

**UZAKTAN ALGILAMADA ÇOKLU-SET KANONİK
KORELASYON ANALİZİ İLE DEĞİŞİKLİK TESPİTİ**

**CHANGE DETECTION IN REMOTE SENSING VIA
MULTI-SET CANONICAL CORRELATION ANALYSIS**

ALİ CAN ARIK

YRD. DOÇ. DR. YAKUP ÖZKAZANÇ

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı için Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2014

ALİ CAN ARIK'ın hazırladığı **Uzaktan Algılamada Çoklu-Set Kanonik Korelasyon Analizi İle Değişiklik Tespiti** adlı çalışma aşağıdaki jüri tarafından **ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

(Prof. Dr. A. Salim KAYHAN)

Başkan

(Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ)

Danışman

(Prof Dr. Uğur BAYSAL)

Üye

(Prof. Dr. Mustafa TÜRKER)

Üye

(Yrd. Doç. Dr. Derya ALTUNAY)

Üye

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01/07/2014

Ali Can ARIK

ÖZET

UZAKTAN ALGILAMADA ÇOKLU-SET KANONİK KORELASYON ANALİZİ İLE DEĞİŞİKLİK TESPİTİ

Ali Can ARIK

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Yakup Sabri ÖZKAZANÇ

Temmuz 2014, 100 sayfa

Bu çalışmada uzaktan algılamada değişiklik tespiti için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım kullanılarak aynı bölgeye ait en az iki uydu görüntüsü kullanılarak değişimin ortaya çıkarılabileceği gösterilmiştir.

Geliştirilen yöntem, çoklu-set kanonik korelasyon analizine dayanmaktadır. Bu yöntem, çok kanallı değişken kümeleri arasında ilintilerin ortaya çıkarılması için güçlü bir yaklaşım olarak bilinmektedir. Çoklu-set kanonik korelasyon analizi ile imgeler doğrusal fonksiyonlar ile aralarında ilinti en büyük olacak şekilde kanonik değişkenlere dönüştürülür. Bu doğrusal fonksiyonlar izgesel kanallardan veya aynı zamana ait değişkenlerden elde edilebilir.

Avrupa Uzay Ajansı tarafından bilimsel kamuoyunun kullanımına açılan Culture-MERIS verileri, benzer yöntemler ve geliştirilen yaklaşımın başarımının incelenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Uzaktan Algılama, Çoklu-set Kanonik Korelasyon Analizi, Değişiklik Tespiti

ABSTRACT

CHANGE DETECTION IN REMOTE SENSING VIA MULTI-SET CANONICAL CORRELATION ANALYSIS

Ali Can ARIK

**Master of Science, Department of Electrical and Electronics
Engineering**

Supervisor: Yrd. Doç. Yakup Sabri ÖZKAZANÇ

July 2014, 100 pages

In this study, a new change detection approach is proposed for remote sensing domain. It is shown that the proposed method can be employed to expose land cover alteration in remotely sensed imagery.

The proposed method is based on multi-set canonical correlation analysis, which is an outstanding procedure for revealing correlated information between multi-set variables. Multi-set canonical correlation analysis makes it possible to obtain maximally correlated variables from linear combinations of input multi-set variables. Analysis can be carried out in sets consisting of fixed spectral variables in different times or various spectral variables belonging to fixed acquisition times.

European Space Agency has made Culture-MERIS product freely available for the scientific community. The proposed method and related change detection methods are applied on the Culture-MERIS for comparison and performance assessment.

Keywords: Remote Sensing, Multi-set Canonical Correlation Analysis, Change Detection

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca derin bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren Sayın Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ'a,

Uydu görüntülerinin temininde sağladığı desteği için Avrupa Uzay Ajansı'ndan Sayın Vasileios Kalogirou'ya,

Süreç boyunca verdikleri destek için TÜBİTAK SAGE'ye ve mesai arkadaşlarıma, özellikle Sayın Hüseyin Caner BECER'e,

Sonsuz motivasyon kaynağım arkadaşlarıma,

Koşulsuz yanımda olduklarını hissettiren annem, babam ve kardeşime,

Tez çalışmamda bitmeyen anlayışı için eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Çizelgeler	vi
Şekiller	vii
Sözlük Dizini	xii
Kısaltmalar Dizini.....	xiv
1. Giriş	1
2. Uzaktan Algılama Alanında Değişiklik Tespiti	3
2.1. Teori.....	4
2.2. Cebirsel Yöntemler	6
2.2.1. Tek Değişkenli İmge Farkı Alma	6
2.2.2. İmge Oranlama.....	10
2.2.3. İmge Bağlanımı.....	12
2.2.4. Kritik Eşik Değerinin Seçimi	13
2.2.4.1. Oransal Eşik.....	14
2.2.4.2. Otsu Yöntemi	15
2.2.4.3. Kapur Yöntemi	17
2.3. Dönüşüme Dayalı Yöntemler	17
2.3.1. Temel Bileşenler Analizi	18
2.3.2. Kanonik Korelasyon Analizi	24
2.4. Mevcut Metotların Karşılaştırması	30
2.4.1. Tek Değişkenli İmge Farkı Alma	34
2.4.2. İmge Oranlama.....	38
2.4.3. İki İmge için Temel Bileşenler Analizi	40
2.4.4. İkiden Fazla İmge için Temel Bileşenler Analizi.....	43
2.4.5. Kanonik Korelasyon Analizi	48
3. Kullanılan Veri Kümesi	52
3.1. Envisat Gözlem Uydusu ve Ürünleri	52
3.2. Culture-MERIS Hizmeti.....	55
4. Geliştirilen Yaklaşım.....	62
4.1. Teori – Çoklu-Set Kanonik Korelasyon Analizi.....	62
4.2. Uygulama.....	67

5. Örnek Uygulamalar	69
5.1. Uygulama 1	69
5.2. Uygulama 2	76
5.3. Uygulama 3	85
6. Sonuçlar.....	94
Kaynaklar	97
Özgeçmiş	100

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. MERIS algılayıcının özellikleri	53
Çizelge 3.2. MERIS bantları dalga boyları ve kullanım alanları [25]	54
Çizelge 3.3. ESA ürünleri için işleme seviyesi tanımları	55
Çizelge 3.4. Culture-MERIS veri katmanları.....	60
Çizelge 5.1. Uygulama 1 için kullanılan Culture-MERIS verileri.....	69
Çizelge 5.2. Uygulama 1 - Kanonik İlinti Değerleri	70
Çizelge 5.3. Uygulama 1 (Ölçüm Hatalı Durum) - Kanonik İlinti Değerleri	72
Çizelge 5.4. Uygulama 2 - Kanonik İlinti Değerleri	78
Çizelge 5.5. Uygulama 2 (Ölçüm Hatalı Durum) - Kanonik İlinti Değerleri	80
Çizelge 5.6. Uygulama 3 - Kanonik İlinti Değerleri	87
Çizelge 5.7. Uygulama 2 (Ölçüm Hatalı Durum) - Kanonik İlinti Değerleri	88
Çizelge 6.1. Bilişim Ortamı.....	95

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Tipik bir fark imgesi histogramı	7
Şekil 2.2. Adana bölgesinde bir imge çifti üzerine tek değişkenli imge farkı alma uygulaması	9
Şekil 2.3. Tipik bir tek değişkenli oran imgesi histogramı (normalize edilmemiş)	10
Şekil 2.4. Tipik bir tek değişkenli oran imgesi histogramı (normalize edilmiş)	11
Şekil 2.5. İmge oranlama sonucu (a) ve eşiklenmiş imge (b)	12
Şekil 2.6. İmge bağlanımı sonucunda elde edilen fark imgesi (a) ve eşikleme sonucu (b)	13
Şekil 2.7. Tipik bir fark imgesinin olasılıksal birikimli histogramı	14
Şekil 2.8. Aynı yere ait iki farklı imgenin saçılma çizeneği	18
Şekil 2.9. Landsat MSS imgesinden elde edilmiş olan izgesel yansıtıcılık değerleri	21
Şekil 2.10. Farklı değişiklik bölgelerinin Landsat MSS 7. bant verileri üzerinden temsili saçılma grafiği ([15]'ten uyarlanmıştır)	22
Şekil 2.11. 29 Aralık 1979 ve 14 Aralık 1980 tarihlerinde alınan Sydney ve etrafının görüntülendiği Landsat MSS 7. bant imgeleri	22
Şekil 2.12. İlgili bölgeye ait imgelere TBA tatbik edilmesi ile elde edilen 4. temel bileşen imgesi (TB1, TB2; TB3, TB4)	23
Şekil 2.13. Yüksek dereceli temel bileşenlerden elde edilen renkli değişim imgesi	24
Şekil 2.14. Farklı tarihlere ait Landsat imgeleri	30
Şekil 2.15. 20110103-20110109 tarihli (t_1) H34V15 kompoziti	32
Şekil 2.16. 20110110-20110116 tarihli (t_2) H34V15 kompoziti	33
Şekil 2.17. 20110117-20110123 tarihli (t_3) H34V15 kompoziti	33

Şekil 2.18. 20110117-20110123 tarihli (t_4) H34V15 kompoziti	34
Şekil 2.19. Tek Değişkenli İmge Farkı (t_1-t_2)	35
Şekil 2.20. Eşiklenmiş Tek Değişkenli İmge Farkı (t_1-t_2)	35
Şekil 2.21. Ölçüm hatası ile fark alma	36
Şekil 2.22. Ölçüm hatası ile eşiklenmiş fark imgesi	36
Şekil 2.23. İmge oranlama sonucu.....	38
Şekil 2.24. Eşiklenmiş imge oranlama sonucu	38
Şekil 2.25. Sensör hatası eklenmiş imge oranlama sonucu.....	39
Şekil 2.26. Sensör hatası eklenmiş eşiklenmiş imge oranlama sonucu	39
Şekil 2.27. 1. temel bileşen	40
Şekil 2.28. 2. temel bileşen	41
Şekil 2.29. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 1. temel bileşen	41
Şekil 2.30. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 2. temel bileşen	42
Şekil 2.31. 1. temel bileşen	43
Şekil 2.32. 2. temel bileşen	44
Şekil 2.33. 3. temel bileşen	44
Şekil 2.34. 4. temel bileşen	45
Şekil 2.35. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 1. temel bileşen	45
Şekil 2.36. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 2. temel bileşen	46
Şekil 2.37. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 3. temel bileşen	46
Şekil 2.38. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 4. temel bileşen	47
Şekil 2.39. 1. kanonik değişken imgeleri.....	48
Şekil 2.40. 2. kanonik değişken imgeleri.....	48
Şekil 2.41. ÇDDT değişkeni imgeleri.....	49

Şekil 2.42. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 1. kanonik değişken imgeleri	49
Şekil 2.43. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 2. kanonik değişken imgeleri	50
Şekil 2.44. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden ÇDDT değişken imgeleri.....	50
Şekil 3.1. Culture-MERIS kompozit numaralandırma şeması.....	56
Şekil 3.2. 7 Mart 2011 – 13 Şubat 2012 tarihleri arasında ortalama haftalık MERIS taramaları [29]	57
Şekil 3.3. 42 haftalık bir süreç için bölgelere göre açık (bulutsuz ve karsız) MERIS gözlemlerinin oranları [29]	57
Şekil 4.1. R-kişi ÇKKA: Üst satırda gösterilen değişkenler alt satırdaki kanonik değişkenlere dönüştürülür [2].	66
Şekil 4.2. T-kişi ÇKKA: Üst satırda gösterilen değişkenler alt satırdaki kanonik değişkenlere dönüştürülür [2].	67
Şekil 5.1. Kompozit imgeleri için R-kişi kanonik değişkenler.....	70
Şekil 5.2. Kompozit imgeleri için R-kişi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	71
Şekil 5.3. Kompozit imgeleri için R-kişi kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.....	71
Şekil 5.4. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için R-kişi kanonik değişkenler.....	72
Şekil 5.5. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için R-kişi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	73
Şekil 5.6. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için R-kişi kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.....	73
Şekil 5.7. Kompozit imgeleri için T-kişi kanonik değişkenler.....	74

Şekil 5.8. Kompozit imgeleri için T-kipi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	74
Şekil 5.9. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için T-kipi kanonik değişkenler.	75
Şekil 5.10. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için T-kipi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	75
Şekil 5.11. Otobüs durağı veri kümesine ait orijinal (sol sütun) ve gürültü ile kirletilmiş (sağ sütun) imgeler.....	77
Şekil 5.12. Otobüs durağı veri kümesi imgeleri için R-kipi kanonik değişkenler.	78
Şekil 5.13. Otobüs durağı veri kümesi imgeleri için R-kipi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	79
Şekil 5.14. Otobüs durağı veri kümesi imgeleri için R-kipi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	79
Şekil 5.15. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için R-kipi kanonik değişkenler.	80
Şekil 5.16. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için R-kipi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.....	81
Şekil 5.17. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için R-kipi kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.	81
Şekil 5.18. Otobüs durağı imgeleri için T-kipi kanonik değişkenler.	82
Şekil 5.19. Otobüs durağı imgeleri için T-kipi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.....	82
Şekil 5.20. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için T-kipi kanonik değişkenler.	83
Şekil 5.21. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için T-kipi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.....	83

Şekil 5.22. Beytepe veri kümesine ait orijinal (sol sütun) ve gürültü ile kirletilmiş (sağ sütun) imgeler.....	85
Şekil 5.23. Beytepe veri kümesi imgeleri için R-kipli kanonik değişkenler.	86
Şekil 5.24. Beytepe veri kümesi imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	86
Şekil 5.25. Beytepe veri kümesi imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.	87
Şekil 5.26. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için R-kipli kanonik değişkenler.	88
Şekil 5.27. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	89
Şekil 5.28. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.	89
Şekil 5.29. Beytepe imgeleri için T-kipli kanonik değişkenler.	90
Şekil 5.30. Beytepe imgeleri için T-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	90
Şekil 5.31. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için T-kipli kanonik değişkenler.	91
Şekil 5.32. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için T-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.	91

SÖZLÜK DİZİNİ

Türkçe

İngilizce

Artıklılık	: Redundancy
Bağlanım	: Regression
Birikimli histogram	: Cumulative histogram
Değişiklik tespiti	: Change detection
Değişinti	: Variance
Eniyileme	: Optimization
İlgin	: Affine
İlinti	: Correlation
İzgesel	: Spectral
Kayıtlama	: Registration
Matris kertesı	: Matrix rank
Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi	: Normalized Difference Vegetation Index
Ölçeğe karşı duyarsızlık	: Scale invariance
Özvektör	: Eigenvector
Sağılma Çizeneği	: Scatterplot
Taban	: Basis
Tanım kümesi	: Domain

Tekil matris : Singular matrix

Yansıtıcılık : Reflectance

Yeryüzü kayıtlama : Georeferencing

KISALTMALAR DİZİNİ

ÇDDT	: Çok Değişkenli Değişiklik Tespiti
ÇKKA	: Çoklu-Set Kanonik Korelasyon Analizi
KKA	: Kanonik Korelasyon Analizi
NEFBÖİ	: Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
TBA	: Temel Bileşenler Analizi

1. GİRİŞ

Gözetleme uydularından alınan imgeler denizler ve diğer su alanlarının, her türlü kara parçasının ve atmosferinin incelenmesi açısından çok kıymetli veri setleri olarak yorumlanabilir. Geleneksel olarak aynı yerin farklı zamanlarda alınmış iki uydu görüntüsünün karşılaştırmalı analizine dayanan yaklaşıma uzaktan algılama disiplini içinde değişiklik tespiti (Change Detection) problemi adı verilmektedir. Günümüzde değişiklik tespiti için önerilmiş ve kullanılmakta olan çeşitli algoritmalar mevcuttur.

Bu tez çalışması, uydu görüntüleri üzerinde değişiklik tespiti için kullanılabilecek yeni bir algoritma geliştirmeyi hedeflemektedir. Geliştirilecek olan değişiklik tespiti algoritmasının temel özelliği ikiden fazla imge arasındaki değişiklikleri tespit edebilecek bir yapıda olmasıdır. Kanonik korelasyon analizi, istatistik disipliniinde sıkça kullanılan bir yöntemdir [1], ancak uzaktan algılama alanında uygulamaları yakın zamanda ortaya çıkmıştır. Son yıllarda, iki veya daha fazla imge arasında kanonik korelasyonlar vasıtası ile değişiklik tespiti yapabilen bir algoritma önerilmiştir [2]. Bu tez çalışmasının hedefi, bu yaklaşımı çoklu-set kanonik korelasyon analizi/çözümlemesi (Multi-set Canonical Correlation Analysis) kullanarak ikiden fazla imge üzerinde değişiklik tespiti yaparak, değişimin gerçekleştiği bölgeleri öne çıkarmak olacaktır.

Bu hedefe yönelik olarak geliştirilecek olan çoklu değişiklik tespiti yaklaşımı Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından işletilen Envisat gözlem uydusundan derlenen Culture-MERIS uzaktan algılama ürünü üzerinden sınanacaktır. Culture-MERIS verileri, Dünya üzerinde seçilen kıtaların tamamında 300m çözünürlükte yüzey yansıtıcılığı imgelerini haftalık bazda sunmaktadır. Culture-MERIS ürünleri ESA tarafından Mart 2011 tarihinden itibaren haftalık olarak yayınlanmaktadır. İnternet üzerinden bilimsel kamuoyu ile paylaşılan bu imge setleri sayesinde haftalık, aylık ve mevsimsel değişimleri izlemek ve incelemek mümkün olacaktır.

Bu tez çalışması, birinci bölümü giriş olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde uzaktan algılama alanında değişiklik tespiti hakkında bilgi verilmektedir. Literatürde ve yaygın ticari ürünlerde kullanılmakta olan çeşitli değişiklik analizi yöntemlerinden bahsedilmiş, cebirsel ve dönüşüme dayalı yöntemlerin matematiksel temelleri incelenmiştir. Son olarak bu bölümde, tanıtılan yöntemlerin bir Culture-MERIS veri kümesi üzerine uygulamasına yer verilmiştir. Üçüncü bölüm, bu çalışmada kullanılan veri kümesinin tanıtımını içermektedir. Geliştirilen yöntem dördüncü bölümde incelenmiş ve kullanılan metodoloji ayrıntılarıyla tanımlanmıştır. Önerilen yöntem ile gerçekleştirilen değişiklik analizi uygulamalarına beşinci bölümde yer verilmiştir.

2. UZAKTAN ALGILAMA ALANINDA DEĞİŞİKLİK TESPİTİ

Değişiklik tespiti, bir nesnenin veya olgunun durumundaki değişimlerin teşhis edilmesi işlemidir. Temel olarak çok zamanlı veri kümeleri kullanılarak zamansal etkilerin ölçülmesini kapsar. Yer gözlem uydularından elde edilen uzaktan algılanmış imgelerin önemli uygulama alanlarından biri değişiklik tespittir. Bu uydular yörünge tamamlama periyotları göz önüne alındığında tutarlı bir karakteristikte ve sıklıkla aynı bölgeleri görüntüleyebildikleri için değişiklik tespitine araç olmaya son derece elverişlidirler.

Değişiklik tespitinin kullanılmakta olduğu bazı uygulama alanları aşağıda örneklenmiştir [3].

- Arazi kullanımı değişimi analizi
- Bitki yetiştirme değişimleri
- Orman alanı kaybının değerlendirilmesi
- Bitki örtüsü karakteri değişimleri
- Mera üretimindeki mevsimsel değişimler
- Hasar tespiti
- Bitki örtüsü takibi
- Afet takibi
- Eriyen kar hacmi takibi
- Gece gündüz termal karakteristikleri takibi

Yeryüzü üzerindeki biyofiziksel ve insan yapımı unsurların tasnif edilmesi, uzaktan algılama ve yerinde inceleme yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu unsurların bir kısmı zamanla değişmeyen statik özelliktedirler. Fakat biyofiziksel ve insan yapımı unsurlar genellikle dinamikler ve hızla değişen bir doğaya sahiptir. Fiziksel ve beşeri süreçlerin tam olarak anlaşılabilmesi için bu değişikliklerin doğru

olarak tespit edilmesi gerekir. Gerçekte yeryüzü örtüsünün değişimi, küresel değişimin büyük önem taşıyan bir bileşenidir. Bu nedenle uzaktan algılama camiasında, değişiklik tespiti yöntemlerinin geliştirilmesine önemli oranda efor gösterilmesi şaşırtıcı değildir [4].

2.1. Teori

Değişiklik tespiti, yeryüzü üzerindeki değişimin uzaktan algılama ile elde edilmiş veri üzerindeki ilgili yansıtıcılık değerindeki bir değişikliğe yol açacağı varsayımını temel alır.

Değişiklik tespiti, aynı yerin farklı zamanlarda alınmış veri setleri kullanılarak görüntüleme zamanları arasındaki yeryüzü değişikliğinin ayırt edilmesini kapsar. Kar örtüsü ve su taşkınları gibi kısa vadeli veya kent çeperi genişlemesi ve çölleşme gibi uzun vadeli değişiklikler bu kapsamda yer alır. İdeal olarak, üzerinde değişiklik tespiti yapılacak imgelerde aşağıdaki özelliklerin özdeş olması beklenir.

- Algılayıcıların izgesel tepkisi
- Uzamsal çözünürlük
- Görüntüleme geometrisi
- İzgesel bantlar
- Radyometrik çözünürlük
- Görüntülemenin gün içindeki saati

Bu isterler doğrultusunda, mevsimsel ve aydınlanma açısına bağlı farkları en aza indirmek amacıyla, görüntülemeler sıklıkla aynı algılayıcı ile yıl dönmelerinde gerçekleştirilir. Değişiklik tespitinin doğruluğu, farklı tarihlere ait verilerin yeryüzü üzerine kayıtlama doğruluğuna bağlıdır. Tipik olarak kayıtlama doğruluğunun $\frac{1}{2}$ pikselden büyük olmaması beklenir. 1 pikselden büyük kayıtlama hatalarının görüntülerin karşılaştırmasında hatalara sebep olacağı açıktır.

Değişken çevresel unsurlar, değişiklik tespiti sürecinin güvenilirliği açısından son derece etkilidir. Atmosferik etkilerin yanı sıra, göl

seviyesi, gelgit aşaması, rüzgâr, toprak nem miktarı gibi koşullar da etkili olabilir [4]. Ancak, ilerleyen bölümlerde değinileceği gibi, bu tez çalışmasında önerilen yöntem, değişiklik analizi yapılacak imgelerde verilen özelliklerdeki farklılıkları kısmen bertaraf edebilmektedir.

Literatürdeki değişiklik tespiti yöntemleri temel olarak yedi kategoriye ayrılabilir [5]:

1. Cebirsel: Genellikle basit yöntemler olup, uygulaması ve yorumlaması görece kolaydır. Ancak değişimin değişiklik bilgisini içeren detaylı matrisler sağlanamaz. Kritik eşik değeri seçimi genellikle ortak bir özelliktir.
2. Dönüşümsel: Bu yöntemlerin avantajı, verilerde yer alan artıklılığı azaltması ve türetilen bileşenlerde oluşturulan farklı bilgilerin vurgulanmasıdır. Ancak sonuçların yorumlanması cebirsel yöntemlere kıyasla güçtür.
3. Sınıflandırma: Sınıflandırılmış imgeler üzerine uygulanan değişim tespit yöntemleridir. Sınıflandırma işleminde eğitim örnekleri, sınıflandırma performansına doğrudan ve dolaylı olarak değişim analizine etki eder. Bu yöntemlerin avantajı değişim bilgisinin kapsamlı olarak elde edilebilmesidir.
4. Gelişmiş modeller: Yansıtıcılık değerleri genellikle fiziksel parametreler veya doğrusal-doğrusal olmayan modellerin oranları olarak ifade edilir. Dezavantaj olarak imge üzerinden elde edilen yansıtıcılık değerlerinin fiziksel değerlere çevrilmesindeki güçlük gösterilebilir.
5. Coğrafi bilgi sistemleri yaklaşımları: Entegre bir coğrafi bilgi sistemi kullanımı ile farklı kaynaklardan elde edilen verilerin değişiklik tespiti için kullanılabilmesidir. Ancak farklı kaynakların getirisi olan farklı doğruluklar sıklıkla sonuçları etkilemektedir.
6. Görsel analiz: Farklı zamanlardan alınmış olan imgelerin operatör tarafından otomatik olmayan yöntemlerle yorumlanmasına

dayanır. Bu kategorideki yöntemler, performans olarak operatörün bilgi ve tecrübe seviyesine bağlıdır.

7. Diğer yaklaşımlar: Literatürde diğer hiçbir kategori içinde değerlendirilemeyecek ve pratik kullanıma girmemiş olan farklı yöntemler de mevcuttur.

Bu çalışmada, geliştirilen yöntemde kullanılan cebirsel ve dönüşümsel yöntemler ayrıntılarıyla incelenmiştir. Özellikle çıkarımında benzer özellikler içeren bölümlerin detaylandırılması amaçlanmıştır.

2.2. Cebirsel Yöntemler

Cebirsel değişiklik tespiti yöntemleri, imgeleri uzamsal tanım kümesi içinde kullanan piksel tabanlı yöntemlerdir. Bu bölümde, uzaktan algılamada değişiklik tespiti için literatürde ve son kullanıcıya sunulan yazılım ürünlerinde sıklıkla kullanılan cebirsel yöntemler incelenmiştir.

Çok kanallı imgeler cebirsel yöntemler ile incelendiğinde her kanal için elde edilen sonuç ayrı ayrı ele alınabileceği gibi, sonuçların tek bir çok bantlı imge olarak incelenmesi mümkündür.

2.2.1. Tek Değişkenli İmge Farkı Alma

Sıklıkla kullanılan bir değişiklik tespiti yöntemi olan tek değişkenli imge farkı alma yönteminde imgelerin piksel değerlerinin basitçe farkı alınarak değişikliği temsil eden fark imgesi oluşturulur. Kullanılan matematiksel ilişki (2.1)'de verilmiştir.

$$Dx_{ij}^k = x_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1) + C \quad (2.1)$$

Burada,

x_{ij}^k : k izgesel bandında i satır ve j sütunda yer alan pikselin değeri

t_1 : ilk tarih

t_2 : son tarih

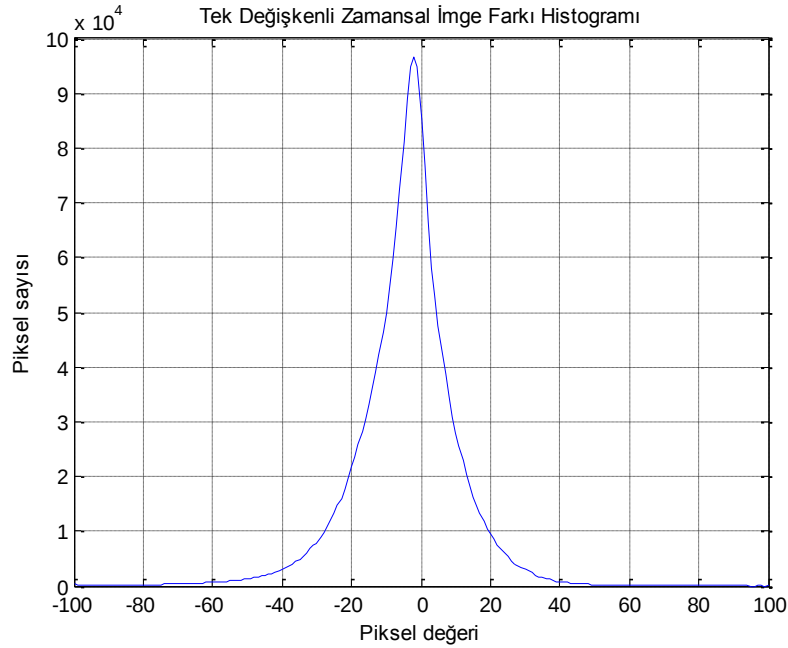
C: pozitif değerler elde etmek için kullanılan sabit değer.

Dx_{ij}^k : fark imgesinin ij-inci pikselde değeri

Girdi olarak kullanılan veri, ham veya uzamsal olarak filtrelenmiş imgelerden oluşabilir.

