, nüfus yoğunlukları, demografik değerler, gelişmişlik durumu, eğitim, sağlık, kültür vb. sosyal değerlerin analiz ve değişimlerinin bilinmesi ile ticari, ekonomik, hizmetler vb. ekonomik değerlerin analiz ve değişimlerinin bilinmesi gerekir. Yapılacak bir kentsel değişim çalışmasında tüm bu kriterlerin analizi söz konusudur. Ancak yapılan bu çalışma ile bir kentin gelişiminin gözlemlenmesi sağlanarak kentin gelişimi her ölçekte ve her büyüklükte izlenebilir. Gerçeğe yakın alansal büyüklükler takip edilerek o yer hakkında gelişime dair yorumlarda bulunulabilir. Aynı zamanda daha yüksek çözünürlüklü veriler kullanılarak daha sağlıklı ve gerçek sonuçlara ulaşılabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Anonim, *Eskişehir'i tanıyın*, 2006.  
[http://www.eskisehir-bld.gov.tr/esk\\_taniyin/esk.html](http://www.eskisehir-bld.gov.tr/esk_taniyin/esk.html)
- [2] Ertin, G., *Eskişehir kentinde yerleşmenin evrimi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1994.
- [3] Anonim, *Eskişehir ili sanayi ve ticaret*, 2006.  
<http://www.eskisehir.gov.tr/index.aspx?id=32>
- [4] Anonim, *Uzaktan algılamanın tanımı*, 2005.  
<http://www.csrs.itu.edu.tr/page.tr.php?id=10&PHPSESSID=74df33955d3e5a774075d2c91e0bccca>
- [5] Anonim, *Hat Coğrafi Bilgi Sistemleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.*, TNT Mips
- [6] Cracknell, A. ve Hayes, L., *Introduction to Remote Sensing*, Taylor & Francis, London, 1991.
- [7] Altuntaş, C. ve Çorumluoğlu, Ö., “ Uzaktan algılama görüntülerinde digital görüntü işleme ve RSImage yazılımı,” *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. yıl sempozyumu bildiriler kitabı*, Konya, 2002.
- [8] Aşık, Ö., *Detecting landuse changes at urban fringe using GIS and remote sensing technologies*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
- [9] Yuan, D. ve Elvidge, C., “NALC land cover change detection pilot study: Washington D.C. area experiments,” *Remote Sensing Environment*, **66**, 166-178, 1998.
- [10] Chneg, K.S., Wei, C. ve Chang, S.C., “Locating landslides using multi-temporal satellite images,” *Advances in Space Research*, **33**, 296–301, 2004.
- [11] Bayram, B., *İstanbul örneğinde uydu görüntülerinin coğrafi bilgi sistemi ile bütünleştirilmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.

- [12] Billah, M. ve Rahman, G.A., "Land cover mapping of Khulna city applying remote sensing technique," *Proc. 12th int. conf. on geoinformatics, Geospatial information research*, 2004.
- [13] Ayhan, E., Karşlı, F. ve Tunç, E., "Uzaktan Algılanmış Görüntülerde Sınıflandırma ve Analiz," *Hrt. Gn. K.lığı, Harita Dergisi*, **130**, 32-46, 2003.
- [14] Wiemker, R., Speck, A., Kulbach, D., Spitzer, H. ve Bienlein, J., "Unsupervised robust change detection on multispectral imagery using spectral and spatial features," *The Third Airborne remote sensing conference and exhibition*, Copenhagen, Denmark, 1997.
- [15] Christel, L., Groessl, C. ve Krawczak, P., "Changes in the coverage and distribution of open space in the greater Tucson Metropolitan Area, 1984 – 1998," *Arid Lands Resource Sciences Graduate Program*, University of Arizona, December, 1999.
- [16] Vescovi, F.D., Duadze, S. ve Menz, G., "Use of remote sensing for land use and natural resources investigations in the Volta Basin," *Remote Sensing Research Group (RSRG) Department of Geography, University of Bonn*, Bonn, 2002.
- [17] Huskainen, P. ve Pellikka, P., "Change Detection of informal settlements using Multitemporal Aerial Photographs – the Case of VOI, SE-KENYA," *Department of Geography, University of Helsinki*, Helsinki, Finland, 2004.
- [18] Tardie, P.S. ve Congalton, R.G., "A Change-detection Analysis: Using remotely sensed data to assess the progression of development in Essex County, Massachusetts from 1990 to 2001," *Department of Natural Resources*, New Hampshire, 2002.
- [19] Chirapiwat, T., "Level II Urban land use classification and change detection using multi spectral remote sensing," *Urban, Technological and Environmental Planning*, 1999.
- [20] Howarth, P. J. ve Wickvare, G. M., "Procedures for change detection using Landsat digital data, *Int. J. Remote Sensing*," **2**, 277-291, 1981.

- [21] Christel, L., Groessl, C. ve Krawczak, P., "Open space issues in expanding urban environments: An integrated assessment for the municipalities of Tucson and Vail, Pima county, Arizona," *Arid lands resources sciences graduate program*, Arizona, 1999.
- [22] Civco, D.L., Hurd, J.D., Arnold, C.L. ve Prisloe, S., "Characterization of Suburban Sprawl and Forest Fragmentation Through Remote Sensing Applications", *International journal of remote sensing*, 16, 2000.
- [23] Yuan, F., Sawaya, K.E., Loeffelholz, B.C. ve Bauer, M.E., "Land Cover Classification and Change Analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by Multitemporal Landsat Remote Sensing," *Remote Sensing and Geospatial Analysis Laboratory*, Minnesota, 2000.
- [24] Anonim, *Uydular*, 2005.  
<http://www.nik.com.tr/new/yazilimlar/uydular/landsat.htm>
- [25] Anonim, *Uydular*, 2005.  
[http://www.mta.gov.tr/RSC\\_WEB/notlar\\_ic.html](http://www.mta.gov.tr/RSC_WEB/notlar_ic.html)
- [26] Anonim, "Erdas imagine, Field guide sixth edition," *Lecia geosystems*, USA, 2002
- [27] Anonim, *Radyometrik iyileştirme*, 2006.  
[http://www.ume.maine.edu/~MIAL/INT527/INTT527\\_05/Lab/lab2Change\\_090805.doc](http://www.ume.maine.edu/~MIAL/INT527/INTT527_05/Lab/lab2Change_090805.doc)
- [28] Anonim, *Eskişehir İli Arazi Yıllığı*, T.C. Tarım ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 1999.
- [29] Avdan, U., *ERS-2 SAR verisi ile Eskişehir yerleşim bölgesinin kentsel gelişiminin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [30] Ulu, A., *Merkezi iş alanlarının (MİA) fiziksel ve ekonomik olarak yeniden yapılanması, Eskişehir örneği*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.