Elde edilen yansıtıcılık değişikliği bir dağılım olarak ifade edildiğinde, dağılımın ortalama değeri etrafında değişikliğin olmadığı pikseller gruplanma eğilimi gösterirken, değişime işaret eden pikseller dağılımın uçlarında yer alır.

Fark alma ve imge oranlama işlemlerinde, her piksel için elde edilen değerlerin değişim olarak nitelendirilmesi için bir eşik belirlenmesi gereklidir. Bu eşik belirlenirken fark veya oran imgesinin değerlerinin histogramı çıkarılarak değişimlerin histogram dağılımının uçlarında yer aldığı kabulü ile yaklaşılabilir. Dağılımın ortalama değerinden bir sapma miktarı ile değişim eşik değeri elde edilip imge eşiklenerek değişimin gözlemlendiği pikseller ortaya çıkarılabilir [6]. Şekil 2.1’de bir fark imgesi histogramı görülmektedir.



Şekil 2.1. Tipik bir fark imgesi histogramı

İmge farkı alma tekniği, ön işlenmiş imgeler üzerinde de uygulanabilmektedir. Örneğin imgelerin piksel değerleri (2.2)’de verilen bağıntıya göre normalize edildikten sonra imge farkı alınabilir [7].

$$G' = U' + \left(\frac{S'}{S} \right) \times (G - U) \quad (2.2)$$

Burada G piksel değeri, U imge ortalama piksel değeri, S imge standart sapmasını ifade etmektedir; ...' olarak ifade edilen değerler ise referans alınan imgeye ait ilgili parametrelerdir. Normalizasyon işleminden sonra tanımlanan tek değişkenli imge farkı alınıp eşiklenerek değişim elde edilebilir. İmgelerin piksel değerlerini normalize etmek, genellikle sonuçları iyileştirmektedir.

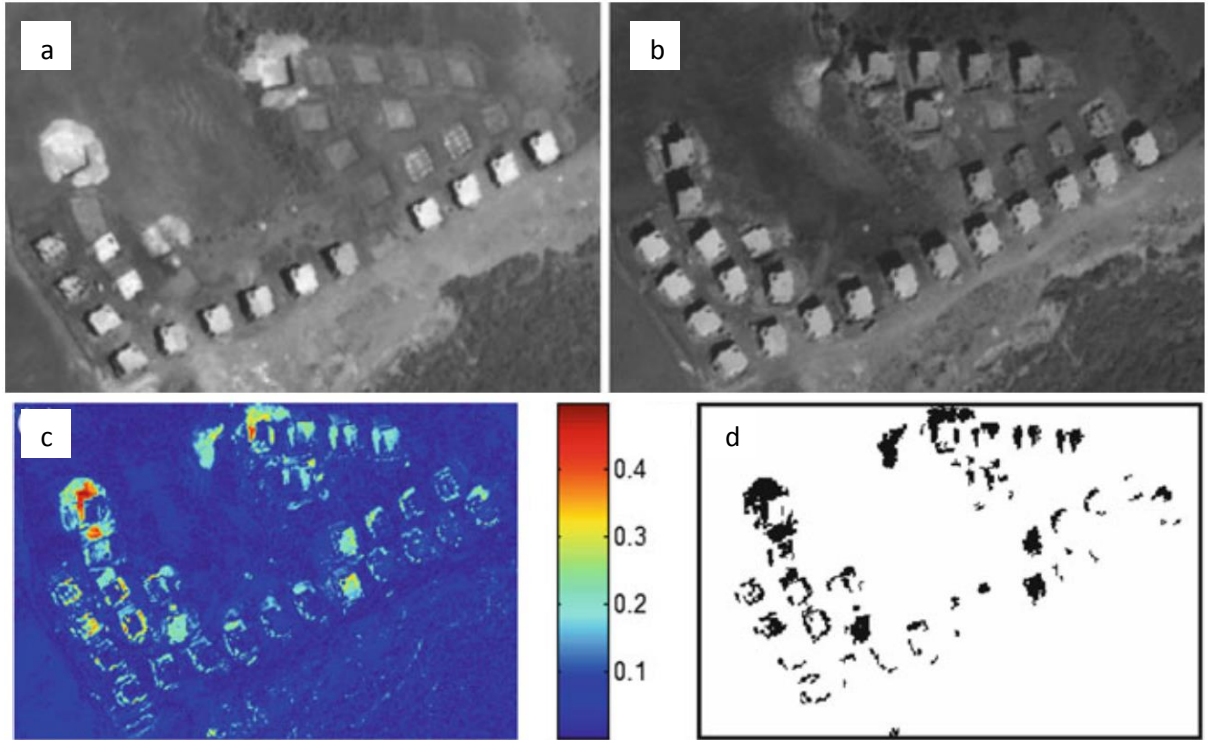
İmge farkı alma tekniği, basit bir yöntem olması nedeniyle zafiyetleri mevcuttur. Bunlara örnek olarak yöntemin yeryüzü kayıtlama hatasına karşı hassas olması gösterilebilir. Bunun yanında bir pikselin öznelilik uzayında başlangıç ve bitiş noktalarının belirsiz olması da yöntemin zorluklarından biridir. Örneğin iki tarih arasında piksel değeri olarak büyük bir fark gösteren bir bölge nitelik olarak görece az değişim göstermiş olabilir [8]. Bunların yanında, girdi olarak kullanılan imgelerde kanal sayısı üçten fazla ise değişimin görüntülenmesi pratik değildir [9]. Birçok kanallı imgelerin kullanıldığı durumda, tüm kanallar için ayrı ayrı tespit edilen değişikliğin büyüklüğü gri seviye bir imge üzerinde gösterilebileceği gibi, her kanalın farklı bir renk kanalına eşlenmesi ile renkli bir imge olarak da gösterilebilir.

İmge farkı, yalnızca uzaktan algılama ile elde edilmiş izgesel bant imgeleri üzerinde yapılmamaktadır. Canlı bitki örtüsü miktarının bir belirteci olan Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (İng. Normalized Difference Vegetation Index) (NEFBÖİ) imgesi üzerinden farklı tarihlere ait karşılaştırma gerçekleştirilebilir. Yukarıda detaylandırılan fark alma tekniği, NEFBÖİ üzerinden değişiklik tespit edilmesi için kullanılabilir, ancak kullanılan imgelerin atmosferik etkilere karşı düzeltilmiş olması gereklidir [4]. NEFBÖİ değeri (2.3)'te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$NEFBÖİ = \frac{\rho_{ykö} - \rho_{kırmızı}}{\rho_{ykö} + \rho_{kırmızı}} \quad (2.3)$$

Burada, $\rho_{ykö}$ yakın kızılötesi (0.7-1.1 μm) bantta yansıtıcılık değeri, $\rho_{kırmızı}$ ise kırmızı bantta (0.4-0.7 μm) yansıtıcılık değeridir.

Şekil 2.2’de Adana’da yoğun inşaatın gözlemlendiği bir bölgeye ait iki ayrı zamanda alınmış uydu imgeleri, bu veri kümesine ait fark imgesi ve fark imgesinin eşiklenmesi ile elde edilen imge verilmiştir [10]. Bölgede meydana gelen değişim, fark alınarak elde edilmiştir. Kapur’un yöntemi [11] ile eşikleme işlemi sonucunda değişim olarak bölütlenen bölgeler lojik imge üzerinde görülmektedir.



Şekil 2.2. Adana bölgesinde bir imge çifti üzerine tek değişkenli imge farkı alma uygulaması

a. "Önce" imgesi

b. "Sonra" imgesi

c. Fark imgesi

d. Eşiklenmiş fark imgesi [10]

2.2.2. İmge Oranlama

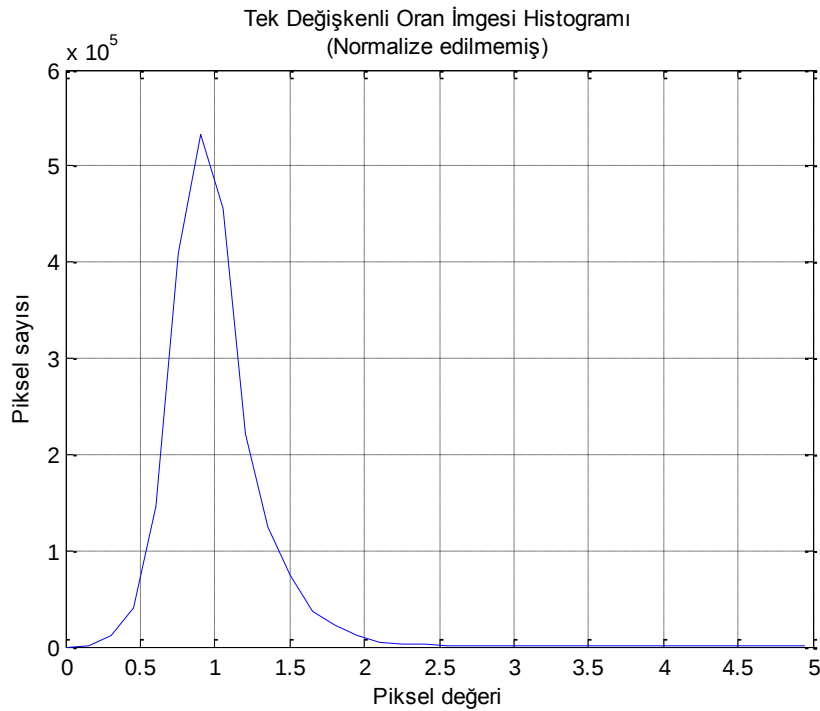
İmge oranlama, hızlı bir şekilde değişikliğin teşhis edilmesi için kullanılan diğer bir yöntemdir. Bu yöntemde, iki tarihe ait verilerde her bant için piksel değerlerinin oranı bulunur. Böylece değişikliğin olmadığı alanlarda bu oran 1'e yakın olur. Bu oran (2.4)'te verildiği gibi ifade edilebilir.

$$Rx_{ij}^k = \frac{x_{ij}^k(t_2)}{x_{ij}^k(t_1)} \quad (2.4)$$

Bu tekniğin avantajı, imgeler arasındaki güneş açısı, gölgeler gibi farklılıkları fark alma işlemine nazaran daha iyi bertaraf edebilmesidir.

Ancak elde edilen oran fonksiyonunun normal dağılımı olmaması nedeniyle eşik değerinin belirlenmesi problemlidir. Belirlenen eşik değeri standart sapmanın bir fonksiyonu olarak belirleniyorsa, normal olmayan dağılımın iki tarafında denk olmayan hata oranları elde edilecektir [3].

Şekil 2.3'te tipik bir oran imgesi histogramı görülmektedir.

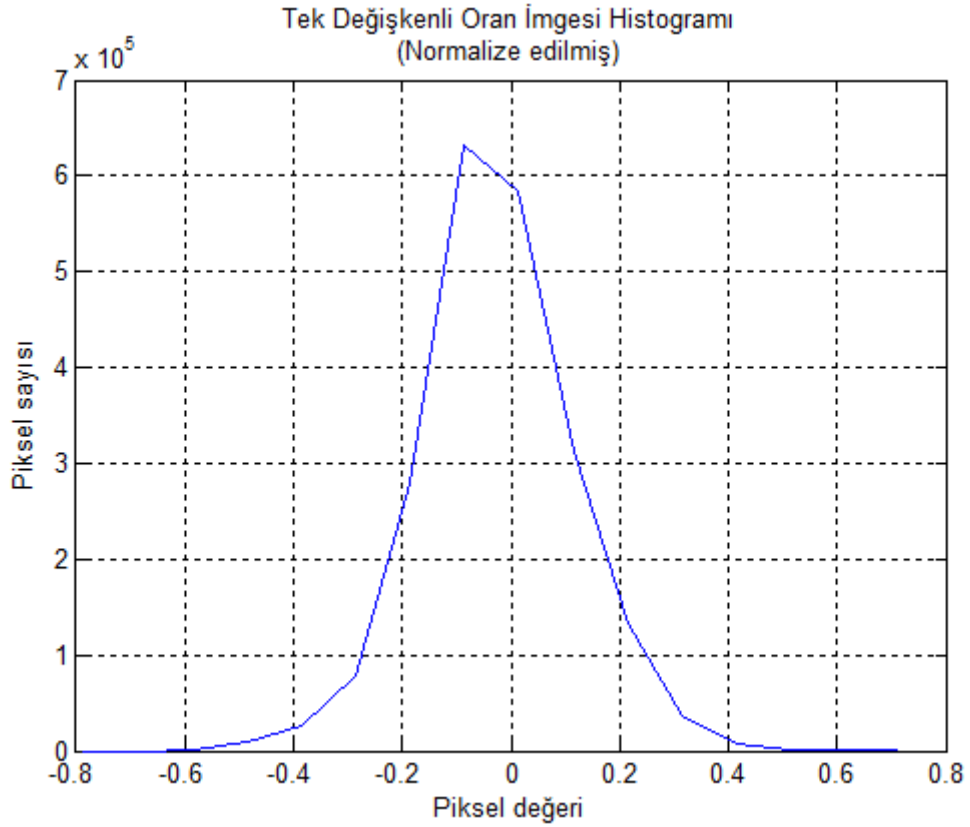


Şekil 2.3. Tipik bir tek değişkenli oran imgesi histogramı (normalize edilmemiş)

Elde edilen oran değeri, $[0, \infty)$ aralığında değerler alabilmektedir ve değişimin büyüklüğü hakkında doğrusal bir bilgi içermemektedir. (2.5)'te verilen normalizasyon işlemi sonucunda imge oranı değerleri $[-\pi/4, \pi/4]$ aralığına çekilebilir [10].

$$Rx_{ij}^k = \tan^{-1} \frac{x_{ij}^k(t_2)}{x_{ij}^k(t_1)} - \frac{\pi}{4} \quad (2.5)$$

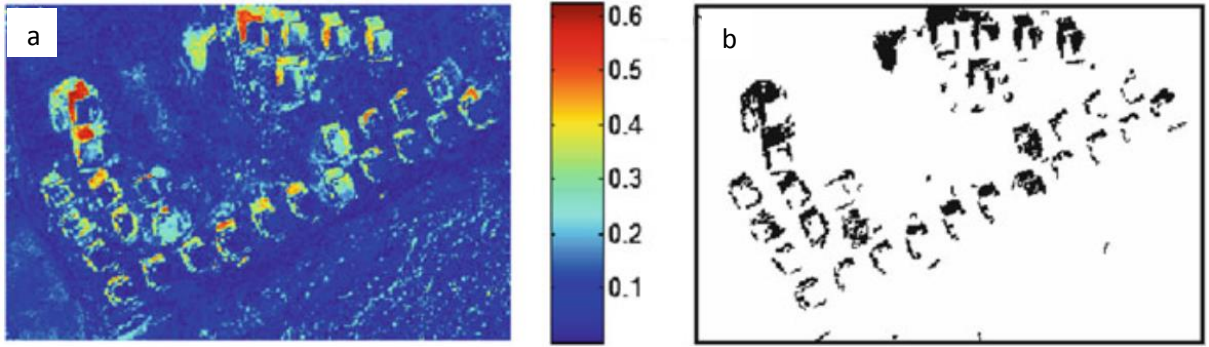
Bu işlemden sonra oran imgesi, bir eşik değerinin belirlenmesi için daha elverişlidir. Böylece değişimin teşhis edilmesi kolaylaşır. Şekil 2.4'te, normalize edilmiş tipik bir oran imgesinin histogramı yer almaktadır.



Şekil 2.4. Tipik bir tek değişkenli oran imgesi histogramı (normalize edilmiş)

Şekil 2.2'de verilen Adana imge çifti üzerinden elde edilen fark imgesi Şekil 2.5'te verilmiştir [10]. Yine imge farkı alma yönteminde olduğu gibi Kapur'un yöntemi kullanılarak bölütleme işlemi gerçekleştirilmiştir. İmge oranlama işlemi, tek değişkenli imge farkı alma yöntemi ile benzer

başarım göstermiştir. Değişikliğin gerçekleştiği bölgeler açıkça görülmektedir.



Şekil 2.5. İmge oranlama sonucu (a) ve eşiklenmiş imge (b)

2.2.3. İmge Bağlanması

İmge bağlanması yönteminde, iki tarihe ait imgelerin birbirinin doğrusal bir fonksiyonu olduğu varsayılır.

$$\hat{x}^k(t_2) = a x^k(t_1) + b \quad (2.6)$$

Buna göre en küçük kareler yöntemi ile $x^k(t_1)$ ve $x^k(t_2)$ arasındaki doğrusal bağlanım ilişkisinin parametrelerinin kestirilmesi için kestirim hatası fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$e^2 = \left(\hat{x}^k(t_2) - x^k(t_2) \right)^2 = \left(a x^k(t_1) + b - x^k(t_2) \right)^2 \quad (2.7)$$

Doğrusal bağlanım ile kestirilen piksel değeri ile pikselin gerçek değeri arasındaki farkın karesi olarak tanımlanan toplam hata, (2.8)'de verildiği gibi ifade edilir.

$$S = \sum e^2 = \sum \left(a x^k(t_1) + b - x^k(t_2) \right)^2 \quad (2.8)$$

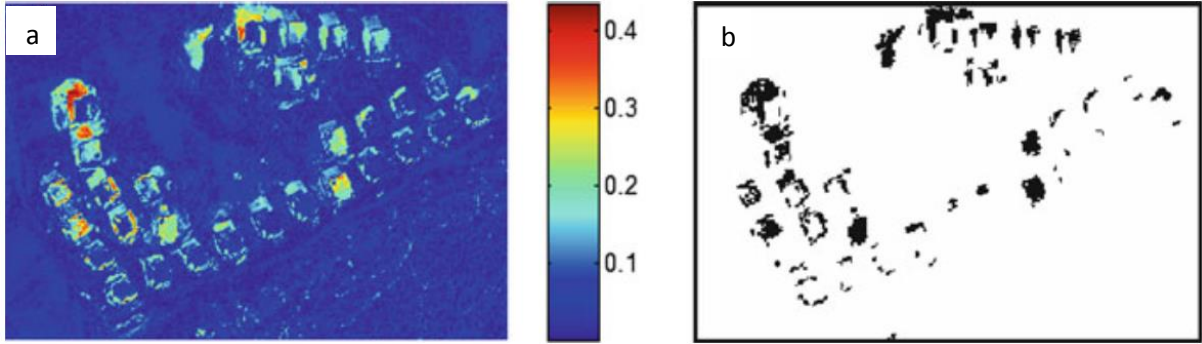
Doğrusal bağlanım parametreleri a ve b değerleri, $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$ ve $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$ bağıntıları ile bulunabilir.

Böylece, t_1 zamanına ait imge ile bu imgenin kestirimi arasındaki fark değişime işaret eder. [3]

$$Dx_{ij}^k = \hat{x}_{ij}^k(t_2) - x_{ij}^k(t_1) + C \quad (2.9)$$

Bu teknik, tek değişkenli imge farkı almaktan üstün olarak, atmosfer koşulları ve güneş açısı gibi farklılıklara karşı gürbüzdür.

Şekil 2.6'da Adana imge çifti üzerinde uygulanan imge bağlanımı sonuçları görülmektedir [10]. Bu yöntemin, fark alma ve oranlama yöntemlerine göre daha iyi performans verdiği söylenebilir.



Şekil 2.6. İmge bağlanımı sonucunda elde edilen fark imgesi (a) ve eşikleme sonucu (b)

2.2.4. Kritik Eşik Değerinin Seçimi

Piksel tabanlı yöntemlerde değişim olarak sınıflandırma yapabilmek için eşik değerinin belirlenmesi önemlidir. Eşikleme işlemi, bu bölümde bahsedilen yöntemlerden biriyle elde edilmiş olan fark bilgisi taşıyan matris (Dx) üzerinde çalıştırılır.

$$T_{ij} = \begin{cases} 1, & |Dx_{ij}| \geq \tau \\ 0, & |Dx_{ij}| < \tau \end{cases} \quad (2.10)$$

Genellikle eşikleme performansı, kullanılan veriyle ilgili varsayımlara dayandığı için her veri kümesi için farklıdır.

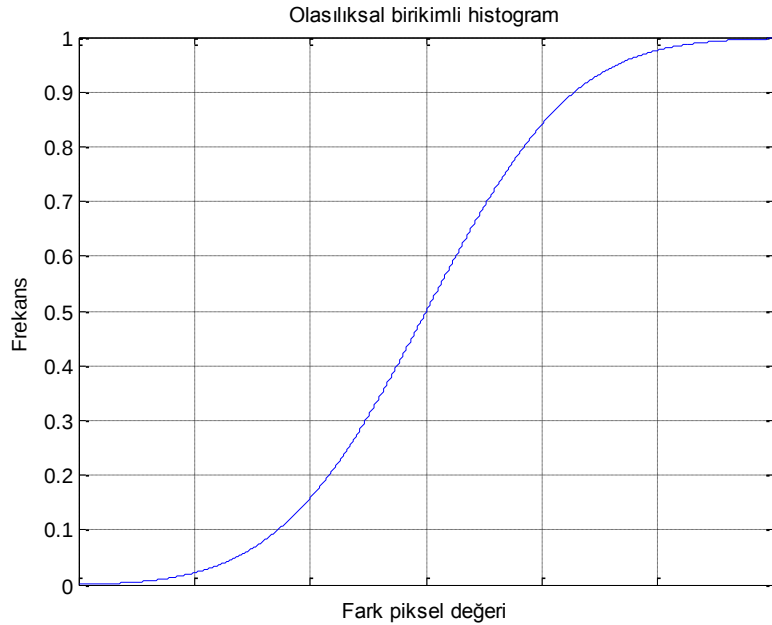
Eşik değeri, ortalama değerden belli bir sapma değeri olarak belirleneceği gibi elde edilen sonuç imgesi tatmin edici bir sonuç içerecek şekilde elle de ayarlanabilir. İki yöntem de öznedir ve tek bir eşik değerinin uygunluğu bölgeye göre değişiklik gösterecektir [3].

Bu bölümde detaylandırılacak olan yöntemlerden yalnızca oransal eşik yöntemi girdi olarak bir parametre kullanmaktadır. Ancak Otsu ve Kapur yöntemleri hiçbir parametre kullanmaz ve bazı ölçütler üzerinde bir optimizasyon problemi şeklinde kurgulanarak imgenin iki sınıfa ayrılmasını amaçlar. Bu tez çalışmasında incelenen değişiklik tespiti yönteminin sonucu, farklı parametreler kullanılarak değerlendirildiği için nihai olarak elde edilen değişkenlerden değişiklik gösteren piksellerin ortaya çıkarılması için oransal eşik yöntemine başvurulmuştur.

2.2.4.1. Oransal Eşik

Oransal eşikleme yönteminde, bir fark matrisinde oransal olarak sabit sayıda değişim niteliği taşıyan piksel olduğu var sayılır. Buna göre, fark imgesinin olasılıksal birikimli histogramı üzerinde istenen oranı sağlayan piksel fark değeri eşik olarak seçilir. Diğer eşikleme yöntemlerinde olduğu gibi, seçilecek kritik oran değeri istenilen seviyede fark imgesi elde edilene kadar elle değiştirilebilir.

Şekil 2.7’de verilen grafikte, tipik bir fark matrisinin olasılıksal birikimli histogramı görülmektedir.



Şekil 2.7. Tipik bir fark imgesinin olasılıksal birikimli histogramı

2.2.4.2. Otsu Yöntemi

Diğer bir eşikleme yöntemi ise Otsu yöntemidir [12]. 1975 yılında sunulan yöntem, imgede sınıflar arası değişintiyi en büyükleyen eşik değerini bulmayı amaçlar. Aslen gri seviye imgelerde bölütleme amacıyla kullanılan bu teknik kullanılarak fark imgesi üzerinden değişiklik eşiği belirlenebilmektedir.

Bir imge L gri seviyesi ile ifade ediliyor olsun. i seviyesindeki piksel sayısı n_i ile ve toplam piksel sayısı $N = \sum_{i=1}^L n_i$ ile ifade edilsin. Histogram, her piksel değerinin olasılığını verecek şekilde piksel değerine ait frekansı elde edecek şekilde gibi normalize edilebilir.

$$p_i = n_i/N \quad (2.11)$$

Şimdi imgeyi oluşturan pikselleri C_0 ve C_1 olarak iki sınıfa atayalım. C_0 sınıfında yer alan piksel değerleri $[1 k]$ aralığında ve C_1 sınıfında yer alan piksel değerleri ise $[k + 1 L]$ aralığında olsun. Böylece herhangi bir piksel için sınıf gerçekleşme olasılığı,

$$\omega_0 = \Pr(C_0) = \sum_{i=1}^k p_i = \omega(k) \quad (2.12)$$

$$\omega_1 = \Pr(C_1) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - \omega(k)$$

Bu olasılıkların ortalama değerleri,

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k i \Pr(i|C_0) = \sum_{i=1}^k i p_i / \omega_0 = \mu(k) / \omega(k) \quad (2.13)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^L i \Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^L i p_i / \omega_1 = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)}$$

Burada μ_T , imgenin toplam ortalama değerini ifade eder.

k 'nin alacağı herhangi bir değer için,

$$\omega_0\mu_0 + \omega_1\mu_1 = \mu_T \quad (2.14)$$

Her sınıfa ait varyans,

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 \Pr(i|C_0) = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 \frac{p_i}{\omega_0}$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 \Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 p_i / \omega_1 \quad (2.15)$$

k seviyesi için belirlenen eşik değerinin başarımını tespit etmek için bazı ayırıcı kriterler tanımlanmıştır.

$$\lambda = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2}$$

$$\kappa = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_W^2} \quad (2.16)$$

$$\eta = \sigma_B^2 / \sigma_T^2$$

Burada,

$$\sigma_W^2 = \omega_0\sigma_0^2 + \omega_1\sigma_1^2$$

$$\sigma_B^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2 \quad (2.17)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu_T)^2 p_i$$

sırasıyla sınıf için varyans, sınıflar arası varyans ve toplam varyans değerleridir. Böylece problem, yukarıda belirlenen maliyet işlevlerinden biri için çözülecek bir eniyileme problemin dönüşmüştür. İmge üzerindeki gri değerleri ardışık olarak aranarak istenen eşik değeri bulunur.

Bu yaklaşım aşağıdaki varsayımlara dayanır:

- İyi eşiklenmiş sınıflar gri seviyelerinde ayrılmış durumdadır,

- Sınıflar arasında en iyi ayrılmayı sağlayan gri seviyesi değeri en iyi eşiktir.

2.2.4.3. Kapur Yöntemi

Kapur [11] yönteminde, Otsu yöntemi ile benzer olarak imge iki ayrı sınıfa ayrılır ancak iki sınıfa ait entropiyi en büyük yapan eşik değeri bulunur. İki sınıf için Shannon entropisi (2.18)'de tanımlanmıştır.

$$H(A) = - \sum_{i=1}^k \frac{p_i}{\omega(k)} \ln \left(\frac{p_i}{\omega(k)} \right) \quad (2.18)$$

$$H(B) = - \sum_{i=k+1}^L \frac{p_i}{|1 - \omega(k)|} \ln \left(\frac{p_i}{|1 - \omega(k)|} \right)$$

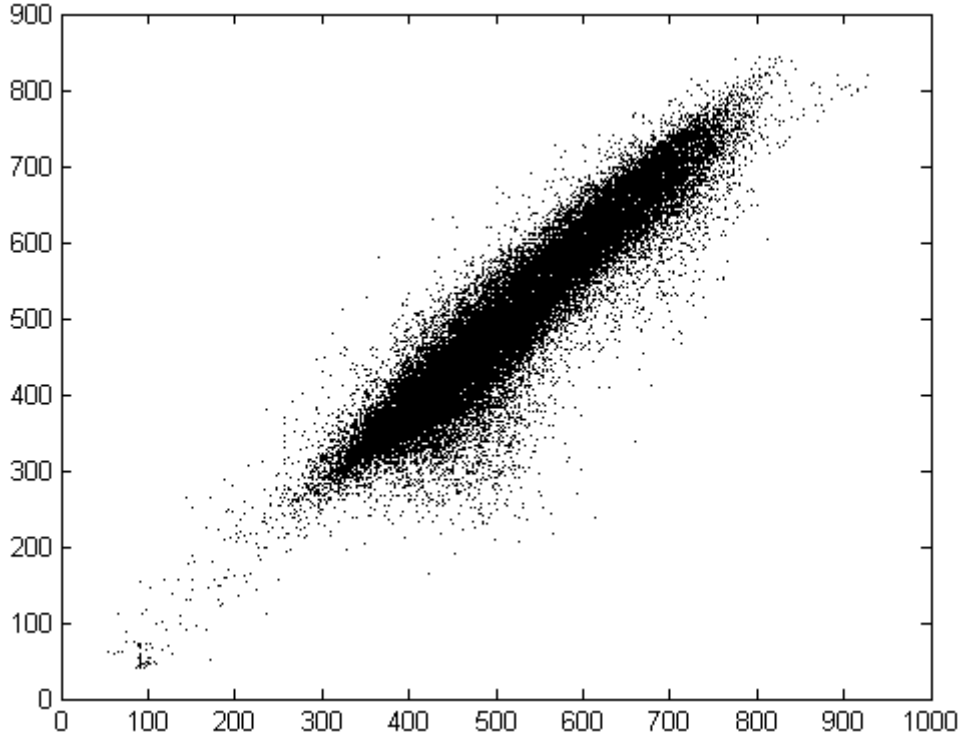
$H(A) + H(B)$ ifadesini en büyük yapan eşik değeri seçilir.

2.3. Dönüşüme Dayalı Yöntemler

Dönüşüme dayalı metotlar, girdi olarak kullanılan imgelerin dönüşüm tanım kümesi içinde değerlendirilmesini kapsar. Bu bölümde sıklıkla kullanılan dönüşüme dayalı metotlar incelenmiştir.

Dönüşümsel metotların bir avantajı girdi verilerdeki artıklılığı ortadan kaldırmasıdır. Böylece türetilen bileşenlerde farklı bilgiler ortaya çıkabilmektedir. Ancak, detaylı değişim matrisleri sağlayamaz ve eşik değerlerinin belirlenmesine gereksinim duyulmaktadır. Dönüşüme dayalı tekniklerin bir dezavantajı ise değişiklik bilgisini teşhis etmek ve yorumlama güçlüğüdür [5].

İki farklı imge için piksel değerlerinin saçılma çizeneğinde (Şekil 2.9), her bir eksen bir rastgele değişken olarak düşünülebilir. Aynı kalan piksel değerleri, temel eksen etrafında yer alacak ve farklılık içeren pikseller ise bu eksenden uzakta yer alacaktır. Cebirsel metotlar, temel eksenin eğiminin 1 olmasını gerektirirken dönüşüme dayalı metotlar temel eksenin 1'den farklı olduğu durumları bertaraf edebilmektedirler.



Şekil 2.8. Aynı yere ait iki farklı imgenin saçılma çizeneği

2.3.1. Temel Bileşenler Analizi

Temel bileşenler analizi (TBA), aslen çok boyutlu değişkenlerin arasındaki bağımlılık yapısının yok edilmesi ve verilerdeki artıklılığın ortadan kaldırılması için kullanılan bir istatistik yöntemidir. Dönüşüm sonucunda elde edilen imgelerde varyansın artırılması amaçlanır; ilk temel bileşenin varyansı en büyük iken son temel bileşenin varyansı en küçüktür. Bunun yanında, çok zamanlı verilerden değişiklik verisinin bir veya daha fazla temel bileşen üzerine izdüşümünü almak amacıyla da kullanılabilir.

TBA, değişimin gerçekleştiği bölgeleri teşhis edebilmek için etkili bir metot olarak kullanılmaktadır. Bu metodun değişim tespiti için etkili olmasının sebebi, elde edilen bileşenlerden birinin veya daha fazlasının doğrudan değişimle ilintili olmasıdır. Farklı tarihe ait imgeler incelendiğinde, yüksek ilinti gösteren veri bölgeleri değişimin olmadığı veriye işaret ederken, değişimin gözlemlendiği bölgelerde ilinti düşüktür. Çok zamanlı bir imge kümesinde, değişimi büyük oranda sabit yeryüzü

örtüsüne ait olduğu sürece, yüksek temel bileşenler değişikliği gösterecektir.

Varyansı yüksek olan temel bileşenlere kararlı bileşenler, düşük olanlara ise değişiklik bileşenleri adı verilir [13].

Temel bileşenler analizi iki farklı yöntemle uygulanabilir [5]:

1. Her zamana ait veriler üzerinde TBA ayrı ayrı uygulanır ve elde edilen temel bileşenlerin farkı alınarak değişiklik tespiti yapılır.
2. İki veya daha fazla tarihe ait görüntü tek bir matrise yazılır ve TBA bu matrise uygulanarak üst seviye bileşenler incelenir.

Temel bileşenler analizi, aşağıda verilen üç adımda incelenebilir [14]:

- Kovaryans matrisinin oluşturulması
- Özvektörlerin hesaplanması,
- Veri kümesine doğrusal dönüşümün uygulanması

N boyutlu, ortalama vektörü M olan ve toplam piksel sayısı K olan bir X matrisinin kovaryans matrisi (2.19)'da verildiği gibi kestirilebilir:

$$C_X = \frac{1}{K-1} \sum_{i=1}^K (X_i - M)(X_i - M)^T \quad (2.19)$$

Buna göre her bir temel bileşen elde edilen katsayıların bir doğrusal kombinasyonu olarak hesaplanabilir.

$$Y_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 \dots a_{Nj}X_N = a_j^T X \quad (2.20)$$

Bu ifadede a_j^T , C_X kovaryans matrisinin standartlaştırılmış özvektörlerinin devriğidir. Böylece, X matrisi A dönüşüm matrisi kullanılarak dönüştürülebilir.

$$Y = A^T X \quad (2.21)$$

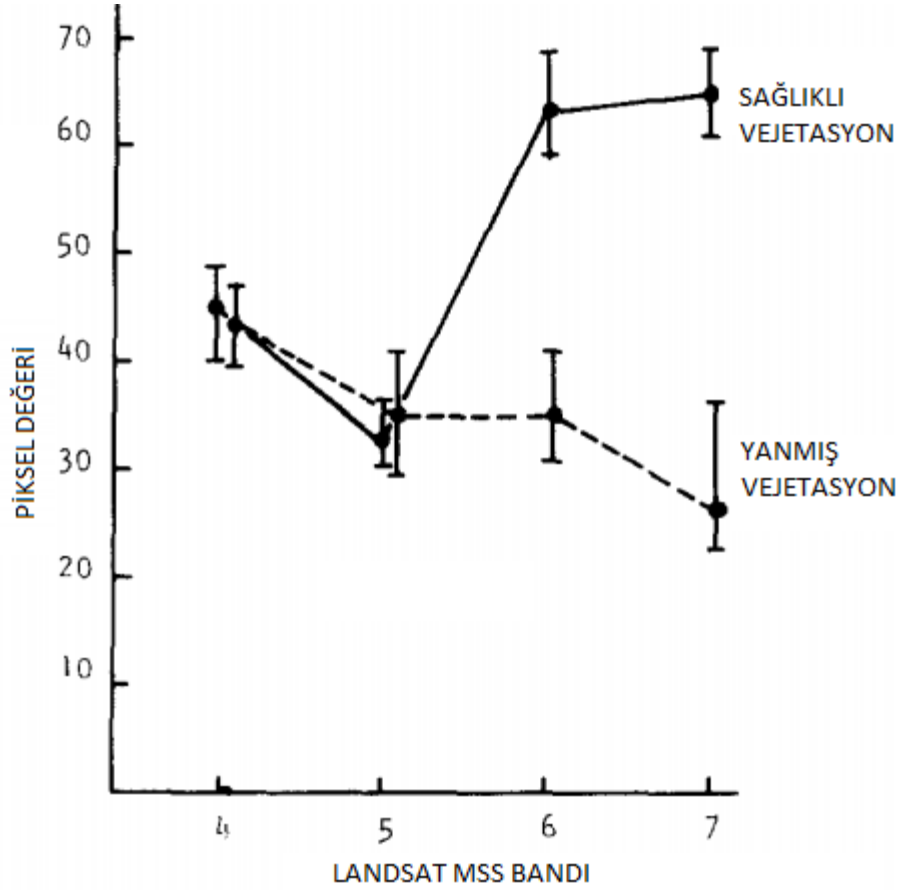
Burada, A matrisi C_X matrisini köşegenleyen özdeğerler matrisidir.

$$C_Y = AC_X A^T \quad (2.22)$$

$$C_Y = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \lambda_N \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

C_Y matrisinde özdeğerler büyüklük sıralamasına göre yer alır. $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N$. Böylece en büyük özdeğer ile ilişkili bileşen 1. temel bileşen olarak elde edilmektedir.

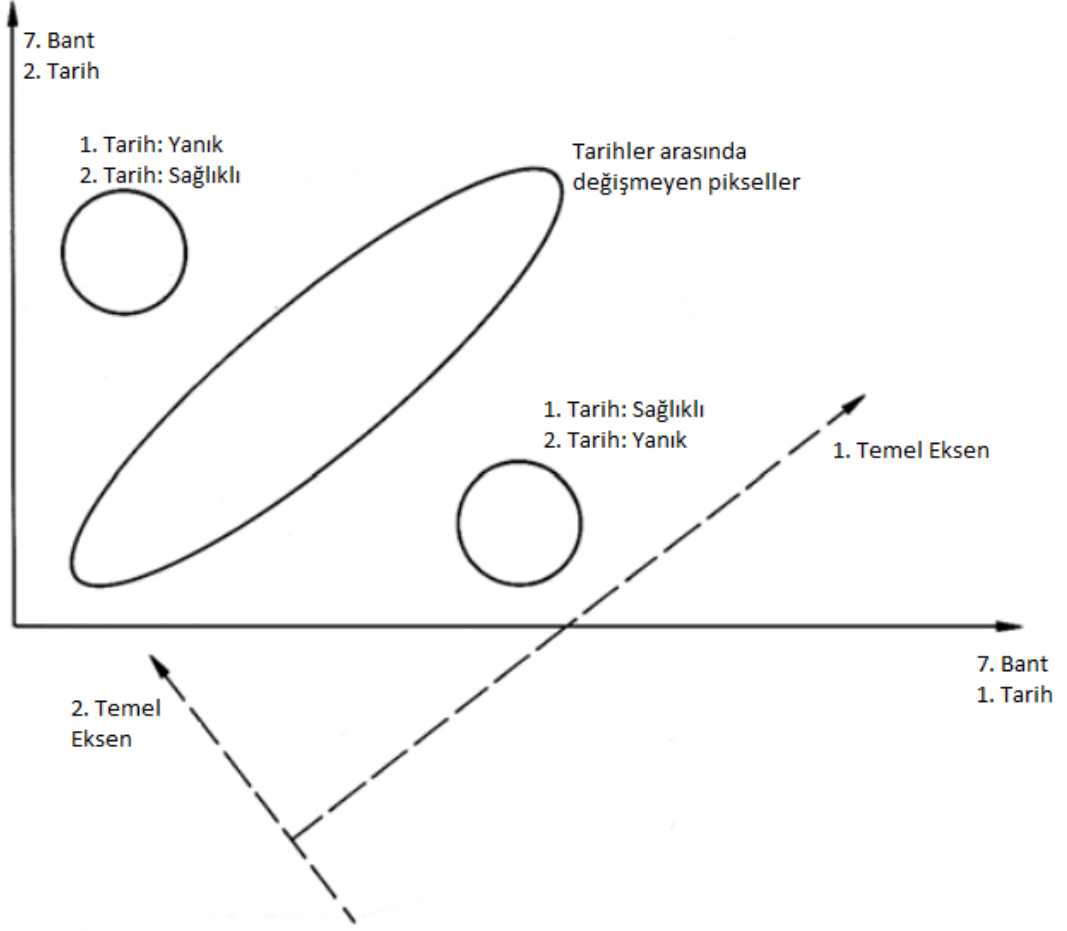
Şekil 2.9’de, sağlıklı ve yangınla tahrip olmuş bitki örtüsünün izgesel yansıtıcılık değerlerinin farklı bantlarda yanıtları verilmiştir [15]. Görüldüğü gibi 7. bantta bitki örtüsünün tipinin ayırt edilebilirliği en fazladır, bu nedenle yalnız bu bant göz önüne alınacaktır. Orman bölgesinde meydana gelmiş bir yangının öncesinde ve sonrasında alınmış olan iki imgeden alınan verilerin temsili saçılma grafiği Şekil 2.10’da verilmiştir. Buna göre, tarihler arasında değişim göstermeyen piksel değerleri ilk köşegen boyunca büyük değerler almaktadır. Köşegen dışında kalan bölgeler ise büyük değişime işaret etmektedir. Temel bileşenler analizi ile elde edilen dönüştürülmüş eksenler şekilde görülmektedir. Tarihler arasındaki değişim, ilk temel eksen boyunca belirsizdir. Ancak değişimin piksel değerlerinin ikinci temel eksen üzerine izdüşümleri üzerinde daha ayırt edilebilir olduğu görülmektedir. Ancak piksel değerlerinin ikinci temel eksen üzerine izdüşümleri üzerinden değişimin tespit edilmesi mümkündür.



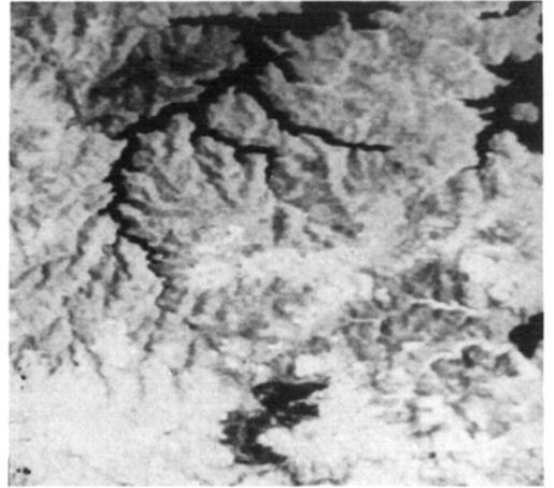
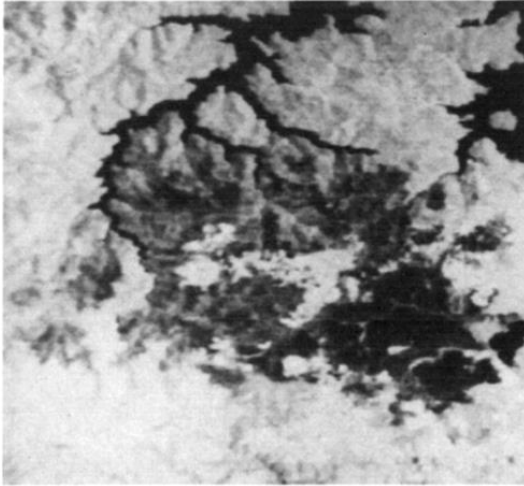
**Şekil 2.9. Landsat MSS imgesinden elde edilmiş olan izgesel yansıtıcılık değerleri
([15]'ten uyarlanmıştır)**

Verilerin atmosferik bozulmalara karşı düzeltilmiş olma şartının olmaması, temel bileşenler analizinin avantajlarından [4].

Richards, temel bileşenler analizini Landsat verisi ile uygulamıştır [15]. Şekil 2.11'de, 29.12.1979 ve 14.12.1980 tarihlerinde alınmış Landsat MSS 7. Bant imgelerinin bir kısmı yer almaktadır. 1979 yılında gerçekleşen yangınla bölgedeki bitki örtüsünün bir bölümü tahrip olmuştur. Bu bölge imgelerde koyu renkle görülmektedir. İkinci imgede bitki örtüsünün kısmen tekrar canlanması ile bu bölgede değişim meydana gelmiştir. Buna istinaden bölgede iki ayrı orman yangını daha ortaya çıkmıştır. Bu imge çiftinin analizi ile bölgedeki değişiklik tespit edilmiş ve konumlandırılmıştır.



Şekil 2.10. Farklı değişiklik bölgelerinin Landsat MSS 7. bant verileri üzerinden temsili saçılma grafiği ([15]'ten uyarlanmıştır)

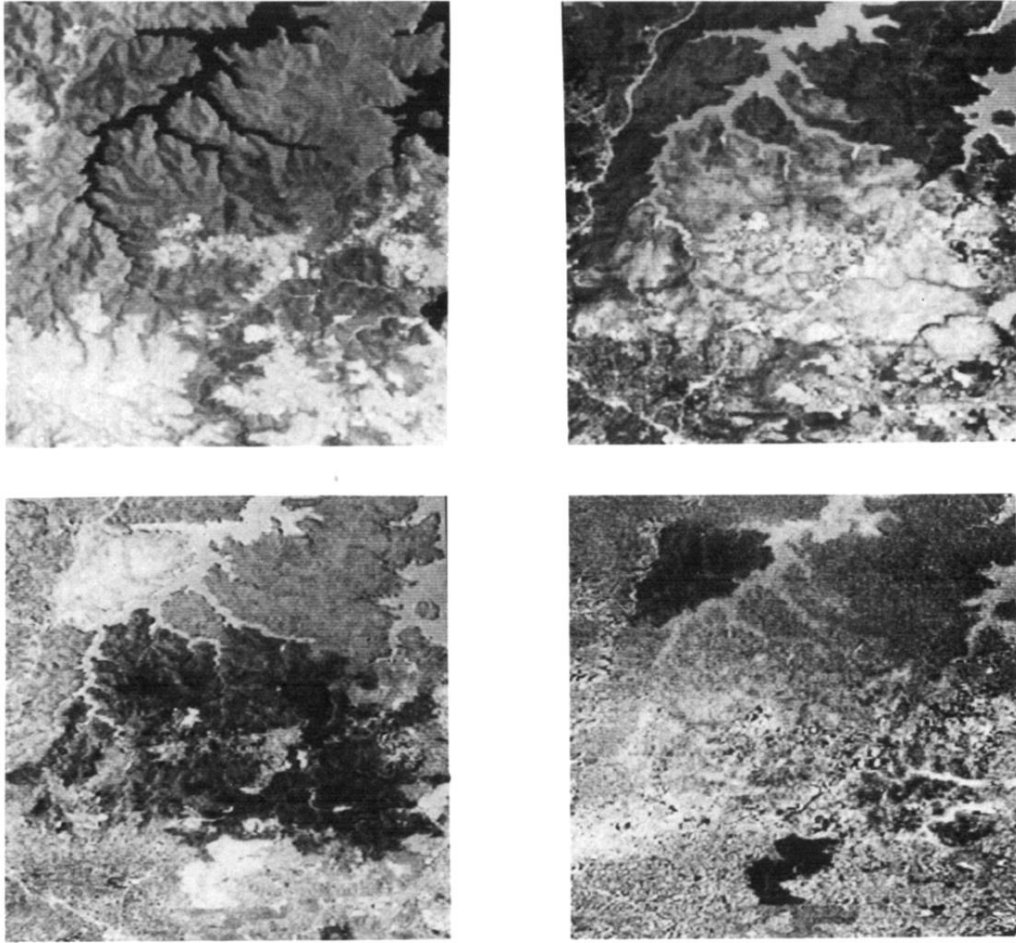


Şekil 2.11. 29 Aralık 1979 ve 14 Aralık 1980 tarihlerinde alınan Sydney ve etrafının görüntülendiği Landsat MSS 7. bant imgeleri

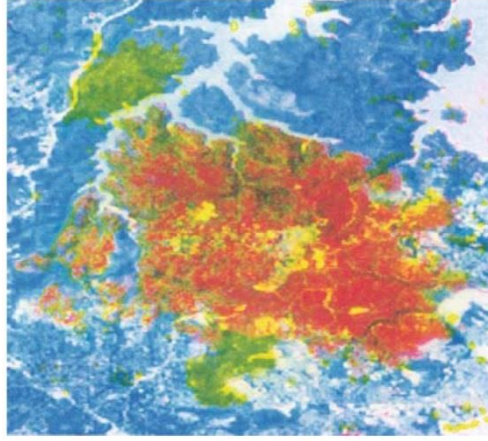
Şekil 2.12’de, imge çiftinden elde edilmiş olan ilk dört temel bileşenler yer almaktadır.

İlk temel bileşen, iki imge ile ifade edilen bilgilerin tamamını temsil ederken, özellikle 3. ve 4. temel bileşenlerde değişimler açık olarak görülmektedir. Aynı tip yeryüzü örtüsünü temsil eden pikseller değişiklik bileşenlerinde orta gri olarak ortaya çıkmaktadır. Yanmış bitki örtüsünden sağlıklı bitki örtüsüne olan geçiş ise değişimin yönüne göre beyaz veya siyah olarak görünmektedir.

Değişimin analizini kolaylaştıracak bir yöntem olarak, istenen bileşenler kırmızı-yeşil-mavi bantlar olarak birleştirilerek renkli fark imgesi oluşturulabilir. Şekil 2.13’de, TB2 kırmızı, TB3 yeşil ve TB4 mavi kanalda kullanılarak oluşturulan renkli değişim imgesi verilmiştir.



Şekil 2.12. İlgili bölgeye ait imgelere TBA tatbik edilmesi ile elde edilen 4. temel bileşen imgesi (TB1, TB2; TB3, TB4)



Şekil 2.13. Yüksek dereceli temel bileşenlerden elde edilen renkli değişim imgesi

2.3.2. Kanonik Korelasyon Analizi

Farklı zamanlarda alınmış iki N-bantlı imgeleri düşünelim. İmgelerin alındığı zamanlar arasında yeryüzü yansımaları değerleri arasındaki değişikliğin tespit edilmesi için, bu çok bantlı imgelerden birinin içerdiği tüm N bantlı örnekler tek bir rastgele değişken G_1 olarak ifade edilerek bir doğrusal kombinasyon ile elde edilebilir.

$$U = a^T G_1 \quad (2.24)$$

Benzer şekilde ikinci N-bantlı imge için de benzer kombinasyon elde edilebilir.

$$V = b^T G_2 \quad (2.25)$$

Bu aşamadan sonra, $U - V$ farkı üzerinden değişim bilgisi tek bir imge olarak çıkarılabilir. Burada, a ve b vektörlerinin uygun seçilmesi gerekliliği açıktır. Tanımlanan bu tespit yöntemi Çok Değişkenli Değişiklik Tespiti (ÇDDT) (Multivariate Alteration Detection) ismi ile bilinmektedir [16].

Nielsen, [9]'de a ve b dönüşüm vektörlerinin bulunması için Kanonik Korelasyon Analizi (KKA) uygulanmasını önermiştir. Bu bölümde, KKA kullanarak ÇDDT detaylandırılmıştır.

İki veri kümesi arasındaki ilintileri tespit etme problemi ilk olarak 1935 yılında Hotelling tarafından ele alınmıştır [17]. KKA tekniği, Hotelling'in

ertesi yıl yayınladığı iki ayrı kaynaktan örneklenen fizyolojik sinyal kümeleri arasındaki ilişkiyi bulduğu makale [18] ile ilk defa ortaya çıkmıştır. KKA, her birinde en az iki değişken bulunan, iki değişken seti arasındaki ilişkilerin incelenmesinde kullanılan bir analiz tekniğidir.

KKA tekniğinde, verilen iki değişken kümesi arasındaki ilişkilerin bulunması amaçlanır. Bunun için bu iki vektörün doğrusal kombinasyonları aranır, öyle ki elde edilen değişken çiftleri birbirine ortogonal olmalı ve aralarındaki ilinti değerleri en büyük olmalıdır. İlk elde edilen değişkenler, en büyük ilinti değerine sahip olanıdır ve elde edilen çiftlerin dereceleri arttıkça ilinti değerleri azalır. Bir başka deyişle, imge bantlarının izgesel olarak değil aralarındaki ilintiye göre sıralanması amaçlanır.

x ve y sırasıyla p ve q elemanlı normal dağılımlı rasgele değişken vektörleri olsun. Genellikten ödün vermeden $p \leq q$, bu değişken vektörlerinin birleşiminin sıfır ortalama değerli olduğu varsayılabilir.

$$E\{x\} = E\{y\} = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} \end{bmatrix} \right) \quad (2.26)$$

Amacımız, bu değişkenlerin doğrusal kombinasyonları ile u ve v değişken vektörlerini elde etmektir.

$$u = \sum_{i=0}^p a_i x_i = a^T x$$

$$v = \sum_{i=0}^q b_i y_i = b^T y \quad (2.27)$$

u ve v değişkenleri arasındaki ilintinin en büyük olması amaçlanmaktadır. Bu iki değişken arasındaki ilinti (2.28)'de verildiği gibi ifade edilebilir. Bu ifadede, genellikten ödün verilmeden $a^T \Sigma_{11} a = b^T \Sigma_{22} b = 1$ kabulleri yapılarak bağıntı en sade şekliyle yazılmıştır.

$$\rho = \text{corr}\{\mathbf{u}, \mathbf{v}\} = \frac{\text{cov}\{\mathbf{u}, \mathbf{v}\}}{\sqrt{\text{var}\{\mathbf{u}\} \text{var}\{\mathbf{v}\}}} = \frac{\mathbf{a}^T \Sigma_{12} \mathbf{b}}{\sqrt{\mathbf{a}^T \Sigma_{11} \mathbf{a} \mathbf{b}^T \Sigma_{22} \mathbf{b}}} = \mathbf{a}^T \Sigma_{12} \mathbf{b} \quad (2.28)$$

Böylece problem, yapılan kabullere göre (2.28)'in en büyük değerini bulma problemine indirgenmiştir. Bu amaçla Lagrange çarpanı tekniği kullanılabilir.

$$\psi = \mathbf{a}^T \Sigma_{12} \mathbf{b} - \frac{1}{2} \lambda (\mathbf{a}^T \Sigma_{11} \mathbf{a} - 1) - \frac{1}{2} \mu (\mathbf{b}^T \Sigma_{22} \mathbf{b} - 1) \quad (2.29)$$

(2.29)'da verilen ifadede λ ve μ Lagrange çarpanlarıdır. $\partial\psi/\partial\mathbf{a} = \partial\psi/\partial\mathbf{b} = 0$ kullanarak istenen ilişkilerin elde edilmesi mümkündür.

$$\begin{aligned} \frac{\partial\psi}{\partial\mathbf{a}} &= \Sigma_{12} \mathbf{b} - \lambda \Sigma_{11} \mathbf{a} = 0 \\ \frac{\partial\psi}{\partial\mathbf{b}} &= \Sigma_{12}^T \mathbf{a} - \mu \Sigma_{22} \mathbf{b} = 0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

Bu eşitliklerden farklı ilişkiler türetilebilir.

$$\begin{aligned} \mathbf{a}^T \Sigma_{12} \mathbf{b} - \lambda \mathbf{a}^T \Sigma_{11} \mathbf{a} &= 0 \\ \mathbf{b}^T \Sigma_{12}^T \mathbf{a} - \mu \mathbf{b}^T \Sigma_{22} \mathbf{b} &= 0 \end{aligned} \quad (2.31)$$

$\mathbf{a}^T \Sigma_{11} \mathbf{a} = \mathbf{b}^T \Sigma_{22} \mathbf{b} = 1$ kabulleri ile $\lambda = \mu = \mathbf{a}^T \Sigma_{12} \mathbf{b}$ elde edilir. Bunu kullanarak,

$$\begin{aligned} \Sigma_{12} \mathbf{b} - \lambda \Sigma_{11} \mathbf{a} &= 0 \\ \Sigma_{21} \mathbf{a} - \lambda \Sigma_{22} \mathbf{b} &= 0 \end{aligned} \quad (2.32)$$

(2.32)'deki ilk eşitliği λ ile ve ikinci eşitliği soldan Σ_{22}^{-1} matrisi ile çarpabiliriz.

$$\begin{aligned} \lambda \Sigma_{12} \mathbf{b} &= \lambda^2 \Sigma_{11} \mathbf{a} \\ \Sigma_{22}^{-1} \Sigma_{12}^T \mathbf{a} &= \lambda \mathbf{b} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Bu iki eşitliği birleştirerek dönüşüm katsayısı $\mathbf{a}$ için (2.34)'teki ilişki elde edilebilir.

$$\Sigma_{12}\Sigma_{22}^{-1}\Sigma_{21}\mathbf{a} = \lambda^2\Sigma_{11}\mathbf{a} \quad (2.34)$$

b katsayısı için de benzer işlemler yürütülebilir.

$$\Sigma_{21}\Sigma_{11}^{-1}\Sigma_{12}\mathbf{b} = \lambda^2\Sigma_{bb}\mathbf{b} \quad (2.35)$$

Bu çözümler ile, (2.29)'de verilen eşitlikte en büyük ilinti değeri sağlanacaktır. Çünkü ψ 'nin Hessian'ı negatiftir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2\psi}{\partial\mathbf{a}^T\partial\mathbf{a}} &= -\lambda\Sigma_{11} \\ \frac{\partial^2\psi}{\partial\mathbf{b}^T\partial\mathbf{b}} &= -\lambda\Sigma_{22} \end{aligned} \quad (2.36)$$

Dönüşüm katsayıları için elde edilen (2.34) ve (2.35)'te verilen bağıntılar, genelleştirilmiş özdeğer problemleridir. Hesaplanan dönüşüm kat sayıları ile orijinal imgede algılayıcı dalga boyuna göre sıralanmış olan imge bantları dönüştürülerek ilintiye göre sıralanacaktır. Bu problemlerin çözülmesi ile elde edilecek olan $(\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i)$ çiftleri birer kanonik değişken seti olarak tanımlanır. Kanonik ilinti değerleri $\rho_i = \text{corr}\{\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i\}$ özdeğer probleminin çözümü olan özdeğerlerin karekökleridir. Dönüştürülerek elde edilen kanonik değişkenler: $(\mathbf{u}_1, \mathbf{v}_1)$ en büyük ilinti değerine sahiptir; $(\mathbf{u}_2, \mathbf{v}_2)$, $(\mathbf{u}_1, \mathbf{v}_1)$ 'a ortogonal olmak şartı ile en büyük ilinti değerine sahiptir; ... [16], [19]

Aynı seviyedeki kanonik değişkenlerin farkının alınması ile ÇDDT değişkenleri elde edilir [9].

Elde edilen kanonik değişkenlerinin ortogonal olduğunu ispatlamak için, (2.34)'te verilen denklemlerden (2.37)'deki ifade elde edilir.

$$\Sigma_1\mathbf{a} = \lambda^2\Sigma\mathbf{a} \quad (2.37)$$

Burada, Σ_1 ve Σ simetrik matrislerdir ve Σ pozitif tanımlıdır. Cholesky çözümlemesi ile $\Sigma = LL^T$ yazılarak ifade açılabilir.

$$L^{-1}\Sigma_1(L^T)^{-1}L^T a = \lambda^2 L^T a \quad (2.38)$$

(2.38)'de verilen eşitlik, $d = L^T a$ için çözüldüğünde standart bir özdeğer problemidir.

$$(L^{-1}\Sigma_1(L^{-1})^T)d = \lambda^2 d \quad (2.39)$$

$L^{-1}\Sigma_1(L^{-1})^T$ simetrik matrisinin özvektörleri d_i olsun. Normalize ve ortogonal oldukları için,

$$\delta_{ij} = d_i d_j^T = a_i^T L L^T a_j = a_i^T \Sigma a_j \quad (2.40)$$

Değişkenlerin kovaryans matrisleri,

$$\text{cov}\{u_i, u_j\} = a_i^T \Sigma_{11} a_j = \delta_{ij} \quad (2.41)$$

$$\text{cov}\{v_i, v_j\} = b_i^T \Sigma_{22} b_j = \delta_{ij}$$

(2.33) kullanılarak

$$b_i = \frac{1}{\lambda_i} \Sigma_{22}^{-1} \Sigma_{21} a_i \quad (2.42)$$

yazılabilir. Böylece,

$$\text{cov}\{u_i, v_j\} = a_i^T \Sigma_{12} b_j = a_i^T \frac{1}{\lambda_j} \Sigma_{12} \Sigma_{22}^{-1} \Sigma_{21} a_j = \lambda_j a_i^T \Sigma_{11} a_j = \lambda_j \delta_{ij} \quad (2.43)$$

Açıkça görülmektedir ki, kanonik değişken çiftleri (u_i, v_j) , $i \neq j$ için ilintisizdirler ve azalan ilinti değerlerine göre sıralanmışlardır. Bunun sonucu olarak ÇDDT değişkenleri de kendi aralarında ilintisizdirler [16].

KKA kullanarak uygulanan ÇDDT metodunun bir diğer avantajı ise, bütün işlemlerin doğrusal ilgin dönüşümlere karşı duyarsız olmasıdır.

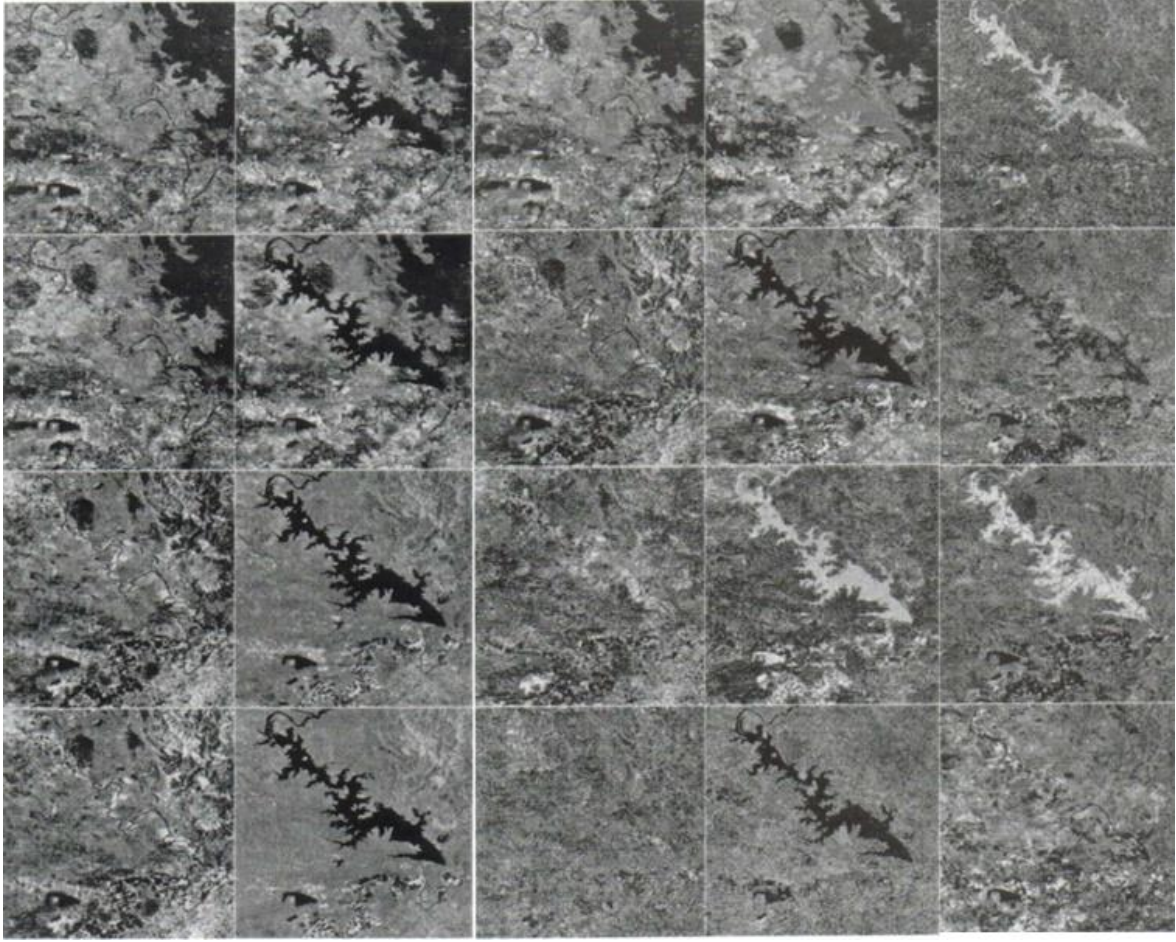
Elde edilen ÇDDT değişkenleri, girdi olarak kullanılan değişkenlerdeki ölçeğe karşı duyarsızdırlar. Bu özellik sayesinde imgelerde görülen atmosferik koşul ya da algılayıcı kalibrasyonu kaynaklı doğrusal farklara karşı değişimsizdir. Bu özellik, [16]'de gösterilmiştir.

Şekil 2.14’de, 11 Kasım 1972 ve 16 Kasım 1988 tarihlerine ait LANDSAT MSS 1-4 bantlarının imgeleri, bu imgelerden elde edilmiş olan kanonik değişkenler ve ÇDDT değişkenleri verilmiştir. Bu şekilde satırlar uzamsal imgeler tanım kümesinde verilen imgeler (1. ve 2. sütunlar) için LANDSAT MSS bantlarını, dönüşüm tanım kümesinde verilen imgeler (3-5. sütunlar) için ise ilgili ilgili seviyedeki değişkenleri ifade etmektedir. Görüldüğü gibi, kanonik değişkenlerin dereceleri arttıkça aralarındaki ilinti azalmaktadır. Her bir kanonik değişken çifti (u_i, v_i) ’nin farkı alınarak ÇDDT değişkenleri elde edilir ve bu değişkenler değişiklik tespiti için uygundurlar.

TBA’dan farklı olarak, KKA aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- TBA’da girdi tek bir değişken vektörüdür. KKA’da ise iki vektör girdi olarak kullanılır ve iki değişkeni de temsil eden dönüşüm matrisleri elde edilir.
- KKA’nın çıktısı veri kümesindeki her değişken (kanal) için birer değişken iken TBA’da tek bir değişken elde edilir.
- TBA’nın amacı, nihai olarak tüm verileri temsil eden bir değişkeni doğrusal kombinasyonlarla elde etmek olarak yorumlanabilir. KKA yönteminde ise dönüştürülen değişkenler arasındaki ilintinin en büyüklenmesi amaçlanır, yani aralarındaki uzaklık en küçüklenir.

KKA’nın dezavantajlarından biri olarak yalnızca iki etmenin incelenmesi gösterilebilir. İki den fazla etmenin ilintili olması durumunda KKA sonuç verememektedir. Bu amaçla, tüm değişkenlerin ilinti olmasının amaçlandığı Çoklu-Set Kanonik Korelasyon Analizi (ÇKKA) kullanılır.



Şekil 2.14. Farklı tarihlere ait Landsat imgeleri

- 1. Sütun: 11 Kasım 1972 tarihli Landsat MSS 1-4 bant imgeleri**
- 2. Sütun: 16 Kasım 1988 tarihli Landsat MSS 1-4 bant imgeleri**
- 3. Sütun: 11 Kasım 1972 tarihli Landsat MSS 1-4 bant imgelerinden elde edilmiş kanonik değişkenler**
- 4. Sütun: 16 Kasım 1988 tarihli Landsat MSS 1-4 bant imgelerinden elde edilmiş kanonik değişkenler**
- 5. Sütun: ÇDDT değişkenleri**

2.4. Mevcut Metotların Karşılaştırması

Bu bölümde, önceki bölümlerde detaylandırılan mevcut metotların örnek bir veri seti üzerine uygulamasına yer verilmiştir. Kullanılan veri seti, Culture-MERIS ürününün 10-15° Kuzey enlemleri ve 5-10° Batı boylamları arasında kalan bölgeye ait kompozitlerdir (H34V15). Bu bölge Afrika Kıtası içinde yer almakta ve büyük ölçüde Mali Cumhuriyeti topraklarını kapsamaktadır, bunun yanında Gine, Fildişi Sahili

Cumhuriyeti ve Burkina Faso ülkelerinden topraklar da yer almaktadır. Engebese az olan bölgede yer seviyesi kabaca düzlemseldir ve içinden Afrika'nın en uzun nehirlerinden biri olan Nijer Nehri'nin önemli bir kısmı geçmektedir.

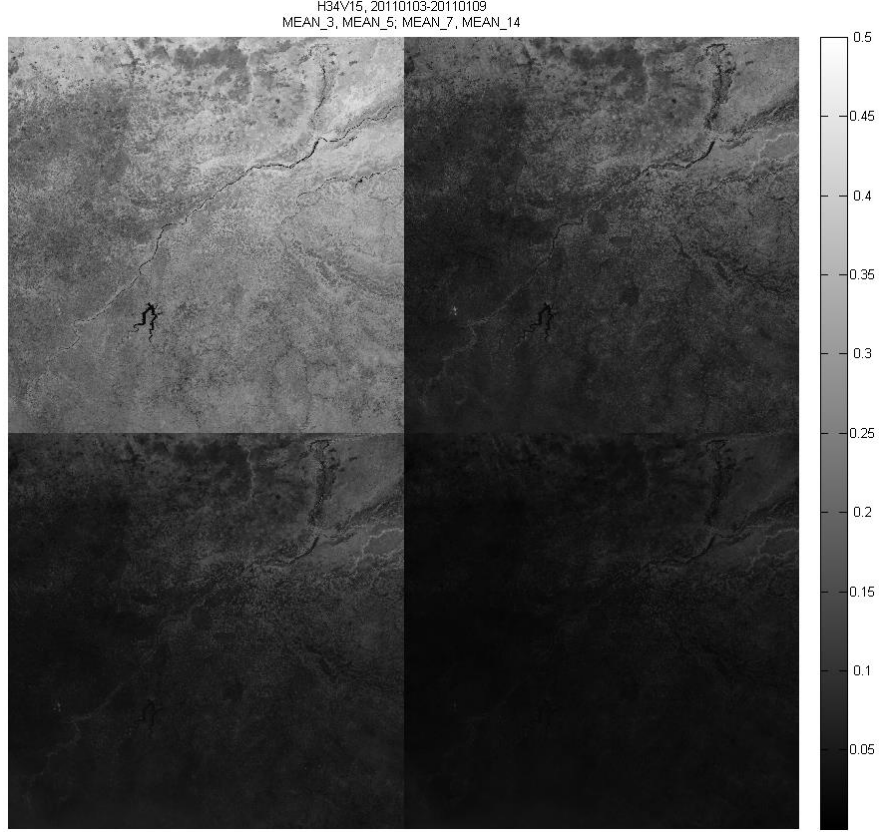
Aşağıdaki sebeplerden dolayı mevcut metotların karşılaştırılması için bu bölge seçilmiştir.

- Her bir haftalık kompozit için geçersiz ölçüm sayısı sıfıra yakındır. Geçersiz ölçümler; bulutluluk oranı veya uydunun kapsama alanı nedeniyle yeterince ölçüm alınamaması gibi sebeplerle ortaya çıkmaktadır.
- Bölgede akarsu ve büyük şehir yer almaktadır.
- Yükselti değişimi azdır.

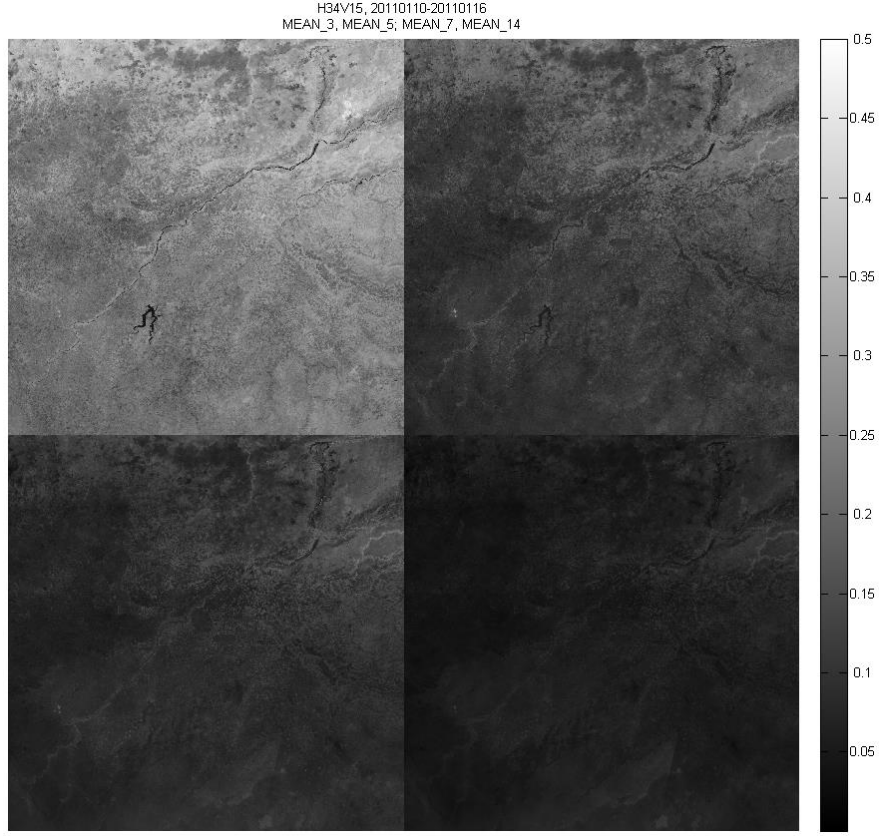
Culture-MERIS ürünü içinde sunulan tüm bantlarda (MEAN_3, MEAN_5, MEAN_7, MEAN_14) yansıma değerleri karşılaştırma için kullanılmıştır. Kullanılan dört ayrı tarihe ait kompozit imgeleri Şekil 2.15 (t_1 : 20110103-20110109), Şekil 2.16 (t_2 : 20110110-20110116), Şekil 2.17 (t_3 :20110117-20110123) ve Şekil 2.17 (t_4 :20110124-20110130) verilmiştir. İki imge arasındaki değişiklik tespiti için kullanılan yöntemler için bu imgelerden yalnızca t_1 ve t_2 zamanlarına ait kompozit imgeleri kullanılmıştır. İki den fazla imge üzerine uygulanan temel bileşenler analizi tekniği ise verilen tüm kompozit imgelere uygulanmıştır.

Bu çalışmada tanıtılan tüm değişiklik tespiti metotları, örnek veri kümesi üzerine uygulanmıştır. Bunlardan imge bağlantı metodu, iki imge arasında doğrusal bir polinom bağlantı aramak ve tipik olarak sensör uzayında tanımlanmış imgelerde uygulanmaktadır. Bu yöntem, yeryüzü yansıtıcılık değerlerinde görülen sistematik bir değişim gerçekleşmesi durumunda etkili sonuçlar üretmektedir. Ancak Culture-MERIS ürünlerinde doğrudan yeryüzü yansıma değerleri sağlandığı için bu metot ile anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Bu nedenle bu bölümdeki, karşılaştırmada imge bağlantı yöntemine yer verilmemiştir.

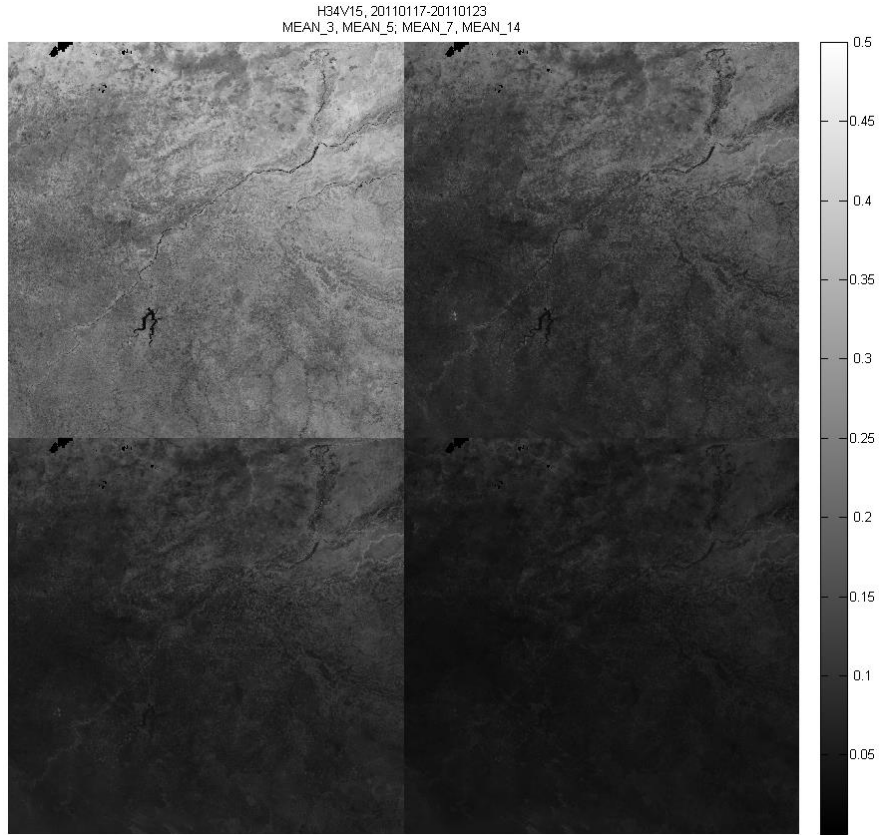
Her bir kompozit imgede yeryüzü yansımaya değerleri verilmiştir. Değişiklik analizi için uygulanan yöntemlerin gürbüzlüğünün belirlenmesi amacıyla, her bir yöntemde görüntülere ölçüm hatası eklenerek uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Eklenen ölçüm hatası normal dağılımdadır ve standart sapması 0.02'dir.



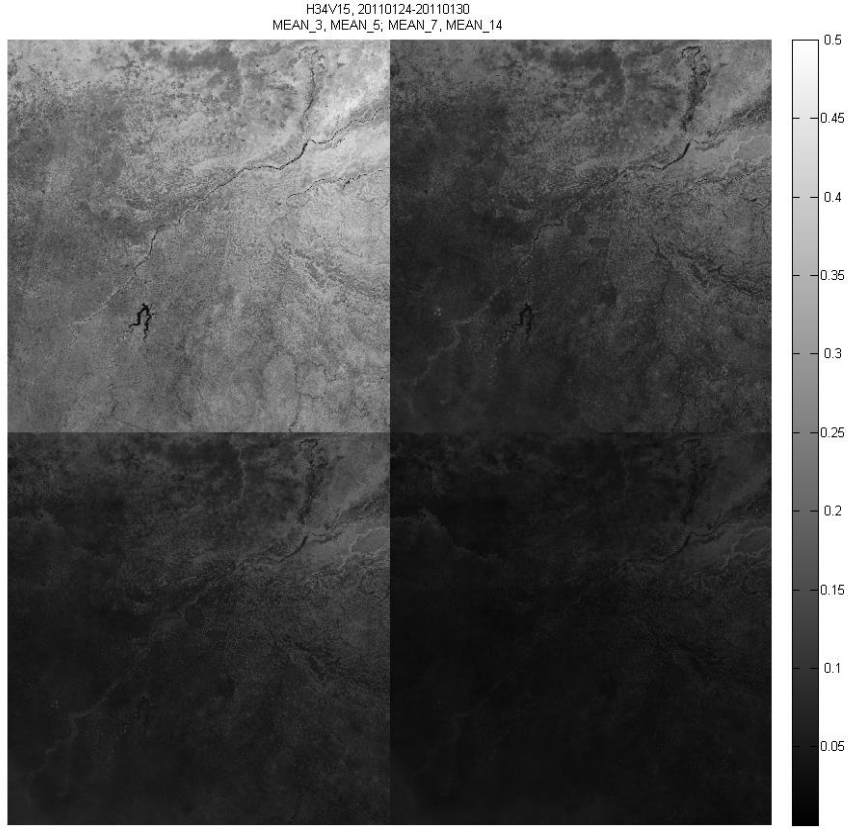
Şekil 2.15. 20110103-20110109 tarihli (t_1) H34V15 kompoziti



Şekil 2.16. 20110110-20110116 tarihli (t_2) H34V15 kompoziti



Şekil 2.17. 20110117-20110123 tarihli (t_3) H34V15 kompoziti



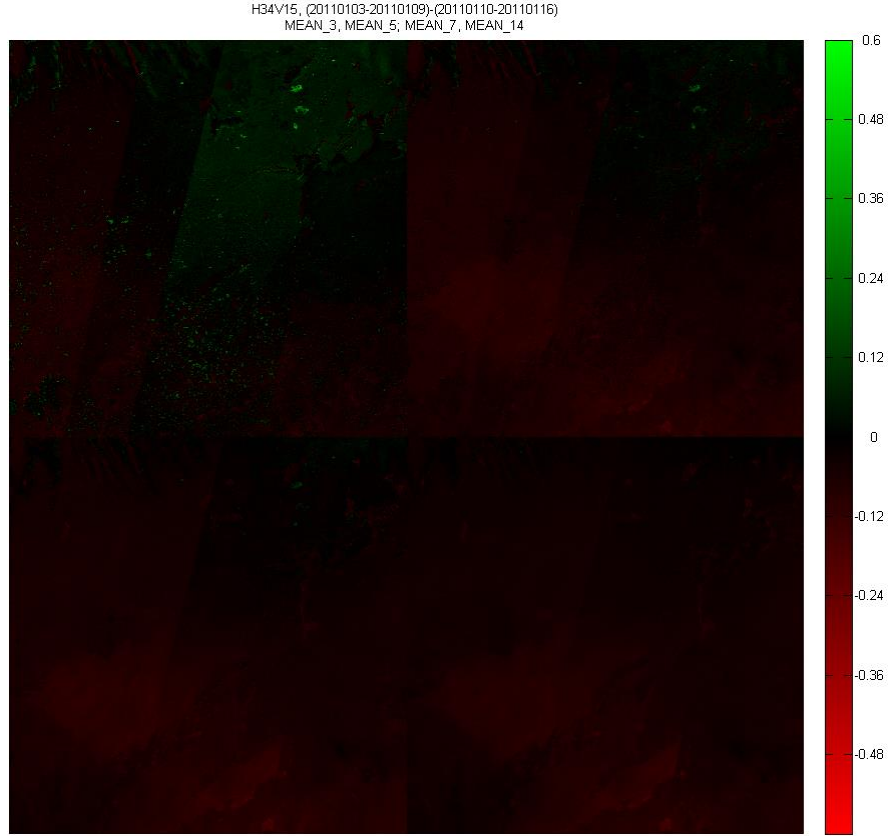
Şekil 2.18. 20110117-20110123 tarihli (t_4) H34V15 kompoziti

2.4.1. Tek Değişkenli İmge Farkı Alma

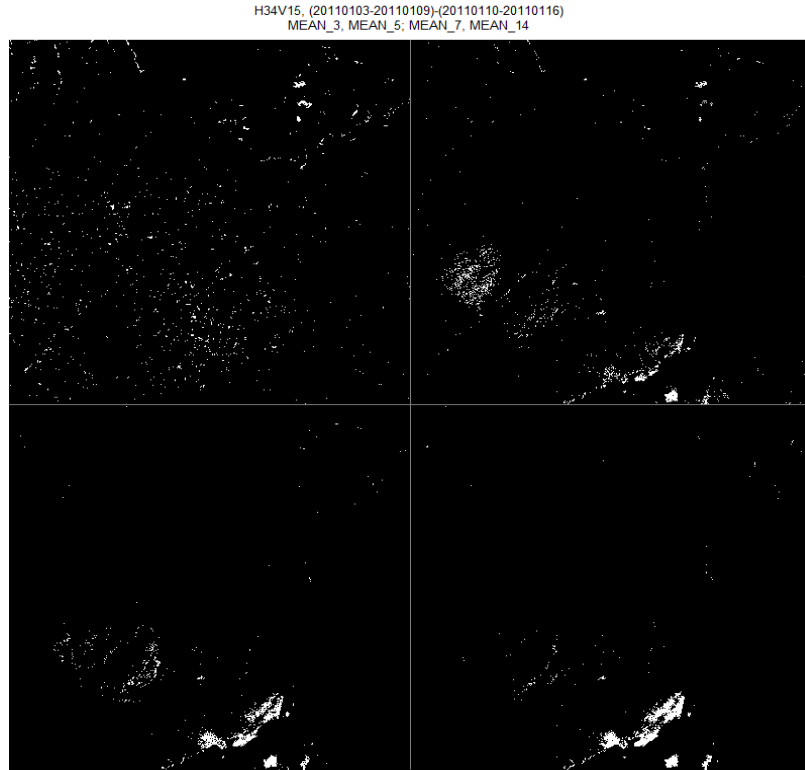
Bu teknik, çoklu görüntülere uygulanabilen bir teknik olmadığı için yalnızca t_1 ve t_2 tarihli kompozit imgelerine uygulanmıştır.

Her bant için piksel farklarının alınmasından ibaret olan yöntem ile imgeler arasında her bant için fark imgeleri elde edilmiştir. Farkların belirgin olarak ortaya çıktığı birçok bölge dikkat çekmektedir.

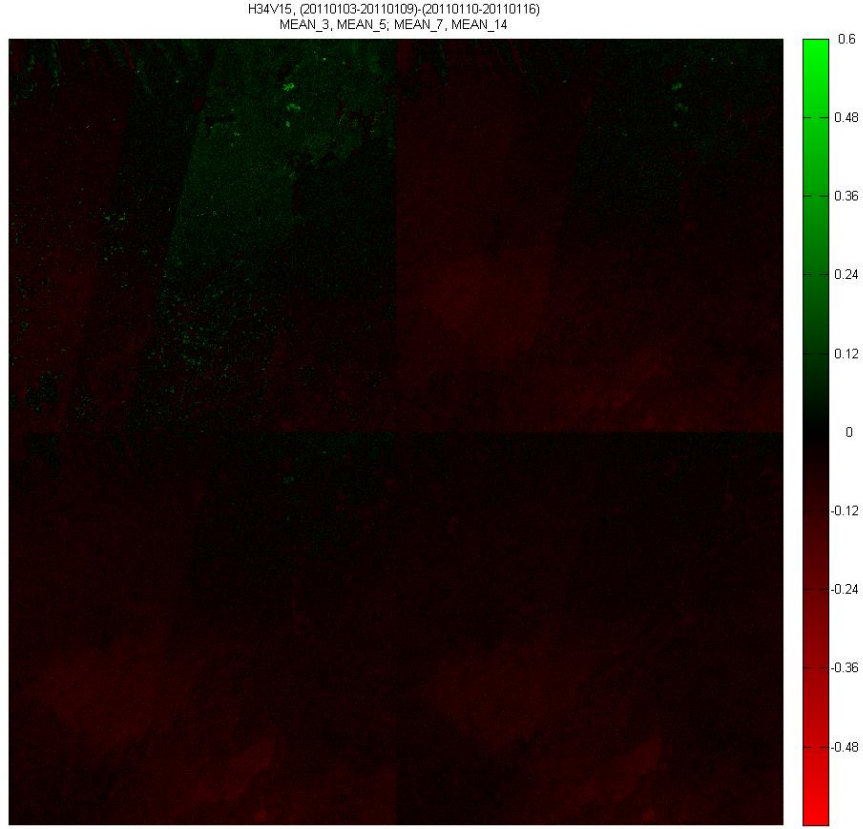
Şekil 2.19 ve Şekil 2.21’de verilen imgelerde tek değişkenli imge farkı alma yönteminin bir uygulaması verilmiştir. İki zamana ait kompozitler arasındaki pozitif farklar yeşil, negatif farklar kırmızı ile gösterilmiştir. İkinci imgede piksel değeri ilkindekine göre artmış ise fark değeri negatif, dolayısıyla kırmızı olarak renklendirilmiştir.



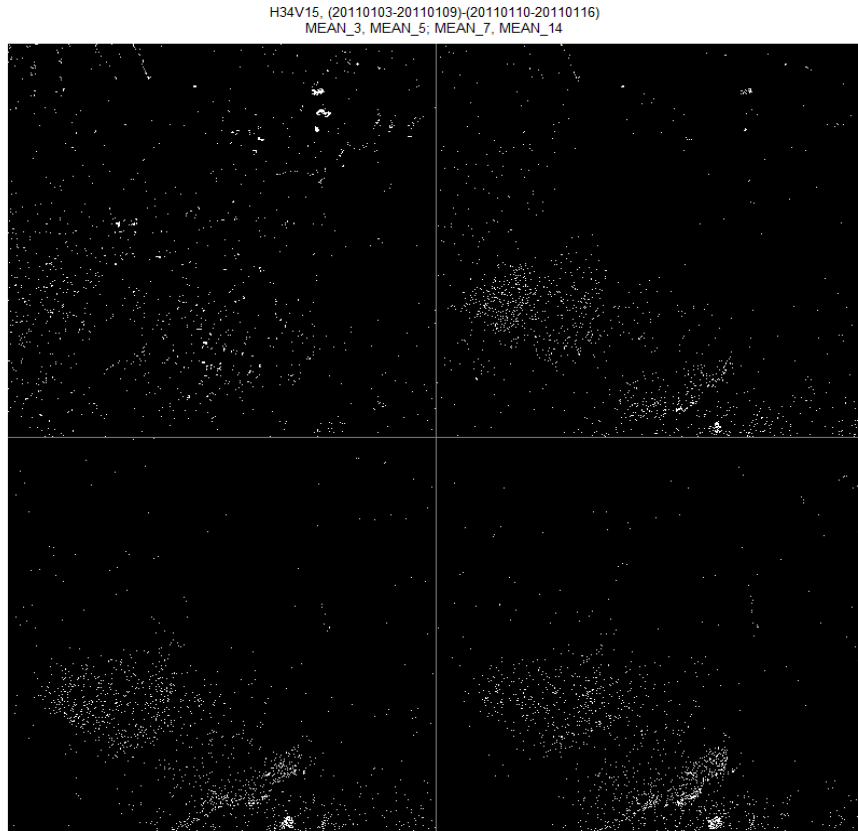
Şekil 2.19. Tek Değişkenli İmge Farkı (t_1-t_2)



Şekil 2.20. Eşiklenmiş Tek Değişkenli İmge Farkı (t_1-t_2)



Şekil 2.21. Ölçüm hatası ile fark alma



Şekil 2.22. Ölçüm hatası ile eşiklenmiş fark imgesi

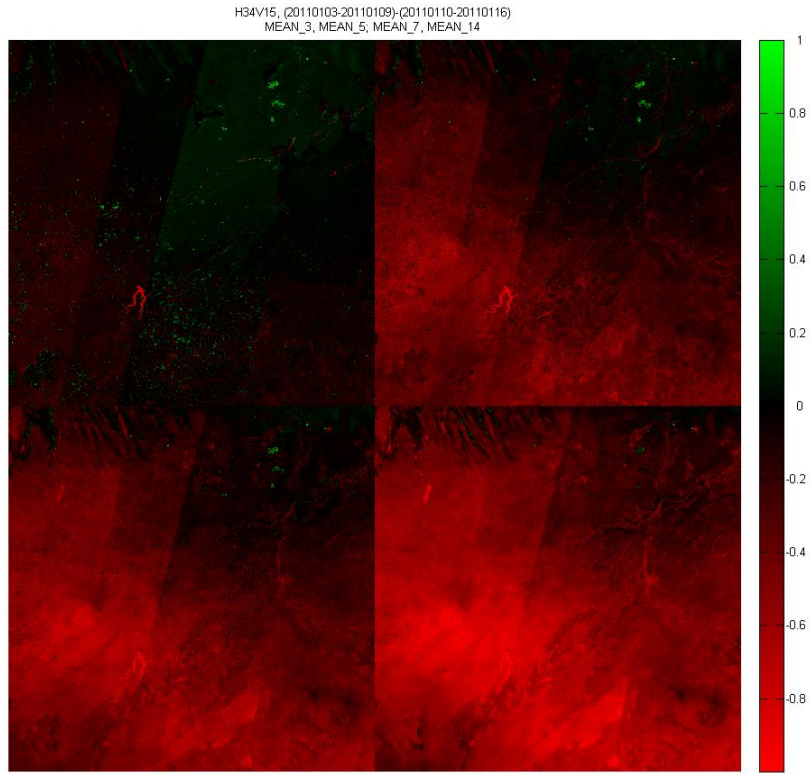
Culture-MERIS imgeleri üzerine uygulanan tek değişkenli imge farkı, yalnızca değişim içeren bölgelerin bölütlenebilmesi amacıyla oransal eşikleme uygulanmıştır. Bu amaçla, mutlak fark imgelerinin histogramı üzerinden belli oranda en yüksek sayısal değere sahip pikseller seçilmiştir. Tipik kullanımda, tatmin edici bir sonuç alınana dek elle belirlenen bu oran değeri için burada %1 kullanılmıştır.

Bölgede gerçekleşen değişim, eşikleme sonucunda elde edilen imge üzerinde görölmektedir. Özellikle bölgenin kuzeybatısında yer alan bölgede ve özellikle güney sınırında değişim göze çarpmaktadır. Ancak fark imgeleri, anlamlandırılması güç sonuçlar ortaya çıkarmaktadır ve ölçüm hatasının olduğu durumda, hata doğrudan sonuca yansımaktadır.

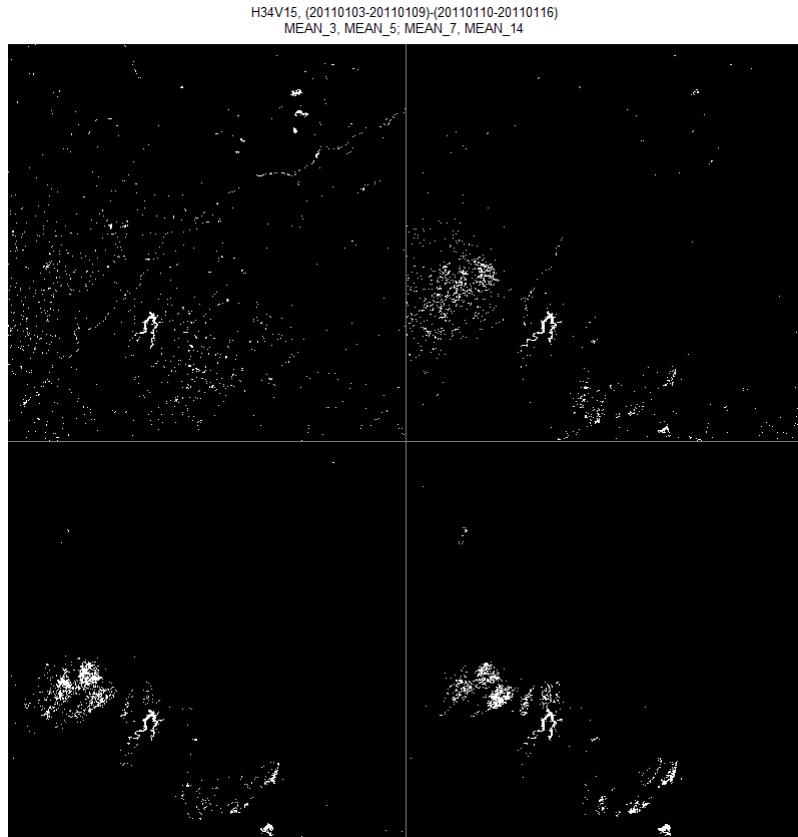
İmge farkı almak fiziksel olarak anlamlı olsa da aşağıda sıralanan dezavantajları beraberinde getirir [9]:

- Sensörün doğruluğuna ve radyometrik kalibrasyonunun kararlılığına doğrudan bağılıdır.
- Genellikle, imgeyi oluşturan izgesel bantlar kendi arasında yüksek ilintiye sahiptir.
- Zaman içinde değişkenlik gösteren gürültü fark alma işlemini zorlaştırabilir.

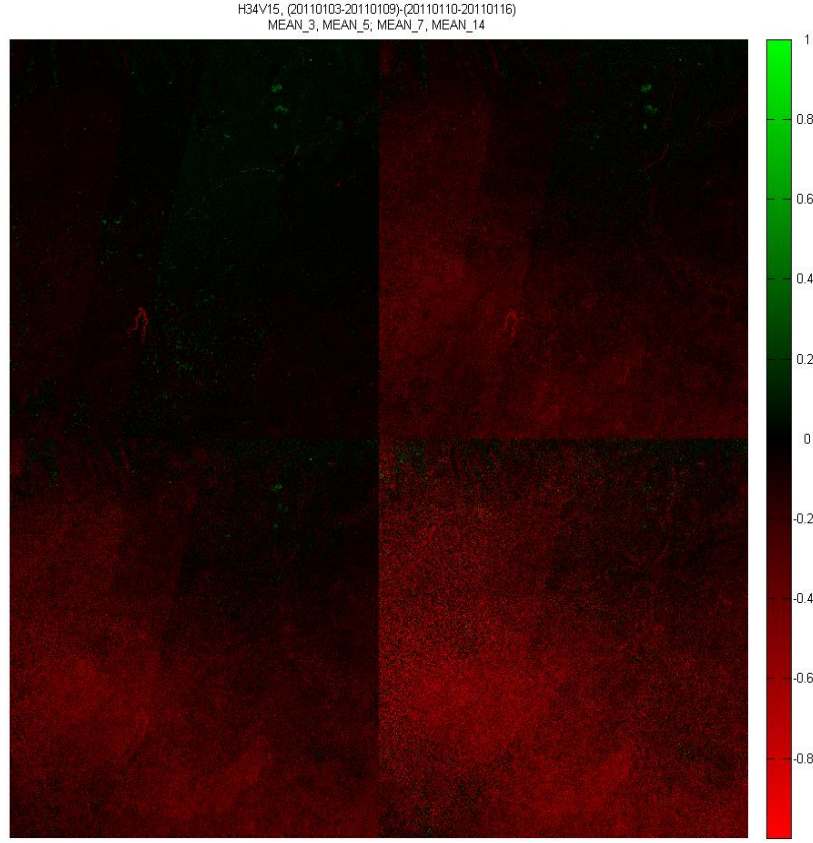
2.4.2. İmge Oranlama



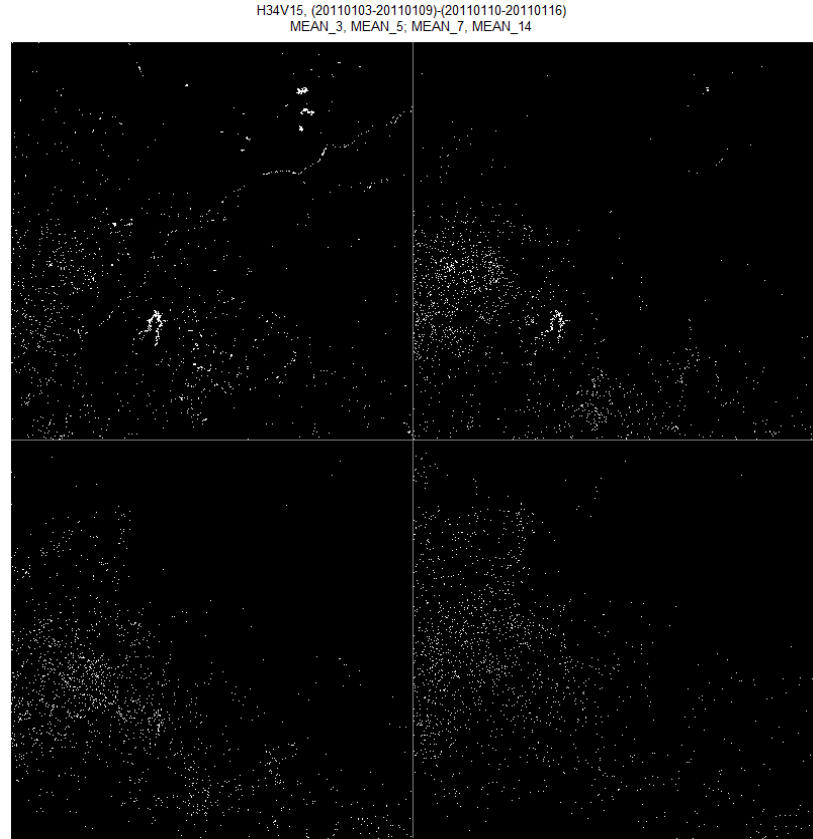
Şekil 2.23. İmge oranlama sonucu



Şekil 2.24. Eşiklenmiş imge oranlama sonucu



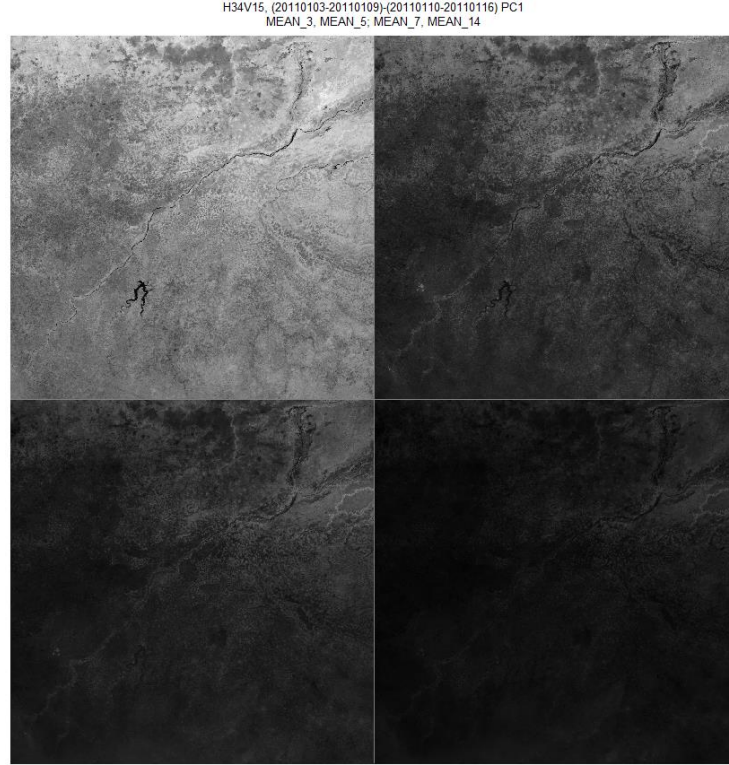
Şekil 2.25. Sensör hatası eklenmiş imge oranlama sonucu



Şekil 2.26. Sensör hatası eklenmiş eşiklenmiş imge oranlama sonucu

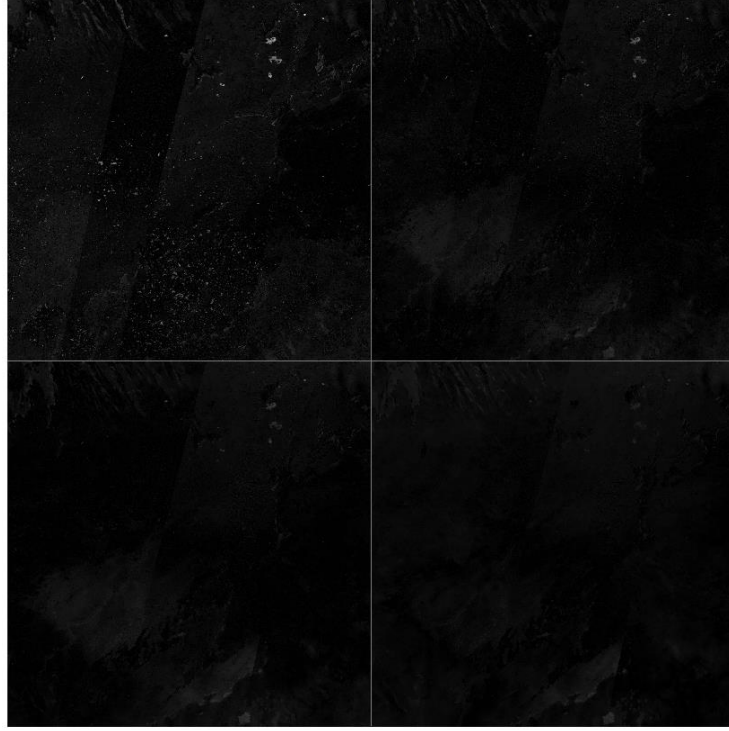
İmge oranlama sonucunda elde edilen değişiklik imgeleri, tek değişkenli imge farkı alma işlemine göre daha gürbüz sonuçlar üretmiştir; eklenen sensör hatasının sonuca etkisi nispeten azdır. Yine fark alma yöntemine göre daha isabetli değişiklik bilgisi ürettiği söylenebilir. Özellikle bölgenin orta-güneybatı bölümündeki akarsu parçasının yüzey yansıtıcılık değerindeki değişim göze çarpmaktadır.

2.4.3. İki İmge için Temel Bileşenler Analizi



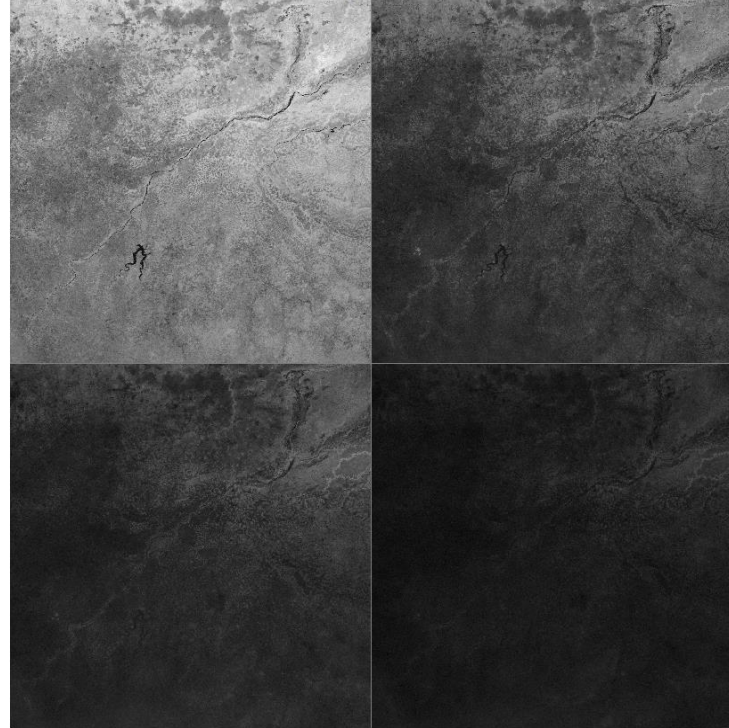
Şekil 2.27. 1. temel bileşen

H34V15, (20110103-20110109)-(20110110-20110116) PC2
MEAN_3, MEAN_5, MEAN_7, MEAN_14

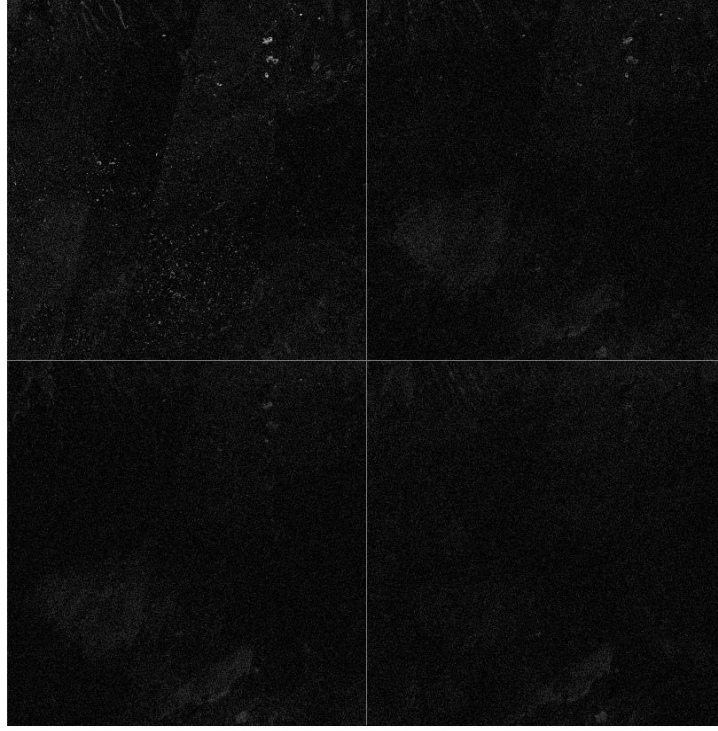


Şekil 2.28. 2. temel bileşen

H34V15, (20110103-20110109)-(20110110-20110116) PC1
MEAN_3, MEAN_5, MEAN_7, MEAN_14



Şekil 2.29. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 1. temel bileşen



Şekil 2.30. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 2. temel bileşen

Temel bileşenler analizi ile imgeler arasındaki değişim dönüşüme dayalı bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntem ile doğrusal fonksiyonlar birbirinden ilintisiz temel bileşenler oluşturulmuş ve taşıdığı içeriğe göre temel bileşen numaraları ile sıralanmıştır. Böylece alt seviye temel bileşenler, girdi imgelerdeki bilgi içeriğinin büyük çoğunluğunu içererek üst seviye temel bileşenler dolaylı olarak girdi imgeler arasındaki farklı piksel değerlerini içerir. Bu yöntem, yeryüzü yansıtıcılık değeri üzerindeki farkların yanı sıra imgelerin ön işleme aşamalarından kaynaklanan hataları da ortaya çıkarmıştır.

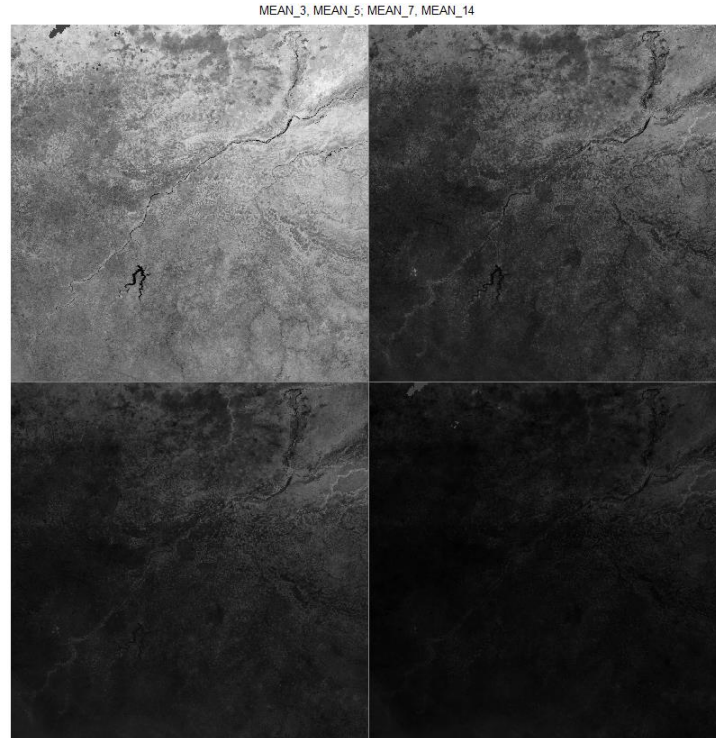
Değişim bilgisini içeren üst seviye temel bileşenlerden öbekleme, bölütleme veya eşikleme teknikleri ile yalnızca değişikliğin olduğu bölgeler ikili bir imge olarak elde edilebilir.

Temel bileşenler analizi, tek değişkenli imge analizi için belirtilen zafiyetleri kısmen giderebilir ancak aşağıdaki dezavantajlara sahiptir [9]:

- Girdi imgelerin ölçeklenmesine karşı duyarlıdır.
- Temel bileşenler analizi ile aslen imgelerin doğrusal fonksiyonları ile en büyük varyansa sahip bileşeni elde edilmesi hedeflendiği için, orantısız derecede fazla varyans içeren bir girdi, elde edilen temel bileşenleri yapay olarak ölçeklendirebilir.
- Temel bileşenler analizi geleneksel olarak piksel tabanlı bir işlem olduğu için imgelerin sahip olduğu uzamsal yapı kullanılmaz.

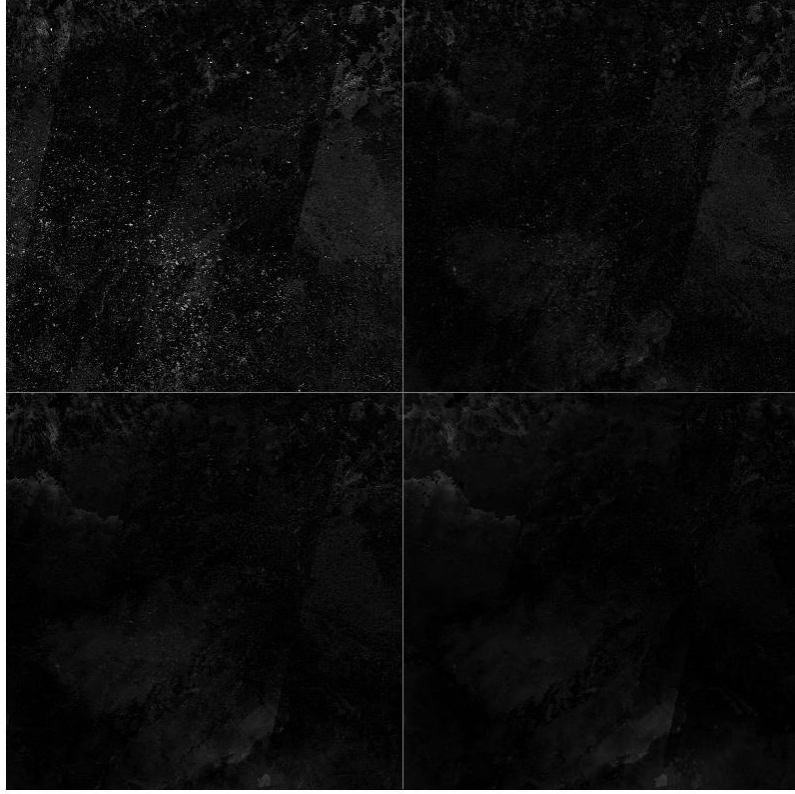
Kanonik korelasyon analizi ve sonucunda elde edilen ÇDDT değişkenlerinin temel bileşenler analizine göre avantajları mevcuttur. Bu avantajlara, ilgili yöntemin sonuçlarının değerlendirmesinde değinilecektir.

2.4.4. İkiden Fazla İmge için Temel Bileşenler Analizi



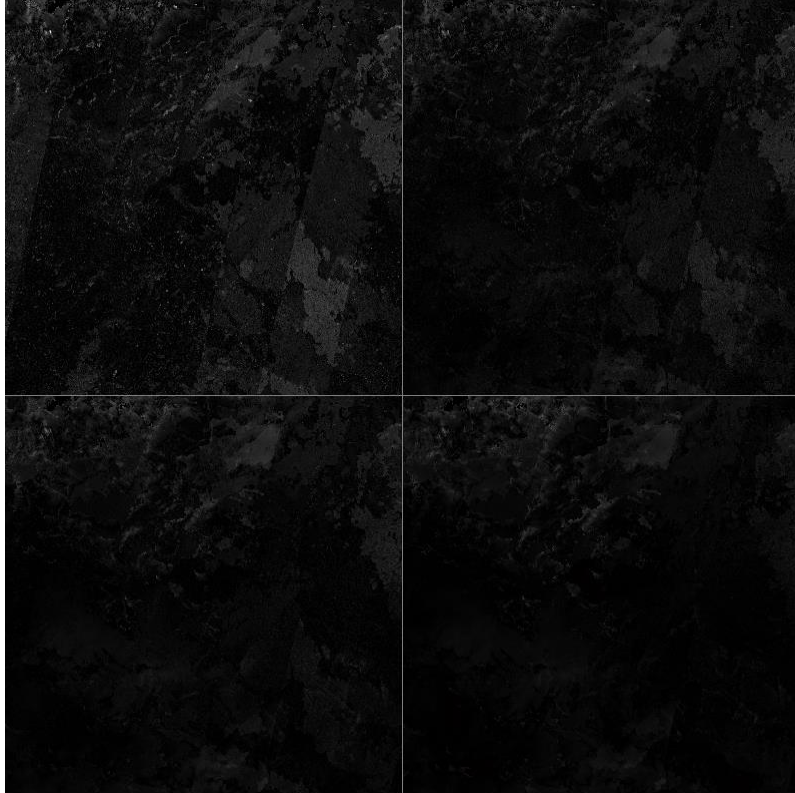
Şekil 2.31. 1. temel bileşen

MEAN_3, MEAN_5, MEAN_7, MEAN_14



Şekil 2.32. 2. temel bileşen

MEAN_3, MEAN_5, MEAN_7, MEAN_14



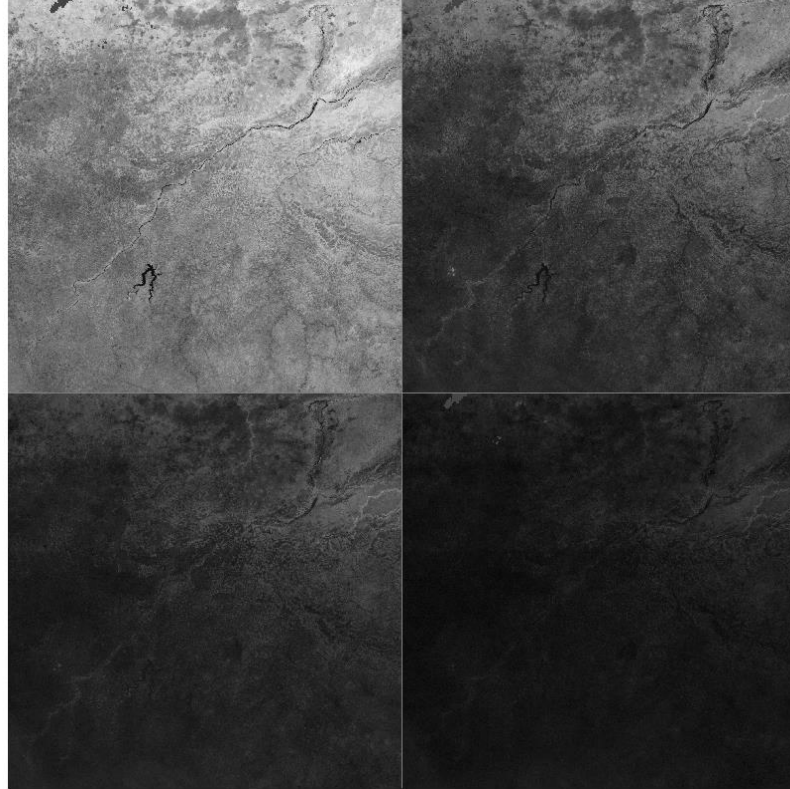
Şekil 2.33. 3. temel bileşen

MEAN_3, MEAN_5, MEAN_7, MEAN_14

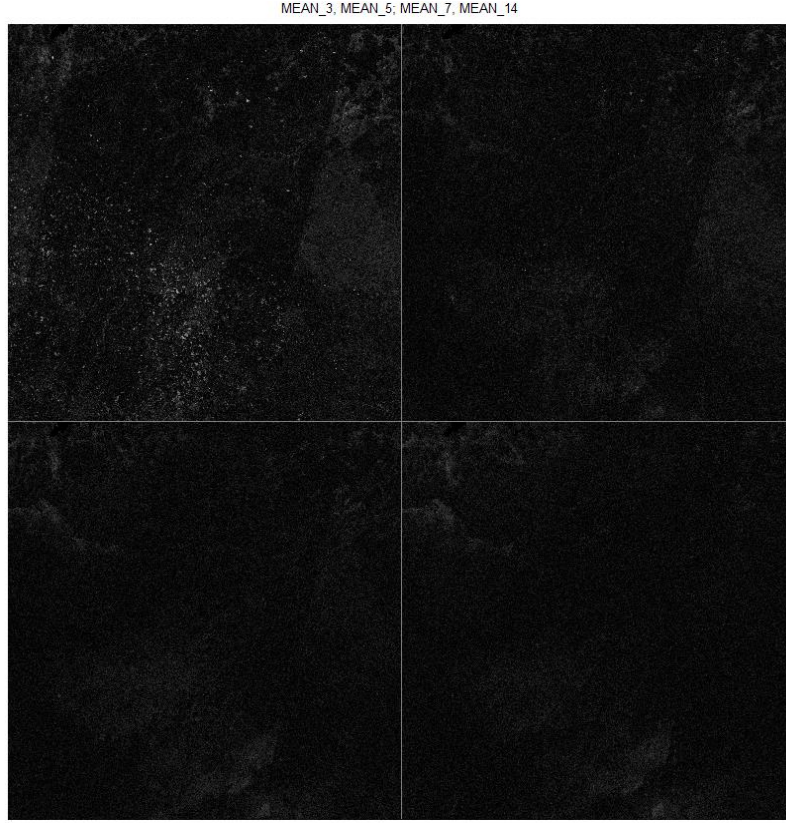


Şekil 2.34. 4. temel bileşen

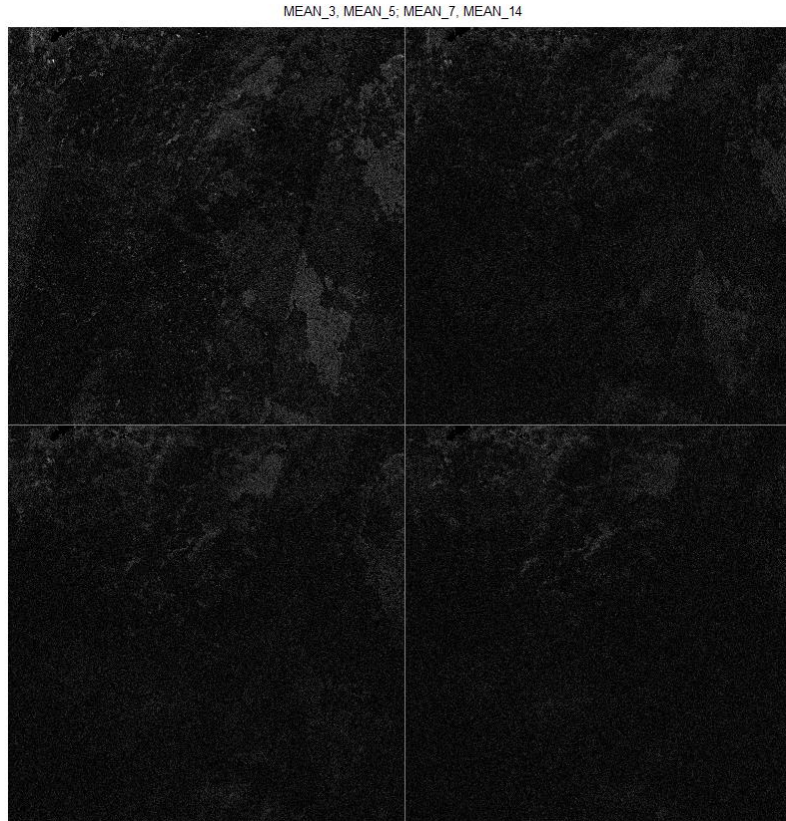
MEAN_3, MEAN_5, MEAN_7, MEAN_14



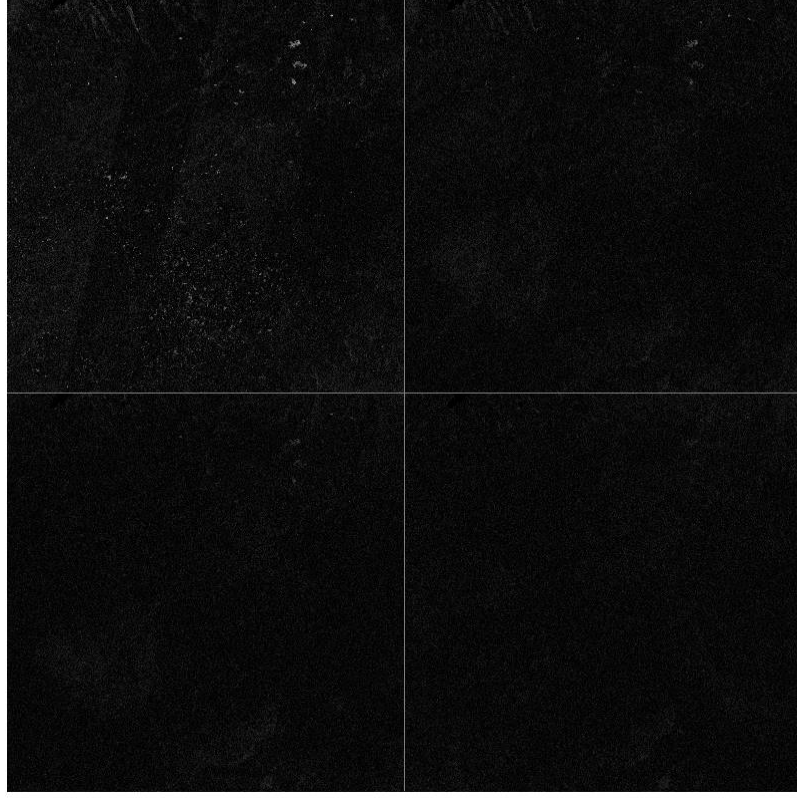
Şekil 2.35. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 1. temel bileşen



Şekil 2.36. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 2. temel bileşen



Şekil 2.37. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 3. temel bileşen



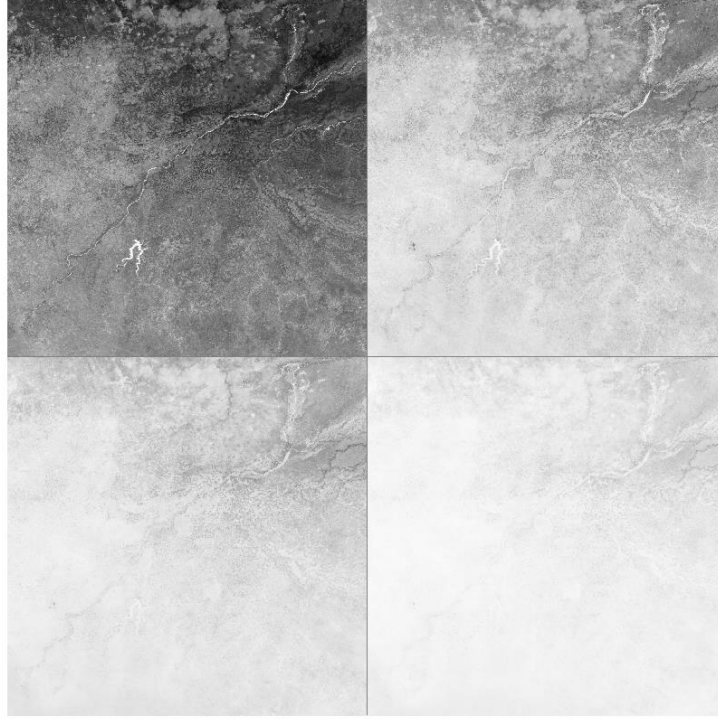
Şekil 2.38. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 4. temel bileşen

Temel bileşenler analizi kullanılarak çoklu görüntülerden değişiklik analizi yapılması mümkündür. Verilen sonuçlar, Temel Bileşenler Analizi bölümünde verilen iki farklı yöntemden ikincisi uygulanarak elde edilmiştir. İki imge üzerine uygulanan temel bileşenler analizi ile benzer olarak, üst seviye temel bileşenler imgeler arasında değişim içeren pikselleri vermektedir. Ayrıca, tüm ölçüm hatası içeriği üst seviye temel bileşenlerde toplanmıştır. Ancak çok sayıda türetilmiş imge ortaya çıkarılması nedeniyle sonuçların yorumlanmasını güçleştiren bir yaklaşım olduğu görülmektedir.

2.4.5. Kanonik Korelasyon Analizi

Bu bölümde, KKA kullanılarak gerçekleştirilen ÇDDT uygulanmıştır.

H34V15, (20110103-20110109)-(20110110-20110116) Kanonik Değişkenler (ui)
i=1,2,3,4



Şekil 2.39. 1. kanonik değişken imgeleri

H34V15, (20110103-20110109)-(20110110-20110116) Kanonik Değişkenler (vi)
i=1,2,3,4



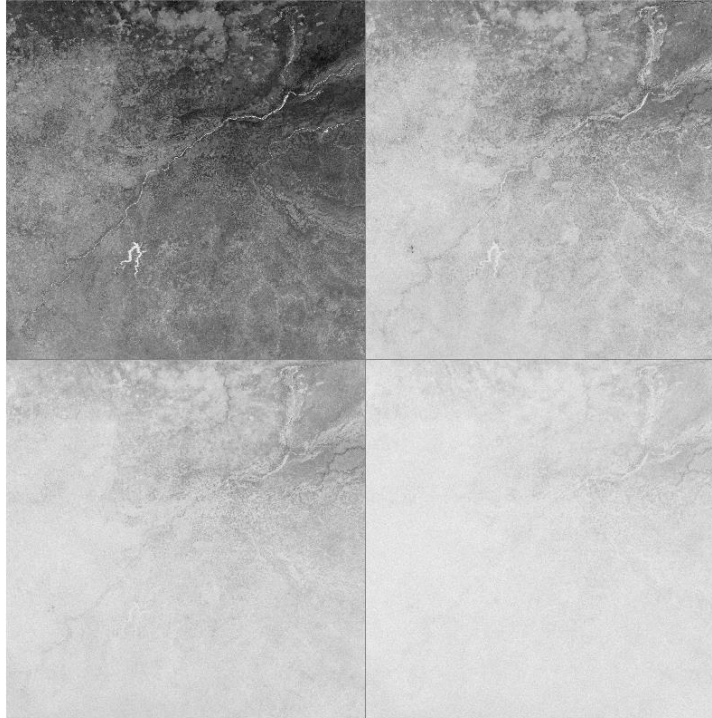
Şekil 2.40. 2. kanonik değişken imgeleri

H34V15, (20110103-20110109)-(20110110-20110116) ÇDDT Değişkenleri
1,2,3,4



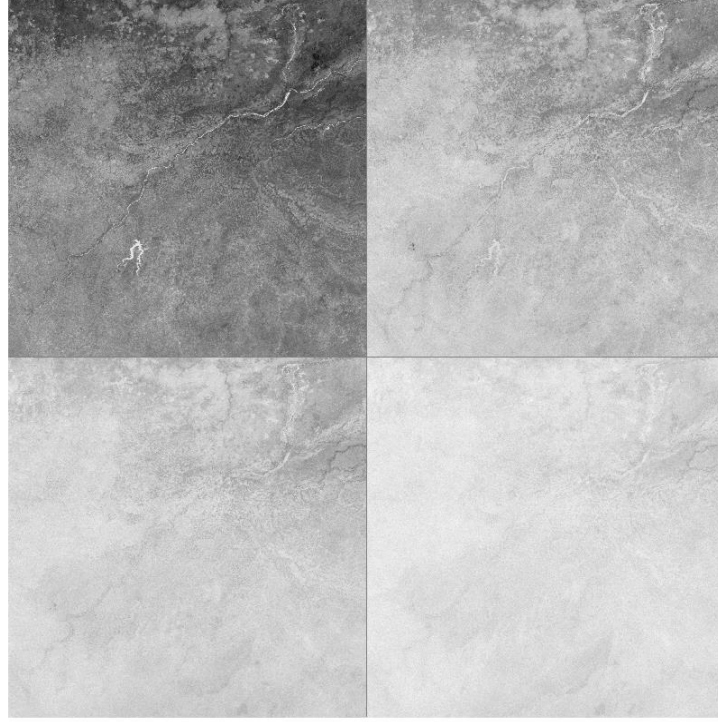
Şekil 2.41. ÇDDT değişkeni imgeleri

H34V15, (20110103-20110109)-(20110110-20110116) Kanonik Değişkenler (u)
i=1,2,3,4



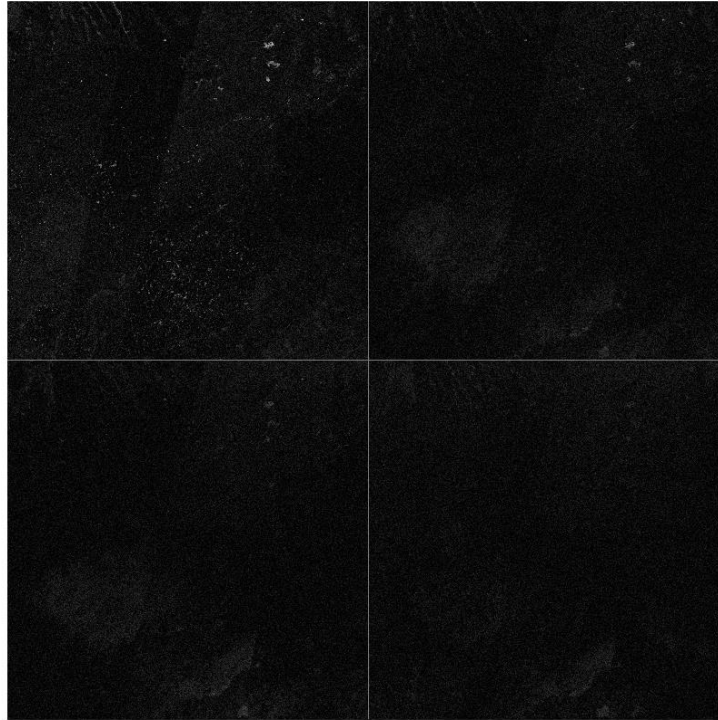
Şekil 2.42. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 1. kanonik değişken imgeleri

H34V15, (20110103-20110109)-(20110110-20110116) Kanonik Değişkenler (vi)
i=1,2,3,4



Şekil 2.43. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden 2. kanonik değişken imgeleri

H34V15, (20110103-20110109)-(20110110-20110116) ÇDDT Değişkenleri
1,2,3,4



Şekil 2.44. Sensör hatası eklenmiş imgeler üzerinden ÇDDT değişken imgeleri

ÇDDT değişkenleri, basitçe iki değişkenli kanonik değişkenler analizi ile elde edilen kanonik değişkenlerin farkı olarak elde edilir. TBA ile elde

edilen üst seviye değişkenler gibi kendi arasında ilintisiz değişkenler olarak ortaya çıkmaktadırlar.

Bu yöntemin temel bileşenler analizine kıyasla aşağıdaki üstünlükleri olduğu söylenebilir [9]:

- Temel bileşenler analizinin aksine girdi imgelerin ölçeklenmesine karşı gürbüzdür.
- Girdi verilerin eşit ölçüde ağırlıklandırılması sebebiyle girdi imgelerdeki orantısız varyans değerleri sonucu yapay olarak ölçeklendirmez.
- Gürültüye karşı temel bileşenler analizine kıyasla daha gürbüzdür.

Bunların yanı sıra, temel bileşenler analizi gibi piksel tabanlı bir teknik olması sebebiyle imgenin içerdiği uzamsal içeriğin değerlendirilmesinde yetersizdir.

Kullanılan veri kümesi, işlenmiş bir veri kümesidir ve yeryüzü yansıtıcılığı değerlerini içermektedir. Bu özelliği ile kullanılan imgeler birbirine benzer karakterdedir ve KKA'nın TBA'ya üstünlüklerinin açıkça görülmesi beklenmemektedir. Nitekim gürültüye karşı gürbüzlük ve farkların ortaya çıkarılmasında TBA ile kıyasla çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

3. KULLANILAN VERİ KÜMESİ

Bu çalışmada, Envisat uydusundan alınmış Culture-MERIS ürünü verileri kullanılmıştır. Bu bölümde kullanılan veri kümesi tanıtılmıştır.

3.1. Envisat Gözlem Uydusu ve Ürünleri

Envisat, Avrupa Uzay Ajansı tarafından 1 Mart 2002 tarihinde Fransız Guyanası'ndan Ariane 5 roketi ile fırlatılmış olan bir keşif uydusudur. Güneş eşzamanlı bir kutupsal yörünge üzerinde 790 km (± 10 km) irtifadaki bir yörüngede Dünya etrafında bir turunu 101 dakikada 35 günlük bir tekrar periyodu ile tamamlar. 8 Nisan 2012'de uydu ile irtibatın kesilmesi ile birlikte Envisat'ın toplam maliyeti 2.3 milyar avro olan görevinin sonlandırıldığı duyurulmuştur [20]. Uydu yükleri optik ve radar bantlarında çalışan keşif amaçlı algılayıcılarıdır.

MEdium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS), Envisat uydusu üzerindeki ana algılayıcıdır. Spektrometre asıl olarak okyanus renginin gözlenmesi amacına hizmet eder. Yeryüzünü taranması için sabit CCD detektörler ile "geniş süpürge" (İng. Push-broom) metodu kullanılır. Nadir etrafındaki 68.5°lik görüş açısı ile her geçişte yeryüzü üzerinde 1150 km genişliğinde bir alan tarar [21]. Görüş açısı, beş özdeş optik modül arasında paylaştırılmıştır. Yeryüzünün örneklenmesi tüm izgesel bant için eşzamanlı olarak gerçekleşmektedir [22]. MERIS, 0.3 km ve 1.2 km'lik uzamsal piksel uzunluklarında olmak üzere iki kipte çalışabilir [23].

MERIS tarafından alınan ölçümler, aşağıdaki bilgilerin elde edilmesi için kullanılmaktadır [23].

- Okyanus renk parametreleri ölçümleri (örneğin, klorofil, çözünmüş organik madde ve askıda kalmış katı madde yoğunlukları)
- Bulut karakteristikleri (azami basınç ve optik kalınlık gibi)
- Bitki örtüsü canlılığı
- Atmosferik parametreler

Spektrometrenin radyometrik kalibrasyonu için platform üzerinde yer alan Spectralon malzemedan imal edilmiş plakalar kullanılmaktadır. Bu plakaların yansıma karakteristiği (bidirectional reflectance distribution function) görev öncesinde detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Yörünge üzerinde her güney kutbundan geçişte kalibrasyon tekrarlanarak algılayıcılar için ofset ve kazanç parametreleri güncellenir. Plakanın dönen bir mekanizma aracılığıyla Dünya'dan gelen ışınımı keserken Güneş'ten yansıyan elektromanyetik ışınımı algılayıcıya yansıtması sağlanmaktadır [24].

MERIS algılayıcısının özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. MERIS algılayıcısının özellikleri

Doğruluk	Okyanus renkli bantlar üzerinde S:R 1700
Uzamsal Çözünürlük	Okyanus: 1040m x 1200 m, Kara ve sahil: 260m x 300m
Tarama Genişliği	1150 km
İzgesel Bantlar	390-1040 nm dalga boyu aralığında seçilebilir 15 bant (2.5 ve 30 nm aralığında seçilebilir bant genişliği)

MERIS'in görüntü sağladığı olan 15 izgesel bant ve kalibrasyon amaçlı 16. bantın özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. MERIS bantları dalga boyları ve kullanım alanları [25]

Merkez Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)	Kullanım
412.5	10	Sarı maddeler, aşınmış pigmentler
442.5	10	Klorofil soğrulması maksimum
490	10	Klorofil ve diğer pigmentler
510	10	Asılı kalan tortu, kızıl gelgit
560	10	Klorofil soğrulması minimum
620	10	Asılı kalan tortu
665	10	Klorofil soğrulması ve floresans referansı
681.25	7.5	Maksimum klorofil floresansı
705	10	Işıma referansı, atmosferik düzeltmeler
753.75	7.5	Bitki örtüsü, bulut
760.625	3.75	O ₂ , "R-branch absorption" bandı
775	15	Atmosfer düzeltmeleri
865	20	Bitki örtüsü, su buharı referansı
885	10	Atmosfer düzeltmeleri
900	10	Su buharı, kara

ESA tarafından tanımlanan işleme seviyeleri Çizelge 3.3'te verilmiştir [25].

Çizelge 3.3. ESA ürünleri için işleme seviyesi tanımları

Seviye	Açıklama
0	Algılayıcıdan doğrudan elde edilmiş olan ham veriyi içerir.
1b	Geometrik ve radyometrik olarak kalibre edilmiş olan veri. MERIS için atmosfer üstü yansımaya değerini ifade eder.
2	Yüzey tipine bağlı olarak geometrik olarak konumlandırılmış olan jeofizik parametreleri ve yüzey yansımaya değerlerini içerir.

MERIS algılayıcısı tarafından toplanan verilerden aşağıdaki ürünler kullanıma açılmış durumdadır [26].

- MER_RR__1P: Geometrik olarak konumlandırılmış ve radyometrik olarak kalibre edilmiş atmosfer üstü yansımaya değerleri (Level 1b)
- MER_RR__2P: Okyanus, atmosfer, kara için geometrik olarak konumlandırılmış jeofiziksel parametreler ve normalize edilmiş su yansımaya değerleri (Reference Level 2)
- MER_RRC_2P: Geometrik olarak konumlandırılmış bulut optik kalınlık ve su buharı içeriği (Atmosphere Level 2)
- MER_RRV_2P: Geometrik olarak konumlandırılmış ve atmosferik etkiler için düzeltilmiş bitki örtüsü endeksi (Vegetation Level 2)
- MER_LRC_2P: Geometrik olarak konumlandırılmış bulut optik kalınlık ve su buharı içeriği (Low resolution Atmosphere Level 2)

Yukarıda listelenen ürünlerin dışında yaklaşık gerçek zamanlı Culture-MERIS kompozitleri de kullanıma açılmıştır.

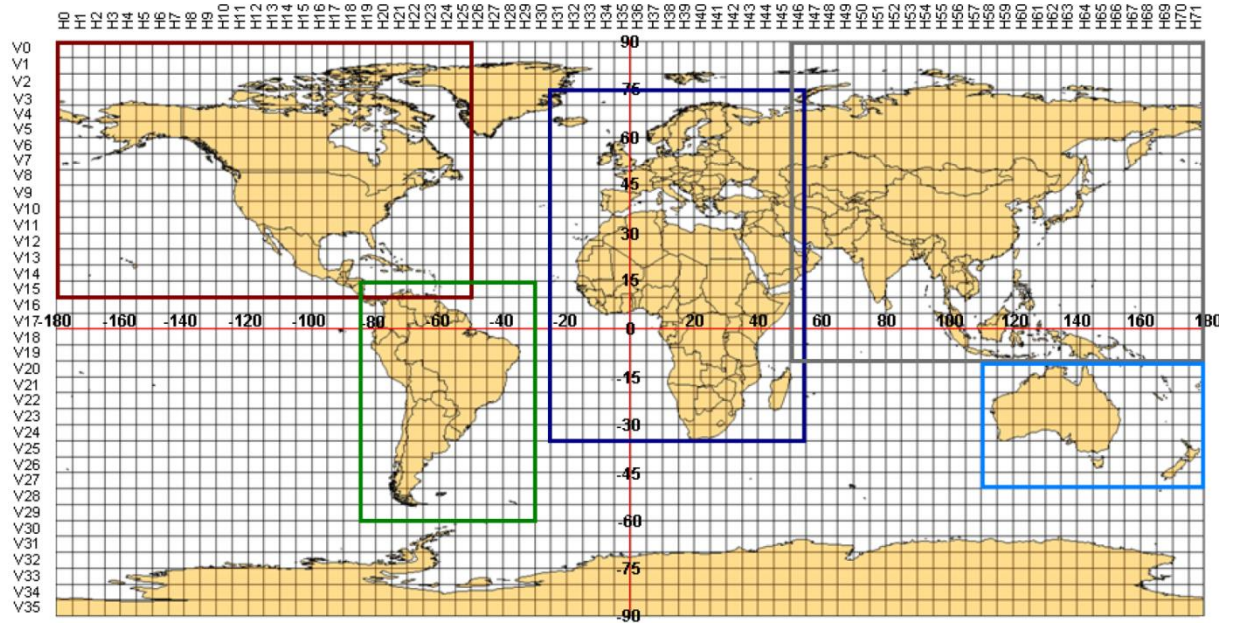
3.2. Culture-MERIS Hizmeti

Culture-MERIS projesi, Avrupa Uzay Ajansı'nın ücretsiz ve açık olarak sunduğu hizmetidir. Ürünün öncelikli amacı, dünya örtüsü üzerinde hızlı ve güncel bir keşif sağlamaktır. Proje kapsamında MERIS'ten tam çözünürlükte alınan veriler işlenerek haftalık atmosfer altı yansımaya

değerleri sunulmaktadır. Bu veriler uzamsal olarak ve atmosferik bozulmalara karşı işlenmiş olup her Çarşamba günü önceki haftaya ait veriler kullanıma açılmıştır. Mart 2011'den Envisat servislerinin kesildiği 8 Nisan 2012 tarihine kadarki veriler işlenmiş olup kullanıma açılmış durumdadır [27].

Proje çerçevesinde Envisat uydusunun görevi sonlandığından yeni veri üretimi olmayacak, ancak uydunun görev süresi zarfında elde edilmiş olan verilerin işlenerek kullanıma açılması planlanmaktadır. Geriye dönük olarak 10 yıl boyunca alınmış verilerin işlenmesi söz konusudur [28].

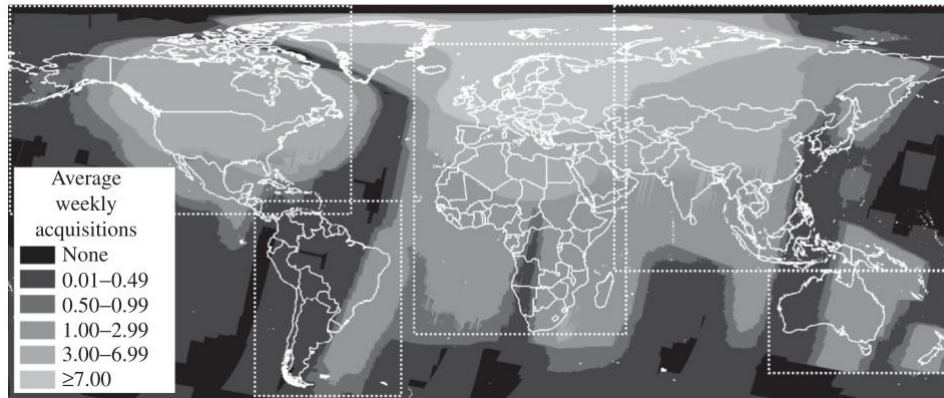
Haftalık kompozit veriler, 5x5°'lik parçalar hâlinde sunulmuştur. Bu parçalar GlobCover projesinde kullanılan şema dâhilinde örtüşmeyecek biçimde numaralandırılmıştır. Proje kapsamında Avrupa ve Afrika'daki tarım faaliyetlerinin gözlenmesi amaçlanmış olup, daha sonra kapsam artırılmıştır [29]. Sunulan kompozitler 5 bölge hâlinde mevcuttur: Asya, Avrupa-Afrika, Kuzey Amerika, Okyanusya, Güney Amerika. Parçaların numaralandırma şeması Şekil 3.1'te verilmiştir [27].



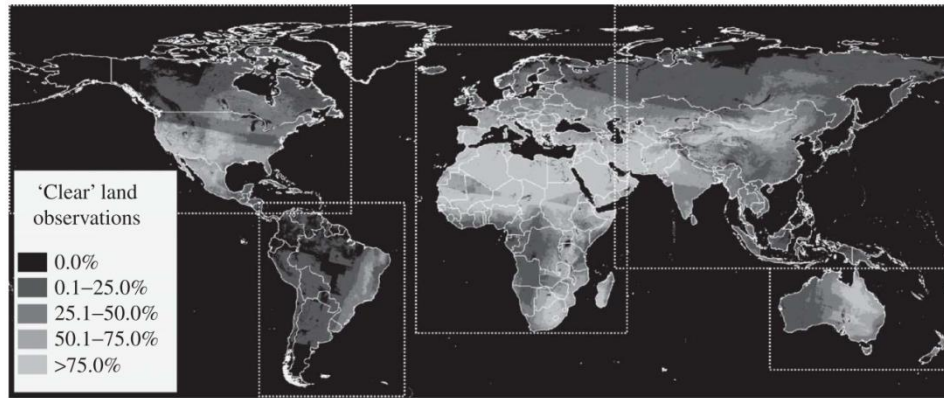
Şekil 3.1. Culture-MERIS kompozit numaralandırma şeması

Haftalık kompozitlere erişim, <ftp://culturemeris@ionia2.esrin.esa.int/> adresindeki ftp sunucusundan sağlanmaktadır. Her kıtaya ait kompozitler ilgili klasörlerde gzip dosya formatında sıkıştırılmış olarak yer almaktadır [27].

Culture-MERIS'in girdisi olarak kullanılan veri, bir hafta boyunca yer istasyonlarınca alınan görüntülerden oluşmaktadır. Ancak bu dünya üzerinin taranması sistematik olarak yapılmadığı için her hafta taranan bölgeler farklılık gösterebilmektedir. Örnek olarak Şekil 3.2'te projenin ilk 10 ayında Culture-MERIS verisinin mevcudiyeti gösterilmiştir [30]. Bir diğer kısıtlayıcı etken ise bulutluluktur. Şekil 3.2'da MERIS gözlemlerinden yeryüzü örtüsünün gözlenebildiği görüntülerin oranı verilmiştir. Bu şekil, zamana bağlı değişiklik analizinin sağlıklı olarak yapılabileceği bölgeler hakkında fikir vermektedir [29].



Şekil 3.2. 7 Mart 2011 – 13 Şubat 2012 tarihleri arasında ortalama haftalık MERIS taramaları [29]



Şekil 3.3. 42 haftalık bir süreç için bölgelere göre açık (bulutsuz ve karsız) MERIS gözlemlerinin oranları [29]

Culture-MERIS ürünü Envisat uydusunun MERIS algılayıcısından elde edilen tam çözünürlükte (300 metre) Level 1B seviyesi verilerden oluşturulmuştur. Level 1B verisinin üretilmesinde ham veri uzamsal ve radyometrik olarak yeniden örneklenerek atmosfer üstü yansıma değerleri elde edilmiştir. Atmosfer üstü yansıma değerlerinden yüzey yansıma değerlerinin elde edilmesi için atmosferik model kullanılarak elde edilen yansıma değerlerinin ortalaması alınmaktadır[27]. Veri işlenmesi için GlobCover projesi kapsamında geliştirilmiş olan sistemin modüllerini kullanmaktadır. Culture-MERIS verisinin elde edilmesinde aşağıda maddelenmiş işlem basamakları kullanılır[27].

- Geometrik düzeltme: Görüntülerin üzerindeki geometrik bozulmaların kaldırıldığı bu adımda kullanılan metodun RMS ortorektifikasyon hatası 77 m'ye kadar azalttığı bilinmektedir [31].
- Atmosferik düzeltme: Atmosfer üstü yansıma değerlerinden yüzey yansımalarının elde edilmesi amacıyla atmosferik etkiler düzeltilir. MOMO (Matrix Operator Model) metodu adı verilen yöntem farklı girdiler kullanılarak uygulanır. Bu girdilerin büyük ağırlığı arasında ESA'nın farklı ürünlerinden elde edilen ozon ve aerosol oranlarıdır ve önceki yıllara ait değerlerden atmosfer modeline göre görüntülerin elde edildiği koşullar için simüle edilerek kullanılır.
- Bulut ve kar tespiti: MOMO modelinden türetilmiş bir sinir ağı ve mavi bant adı verilen bir teknik olarak iki metod kullanılır. İlk metod her piksel için yalnızca bulutlu ve açık olarak iki sınıflandırma yapmaktadır. İkinci metod farklı bantlarda eşikleme işlemi ile her piksel için açık, kar, yoğun ve seyrek bulut olmak üzere dört değeri sınıflamaktadır.
- Bulut ve gölge yayılması: Bulutlu bir piksel tespit edildiğinde, 7x7 piksel boyutlarındaki kare içi şüpheli olarak işaretlenir. Bu işlem karlı bölgeler için gerçekleştirilmez.

- Su-kara sınıflandırması: Göller, MERIS L1b verisi ile her piksel için sağlanan bir işaret ile belirlenir. Kara olarak işaretlenen alanlar içindeki sular ve su olarak işaretlenen alanlar içindeki karasal alanlarında tespit edilmesi için 2 izgesel bantta (665 ve 865 nm dalga boyu merkezli) eşikleme gerçekleştirilir [32].
- Projeksiyon: Görüntülere Plate Carrée projeksiyonu uygulanır.
- Birleştirme: Haftalık izgesel yansıma değerlerinin elde edilmesi için bir haftalık zaman boyunca alınmış yönlü yansıma değerlerinin ortalaması alınır. Böylece yüzeydeki yansıma değeri kestirilmeye çalışılır. Ancak kestirilen değerin doğruluğu, ölçümlerin sayısına ve kamera-güneş açılarının çeşitli olmasına bağlıdır, ki tipik olarak kısıtlı sayıda örnekler mevcuttur. Veri ile birlikte her piksel için sağlanan geçerli gözlem sayısı değeri sağlanmaktadır.
- Durum değeri eklenmesi: Verinin sentez dünya yüzeyi sınıfını belirten değerler bir tablo olarak eklenir.

Bütün Culture-MERIS kompozit verisi, tam çözünürlükte Hierchical Data Format-EOS 2 (HDF) formatında sunulmuştur. Haftalık bir Culture-MERIS kompoziti, aşağıdaki veri katmanlarından oluşur [27].

Çizelge 3.4. Culture-MERIS veri katmanları

Parametre	Tanım	Veri Tipi	Değer aralığı
SM	Durum değerleri	16-bit UINT	[0...6]
NMOD	Geçerli gözlem sayısı	16-bit UINT	[0...255]
NDVI _{INT}	Normalized Difference Vegetation Index	8-bit UINT	[0...255]
MEAN ₃	3 numaralı bant (mavi, 490 nm) için normalize edilmiş yansımaya değeri	16-bit UINT	[0...2000]
MEAN ₅	5 numaralı bant (yeşil, 560 nm) için normalize edilmiş yansımaya değeri	16-bit UINT	[0...2000]
MEAN ₇	7 numaralı bant (kırmızı, 665 nm) için normalize edilmiş yansımaya değeri	16-bit UINT	[0...2000]
MEAN ₁₄	14 numaralı bant (kızıl ötesi, 890 nm) için normalize edilmiş yansımaya değeri	16-bit UINT	[0...2000]

Ondalıklı bir sayı olan fiziksel NDVI değeri ile tam sayı olarak ifade edilen fiziksel NDVI değeri arasında (3.1)'de verilen bağıntılar yazılabilir.

$$NDVI_{INT} = \frac{NDVI_{FLOAT} + 1}{2} \times 255 \quad (3.1)$$

$$NDVI_{FLOAT} = \frac{2 \times NDVI_{INT}}{255} - 1$$

MEAN_n değerleri, (3.2)'de verilen bağıntı kullanılarak gerçek yansımaya değerlerine çevrilebilir.

$$MEAN_{n,phys} = \frac{MEAN_n}{2000} \quad (3.2)$$

Her piksel için durum değerleri aşağıda maddelendiği gibi belirlenir.

- Piksel karasal bölge üzerinde en az bir geçerli gözleme sahipse "kara" (land) olarak işaretlenir.
- Kara olarak bilinen piksellerde su bölgesi tespit edildiğinde, piksel "su baskını" (flooded) olarak belirtilir.
- Birleştirme aşamasında gözlemlerin büyük çoğunluğu gölge içinde kalan pikseller "şüpheli" (suspect) olarak işaretlenir. Bu durum için yüzey yansıması hesaplanmaz.
- Birleştirme aşamasındaki gözlemlerin çoğunluğu bulut olan pikseller "bulut" (cloud) olarak işaretlenir. Bu durum için yüzey yansıması hesaplanmaz.
- Tespit edilen su bölgeleri, "su" (water) olarak işaretlenir. Bu durum için yüzey yansıması hesaplanmaz.
- Birleştirme aşamasında çoğunlukla karlı gözlemler yapılan pikseller "kar" (snow) olarak işaretlenir. Bu pikseller için yüzey yansıması hesaplanmaz.
- Alt seviye işleme adımlarında (L0->L1b ve L1b->L2 dönüşümü) geçersiz olarak işaretlenen pikseller "geçersiz" (invalid) olarak belirtilir. Bu pikseller için yüzey yansıması değeri hesaplanmaz.

4. GELİŞTİRİLEN YAKLAŞIM

Uzaktan algılanmış imgeler üzerine dönüşüm tabanlı yaklaşımlar yaygın olarak literatürde yer almaktadır. Değişiklik tespiti için Çoklu-Set Kanonik Korelasyon Analizi (ÇKKA), Kettenring [1] tarafından önerilmiş ve Nielsen [2] tarafından uzaktan algılama imgelerine uygulanmıştır. Geliştirilen yaklaşım, Nielsen tarafından incelenen ÇKKA tekniğini temel almaktadır. İlgili yayında, veri füzyonu, çok kaynaklı, çok zamanlı veri kümelerinde keşif amaçlı veri inceleme üzerine bir yöntem önerilmektedir. Yönteme göre, girdi olarak kullanılan veriler kanonik değişkenler olarak adlandırılan yeni ortogonal değişkenler üzerine dönüştürüldüğünde gittikçe azalan ilinti değerleri göstermektedir. Kanonik değişkenler, girdilerin doğrusal ve ilgin dönüşümlerinden etkilenmemektedir.

Bu çalışmada, Nielsen'in önerdiği ÇKKA yöntemi üzerine TBA uygulanarak değişiklik içeren piksellerin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Böylece elde edilen üst seviye temel bileşenler, imgelerin alındıkları tarihler arasındaki değişikliğe işaret etmektedir.

Bu bölümde ÇKKA tekniğinin teorik zemini detaylandırılacak, geliştirilen yaklaşımın işlem basamaklarına uygulama bölümünde yer verilecektir.

4.1. Teori – Çoklu-Set Kanonik Korelasyon Analizi

Çoklu-set kanonik korelasyon analizi, ikiden fazla değişken kümesi için doğrusal kombinasyonların analiz edilmesinde kullanılan bir tekniktir.

x değişkeni, $m_1, m_2, \dots, m_n$ boyutlu (kanallı) $x_1, x_2, \dots, x_n$ değişkenlerin birleştirildiği bir değişken vektörü olsun. Genellikle ödün vermeden $E\{x\} = 0$ varsayılabilir. Ayrıca matrislerin kertesine göre sıralandığı ve minimum matris kertesinin m_{min} olduğu varsayılmaktadır. Örnek olarak uzaktan algılamada değişiklik tespiti uygulaması için; x matrisi, tek bir zamana ait bir imgenin tüm piksel değerlerini içeren matris, x_i değişkenleri, imgenin ilgili bandındaki tüm piksel değerlerini içeren

vektör ve m_i değerleri ise ilgili imge bandının içerdiği toplam piksel sayısını ifade eder.

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$\mathbf{x}_i = \begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \vdots \\ x_{im_i} \end{bmatrix}$$

x_i ve x_j değişkenlerin kovaryans matrisi $cov\{x_i, x_j\} = \Sigma_{ij}$ kullanılarak x değişkeni için kovaryans matrisi (4.2)'de verildiği gibi yazılabilir.

$$\Sigma_x = \begin{bmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} & \cdots & \Sigma_{1n} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} & \cdots & \Sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{n1} & \Sigma_{n2} & \cdots & \Sigma_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Elde etmeyi amaçladığımız doğrusal $n \times m_{min}$ kombinasyon,

$$\mathbf{u}_{ij} = \mathbf{a}_{ij}^T \mathbf{x}_i, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m_{min} \quad (4.3)$$

Buna göre, dönüştürülen değişkenler için kovaryans matrisi (4.4)'te verilmiştir.

$$\Sigma_u = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1^T \Sigma_{11} \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}_1^T \Sigma_{12} \mathbf{a}_2 & \cdots & \mathbf{a}_1^T \Sigma_{1n} \mathbf{a}_n \\ \mathbf{a}_2^T \Sigma_{11} \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}_2^T \Sigma_{22} \mathbf{a}_2 & \cdots & \mathbf{a}_2^T \Sigma_{2n} \mathbf{a}_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{a}_n^T \Sigma_{n1} \mathbf{a}_1 & \mathbf{a}_n^T \Sigma_{n2} \mathbf{a}_2 & \cdots & \mathbf{a}_n^T \Sigma_{nn} \mathbf{a}_n \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Bu doğrusal kombinasyonların aralarındaki toplam ilinti değeri R 'nin her $\mathbf{u}_{pq}$ gibi doğrusal dönüşümler için en büyük değeri alması istenir, öyle ki $p = 1, \dots, n; q = 1, \dots, j - 1$. R değerini veren ifade (2.28)) kullanılarak (4.5)'te verildiği gibi yazılabilir.

$$R = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \rho(z_{kj}, z_{lj}) = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \frac{a_{kj}^T \Sigma_{kl} a_{lj}}{\sqrt{a_{kj}^T \Sigma_{kk} a_{kj} a_{lj}^T \Sigma_{ll} a_{lj}}} \quad (4.5)$$

Σ_u matrisinin elemanlarını en büyük yapmanın ikili olarak kovaryansları artıracak şekilde görülmektedir [33]. Bu amaçla aşağıda verilen değerler için eniyileme gerçekleştirilebilir [1].

1. SUMCOR: Kovaryans matrisi Σ_z 'nin tüm elemanlarının toplamının en büyüklenmesi

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i^T \Sigma_{ij} a_j$$

2. SSQCOR: Tüm elemanların karelerinin toplamının en büyüklenmesi

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_i^T \Sigma_{ij} a_j)^2$$

3. MAXVAR: En büyük özdeğerin (λ_1) en büyüklenmesi
4. MINVAR: En küçük özdeğerin (λ_n) en küçüklenmesi
5. GENVAR: Determinantın en küçüklenmesi

$$|\Sigma_z| = \prod_{i=1}^n \lambda_i$$

Çeşitli kısıtlar tanımlanarak, yukarıda verilen metotların her biri için eniyileme teknikleri [34]'de detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada ÇKKA çözümü için kapalı form ifade ile çözüm sağlayan, SUMCOR metodunun birim izdüşüm vektörleri kısıtı ile gerçekleşmiş algoritması uygulanacaktır. Farklı metotlar ve kısıtlar için oluşturulan çözümün ve elde edilen değişkenlerin benzer nitelikte olacağı [2]'de gösterilmiştir. Ancak bu yöntemlerde, çözüm için elde edilen ifade homojen bir denklem sistemi olmadığı için döngülü birer eniyileme problemi olarak ele alınabilmektedir [35].

Kullanılan yöntemde, $G = \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i^T \Sigma_{ii} \mathbf{a}_i = 1$ koşulu ile $V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{a}_i^T \Sigma_{ij} \mathbf{a}_j$ ifadesini en büyük yapan $\mathbf{a}_i$ dönüşümlerini bulmak amaçlanmaktadır. Aranılan vektörler, Lagrange çarpanı yöntemi ile bir doğrusal denklem seti olarak elde edilebilir.

Tanımlanan bir F ifadesi için,

$$F = V - \lambda(G - 1) \quad (4.6)$$

$\frac{\partial F}{\partial \mathbf{a}_i} = 0$ eşitliği ile aranılan özvektörler bulunabilir. Bu eşitlikten yola çıkarak,

$$\frac{\partial V}{\partial \mathbf{a}_i} - \lambda \frac{\partial G}{\partial \mathbf{a}_i} = 0 \quad (4.7)$$

$$\sum_{j=1}^n \Sigma_{ij} \mathbf{a}_j - \lambda \Sigma_{ii} \mathbf{a}_i = 0$$

Tüm $i = 1, \dots, n$ değerleri için yazılan bu eşitlik, matris formunda ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} & \dots & \Sigma_{1n} \\ \Sigma_{21} & \Sigma_{22} & \dots & \Sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{n1} & \Sigma_{n2} & \dots & \Sigma_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{a}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{a}_n \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} \Sigma_{11} & \Sigma_{12} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \Sigma_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{a}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{a}_n \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Bu sistem, $Ax = \lambda Bx$ olarak ifade edilen homojen bir denklem sistemidir. İstenen dönüşüm vektörleri, bu sistemin $\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_{m_{min}}$ özdeğerlerine karşılık gelen $\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_{m_{min}}$ özvektörleri hesaplanarak bulunabilir. $\det(A - \lambda B) = 0$ eşitliğini sağlayan özvektörler, aranılan dönüşüm vektörlerini verecektir.

Neticede, dönüştürülmüş değişkenler (4.3)'te verildiği gibi elde edilebilecektir.

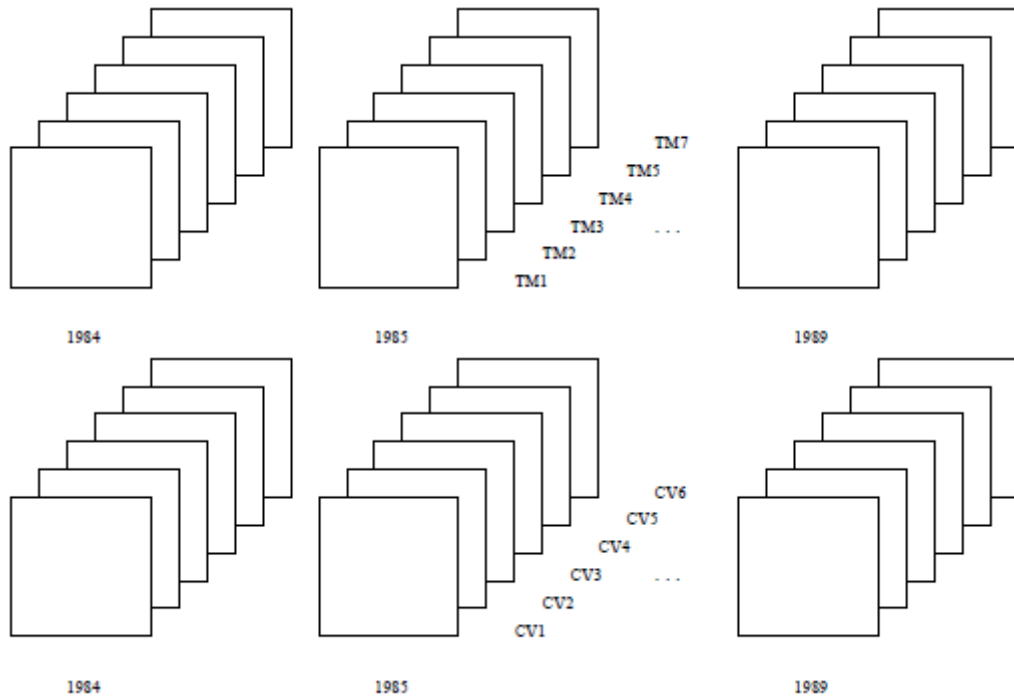
SUMCOR metodu kullanılarak problemin çözümünün bir homojen denklem sistemi olarak ifade edilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Tanımlanan diğer dört yöntemin de istenen çözümü sağlayacağı açık

olmasına rağmen yüksek işlem yükü getireceği görülmektedir. Çalışılan SUMCOR metodu ile verimli işleme kabiliyeti sunan kütüphaneler kullanılarak düşük işlem sürelerinde çalışan prototip kod oluşturulmuştur. Diğer yöntemlere kıyasla bu anlamda üstünlüğü olan SUMCOR yöntemi bu nedenle tercih edilmiştir.

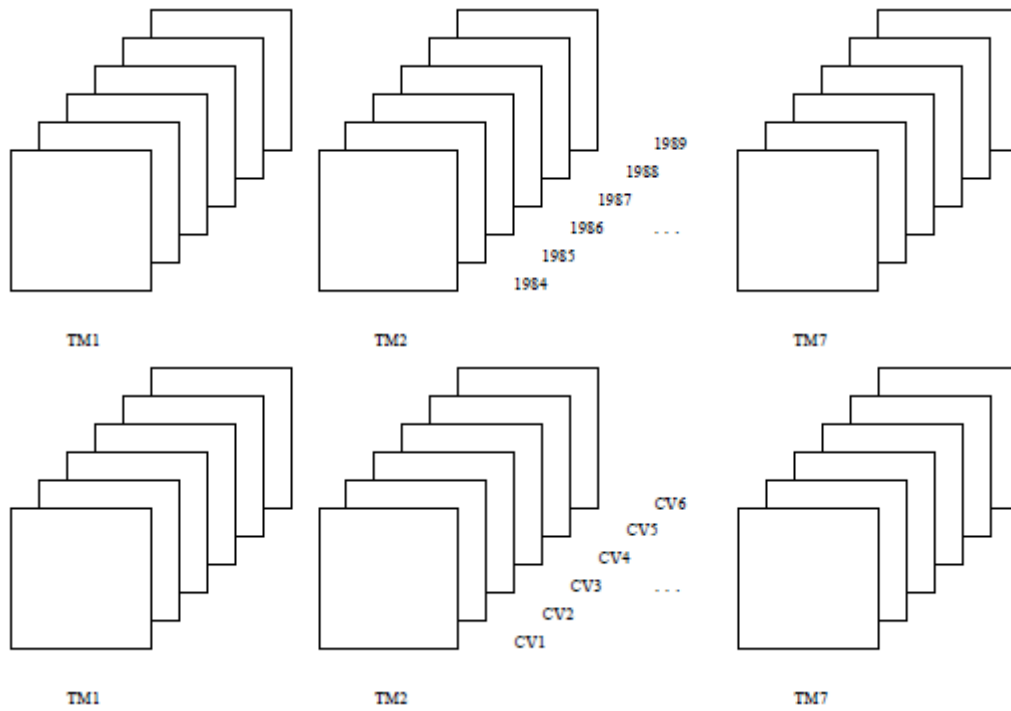
Girdi olarak kullanılan değişkenlerin derlenmesine göre iki farklı tipte analiz yapılabilir [2].

1. R-kipli analiz: Her bir imgenin alındığı zamana ait izgesel değişkenler üzerine gerçekleştirilir.
2. T-kipli analiz: Sabit dalga boyları için zamansal değişkenler üzerine gerçekleştirilir.

Analiz tiplerini betimleyen çizimler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’da verilmiştir. İki şekilde de üstte verilen değişkenler dönüştürülerek şeklin altında verilen değişkenleri elde etmekte kullanılmıştır.



Şekil 4.1. R-kipli ÇKKA: Üst satırda gösterilen değişkenler alt satırdaki kanonik değişkenlere dönüştürülür [2].



Şekil 4.2. T-kipi ÇKKA: Üst satırda gösterilen değişkenler alt satırdaki kanonik değişkenlere dönüştürülür [2].

4.2. Uygulama

Teori bölümünde ifade edildiği gibi, bu çalışmanın devamında, SUMCOR metodunun birim izdüşüm vektörleri kısıtı ile gerçekleştirilmiş algoritması uygulanacaktır. Buna göre kovaryans matrisi Σ_z matrisinin elemanlarının toplamı olan $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{a}_i^T \Sigma_{ij} \mathbf{a}_j$ ifadesini en büyük yapan $\mathbf{a}_i^T \mathbf{a}_i = 1$ ($i = 1, \dots, n$) koşulunu sağlayan izdüşüm matrisleri bulunacaktır.

Diğer metotlar kullanılarak bulunan kanonik değişkenler ve yürütülen değişiklik analizi, burada kullanılan analizden kritik farklılıklar içermemektedir. Farklı metotlar için uygulanan ÇKKA sonuçları [2]'de incelenmiştir.

Bir Culture-MERIS kompoziti, 1800x1800 boyutunda bir matristen oluşmaktadır. Ancak bütün pikseller geçerli birer ölçüme işaret etmemektedir. Ayrı birer matris olarak sağlanan geçerlilik matrisi içinde her piksel için ölçümün geçerliliği verilmiştir. Bu nedenle, yalnızca tüm kompozitler içinde geçerli ölçümleri içeren pikseller birer vektör içinde toplanarak ÇKKA uygulanmıştır.

R-kipinde veya T-kipine gerçekleştirilen ÇKKA sonucunda elde edilen kanonik değişkenler, seviyeleri arttıkça aralarında ilintinin azaldığı matrisler olarak ortaya çıkmaktadır; atmosferik bozulmalar veya güneş açısından kaynaklanan, imgelerde doğrusal bozulmalara yol açan hatalardan arındırılmıştır. Bu özellikleri ile kanonik değişkenler, birebir karşılaştırma yapılarak değişimin tespit edilmesi için elverişlidirler. Ancak kanonik değişkenlere ilave bir işlem uygulanarak yalnızca değişime işaret eden bölgelerin ortaya çıkarılması mümkündür.

Bu çalışmada, nihai olarak elde edilen kanonik değişkenlerin oluşturduğu imgelere TBA uygulanarak değişimin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. R-kipi ÇKKA için aynı zaman ait imgelerin dönüştürüldüğü kanonik değişkenler üzerine ve T-kipi ÇKKA için aynı izgesel banda ait imgelerin dönüştürüldüğü kanonik değişkenler üzerine TBA uygulanmıştır. Böylece her 1. temel bileşen ilgili kanonik değişkenlerin içeriğini yansıtırken üst seviye temel bileşenler değişim bilgisini içermektedir.

Son olarak, elde edilen üst seviye temel bileşenlere eşikleme uygulanarak değişim gösteren pikseller ortaya çıkarılmıştır. Eşikleme yöntemi için, üst seviye bileşenlerin içerdiği mutlak fark içeriğine oransal eşikleme uygulanmıştır. Kritik eşik değeri olarak 0.985 kullanılmıştır. Böylece, elde edilen mutlak fark piksellerinin sayısı, tüm imge içinde yer alan piksel sayısının %1.5'i olmaktadır.

5. ÖRNEK UYGULAMALAR

Uygulamalarda, farklı veri kümeleri için önerilen yöntem tatbik edilmiştir. Her bir veri kümesi için R-kişi ve T-kişi ÇKKA ile testler gerçekleştirilmiştir. Veri kümesine testler uygulanırken, kullanılan yaklaşımın gürbüzlüğü hakkında fikir vermesi amacıyla veri kümesi üzerine ölçüm belirsizliği eklenerek yapılan uygulamalara da yer verilmiştir. Eklenen ölçüm hatası normal dağılımdadır ve standart sapması 0.02'dir.

5.1. Uygulama 1

İlk uygulamada; Çizelge 5.1'de verilen zamanlara ve izgesel bantlara sahip veriler kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Uygulama 1 için kullanılan Culture-MERIS verileri

Sıra numarası	Tarihler	Bölge	Bantlar
1	20110103-20110109	H34V15	MEAN_3
2	20110110-20110116		MEAN_5
3	20110117-20110123		MEAN_7
4	20110124-20110130		MEAN_14

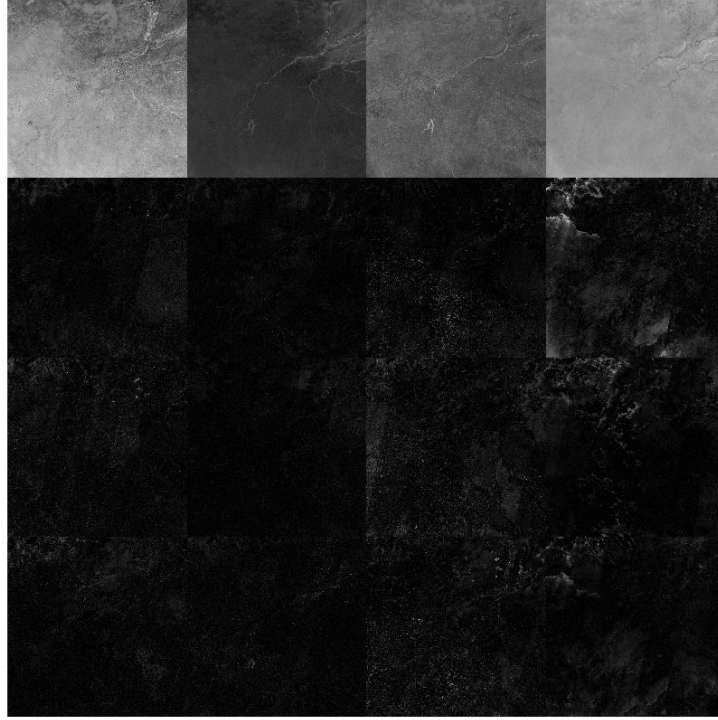
Kullanılan imgeler, Şekil 2.15, Şekil 2.16, Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Kompozit imgeleri için R-kiyi kanonik değişkenler.
Satırlar zamanı, sütunlar kanonik değişkenleri göstermektedir.

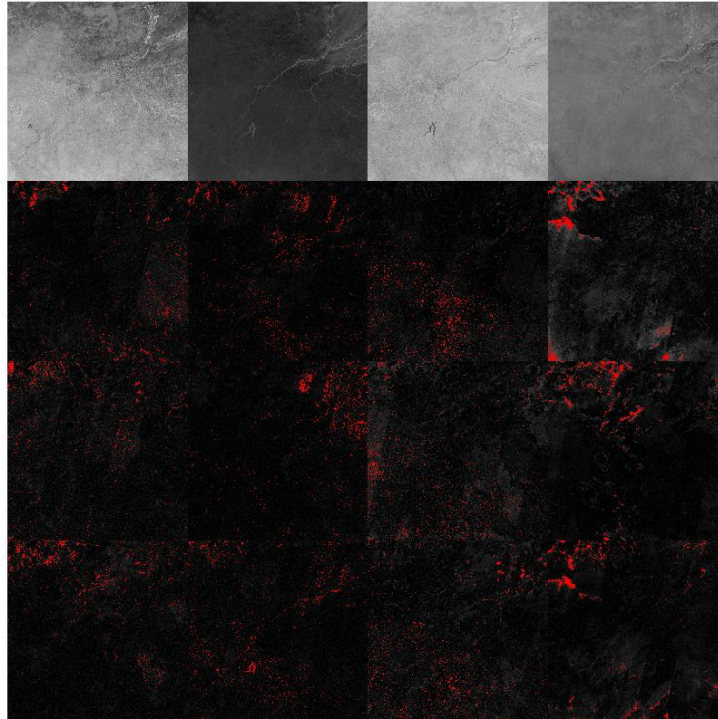
Çizelge 5.2. Uygulama 1 - Kanonik İlinti Değerleri

	Bant 1	Bant 2	Bant 3	Bant 4
1	3,929	3,828	2,899	2,640
2	0,929	0,585	0,505	0,266
3	0,120	0,091	0,062	0,055
4	0,039	0,025	0,017	0,011



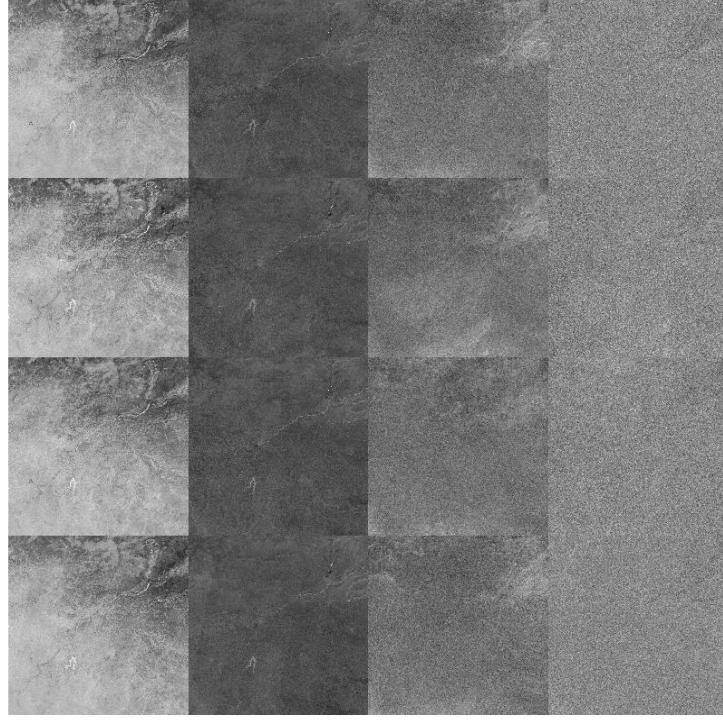
Şekil 5.2. Kompozit imgeleri için R-kişi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.



Şekil 5.3. Kompozit imgeleri için R-kişi kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.

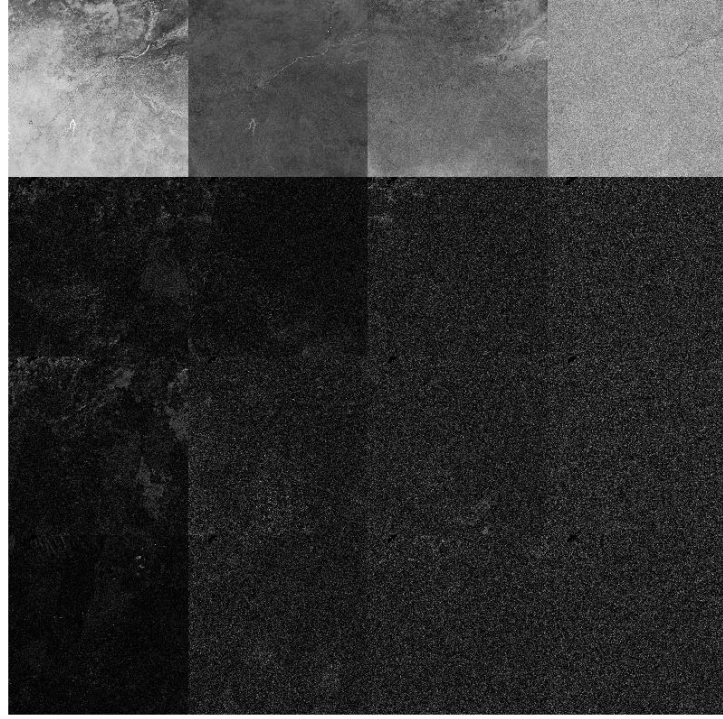
Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir. Eşikleme sonuçları üst seviye temel bileşenlerde kırmızı ile görülmektedir.



Şekil 5.4. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için R-kiyi kanonik değişkenler.
Satırlar zamanı, sütunlar kanonik değişkenleri göstermektedir.

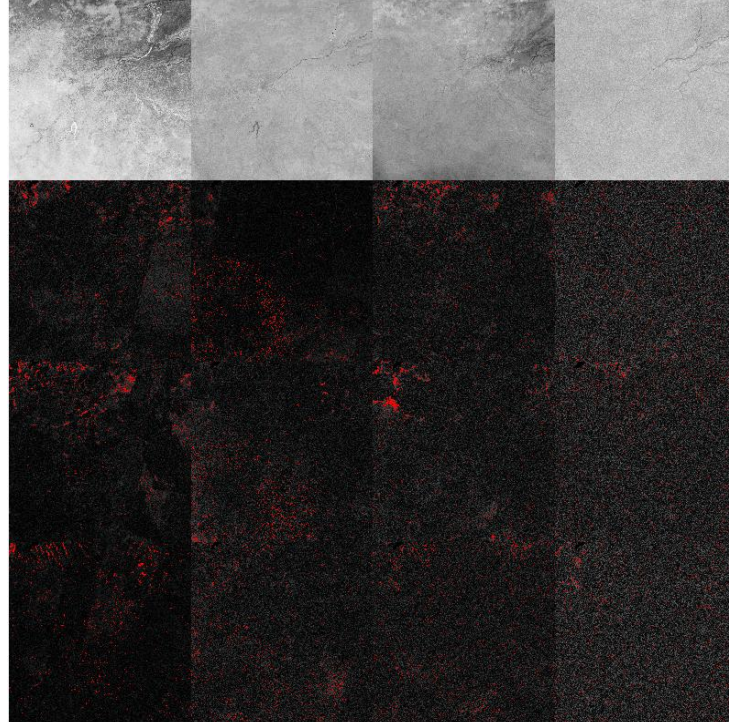
Çizelge 5.3. Uygulama 1 (Ölçüm Hatalı Durum) - Kanonik İlinti Değerleri

	Bant 1	Bant 2	Bant 3	Bant 4
1	3,870	2,879	2,656	1,301
2	0,957	0,908	0,878	0,858
3	0,483	0,381	0,280	0,256
4	0,174	0,048	0,041	0,029



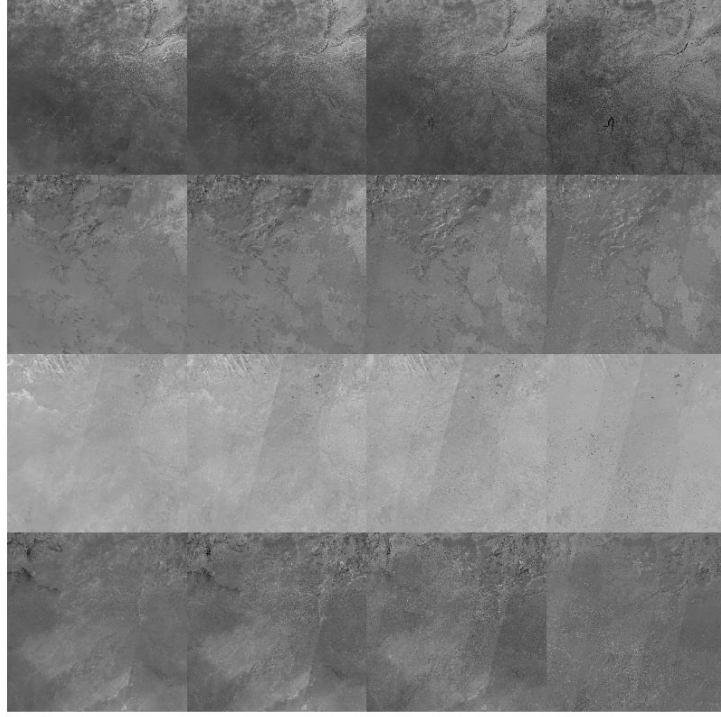
Şekil 5.5. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.



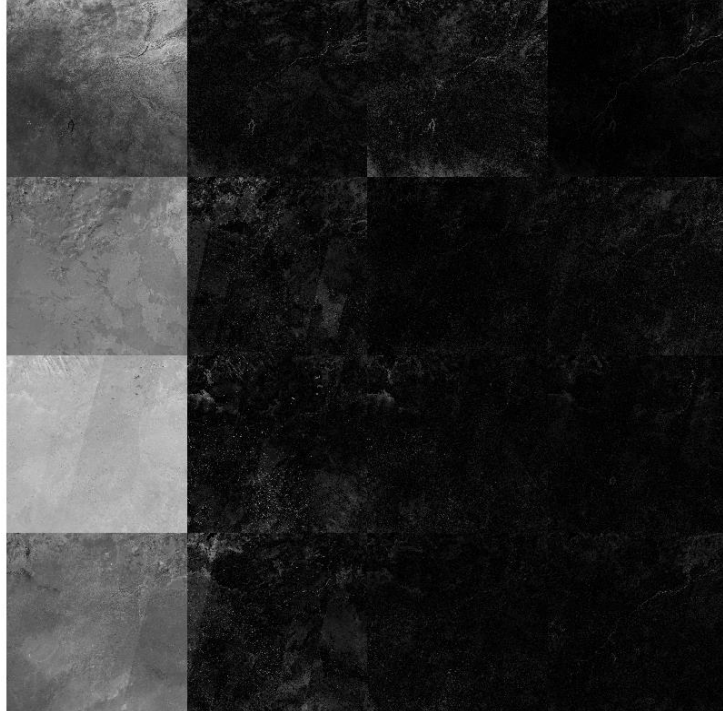
Şekil 5.6. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir. Eşikleme sonuçları üst seviye temel bileşenlerde kırmızı ile görülmektedir.



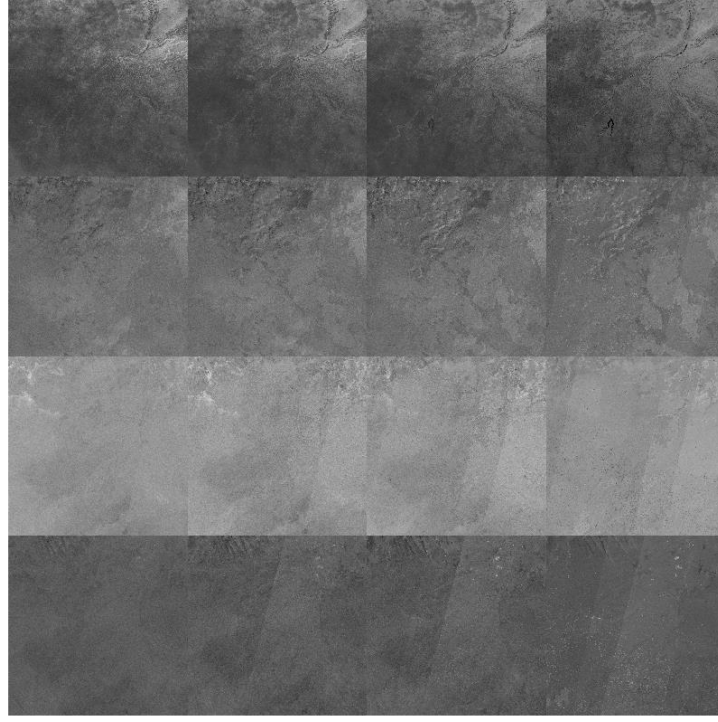
Şekil 5.7. Kompozit imgeleri için T-kiçi kanonik değışkenler.

Sütunlar zaman, satırlar izgesel olarak değışen değışkenleri göstermektedir.

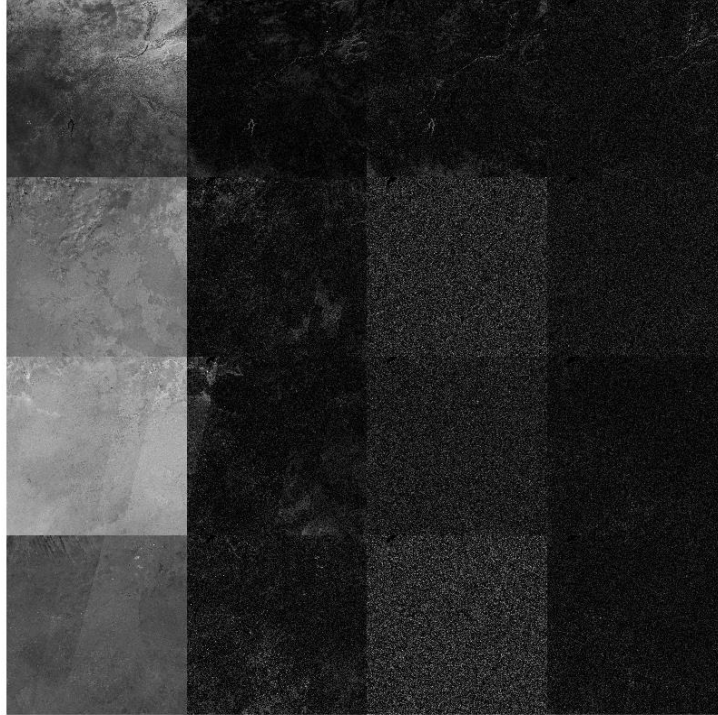


Şekil 5.8. Kompozit imgeleri için T-kiçi kanonik değışkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.



Şekil 5.9. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için T-kişi kanonik değışkenler.
Sütunlar zaman, satırlar izgesel olarak değışen değışkenleri göstermektedir.



Şekil 5.10. Ölçüm hatası eklenen kompozit imgeleri için T-kişi kanonik değışkenlerden elde edilen temel bileşenler.
Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.

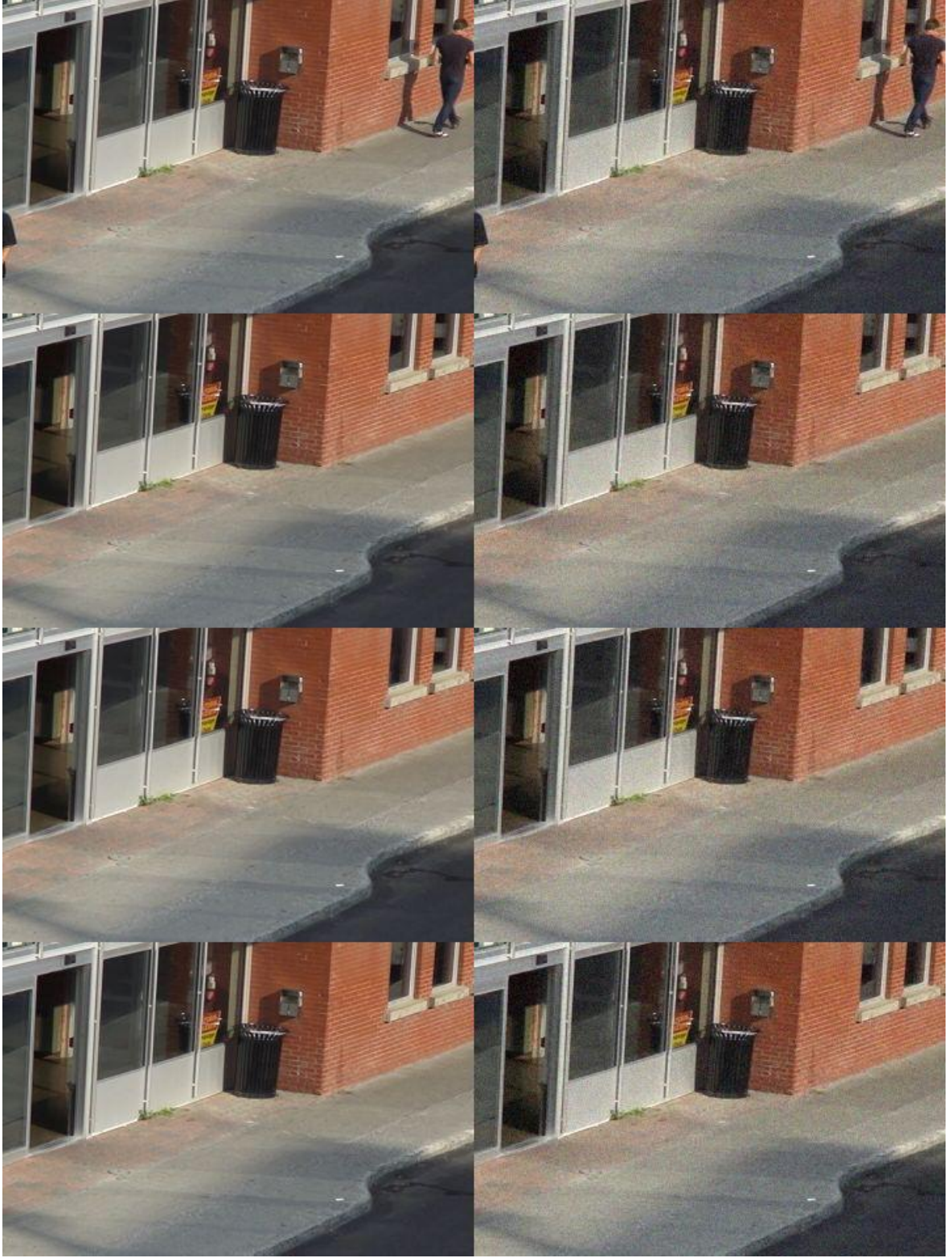
Uygulama sonuçlarında, ÇKKA kullanılarak birbiri ile en büyük ilinti gösteren kanonik değişkenlerin başarıyla elde edildiği görülmektedir. Bu değişkenlerde değişim gözle tespit edilebileceği gibi, elde edilen temel bileşenlerde de görülebilir.

Bölgenin kuzeyinde yer alan göllerin alanlarında görülen değişim, bölgenin merkezine yakın karasuların yansıtıcılığındaki farklılıklar ilk göze çarpan değişimler olarak ortaya çıkmıştır. Bunun yanında üst seviye kanonik değişkenlerde imgelerin sıkıştırma dahil alt seviye işlemlenmesinden kaynaklanan yapay dokular görülmektedir. Ayrıca, ölçüm hatasının yapay olarak eklendiği imgelerde, gürültünün üst seviyedeki kanonik değişkenlerde toplandığı görülmektedir.

5.2. Uygulama 2

Önerilen yöntem için kullanılan 2. uygulamada, açık olarak sunulan [36] otobüs durağı veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümesinde, tamamen sabit bir kamera ile alınan görüntüler mevcuttur. Değişim gösteren birden çok kare alınarak yapılan uygulamada önerilen yöntemin sonuçları incelenmiştir.

Kullanılan veri kümesinden alınan üç kanallı 4 adet orijinal imge ve standart sapması maksimum piksel değerinin %4'ü olan normal dağılımlı gürültü ile kirletilmiş imgeler Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Otobüs durağı veri kümesine ait orijinal (sol sütun) ve gürültü ile kirlenmiş (sağ sütun) imgeler



Şekil 5.12. Otobüs durağı veri kümesi imgeleri için R-kipli kanonik değişkenler.
Satırlar zamanı, sütunlar kanonik değişkenleri göstermektedir.

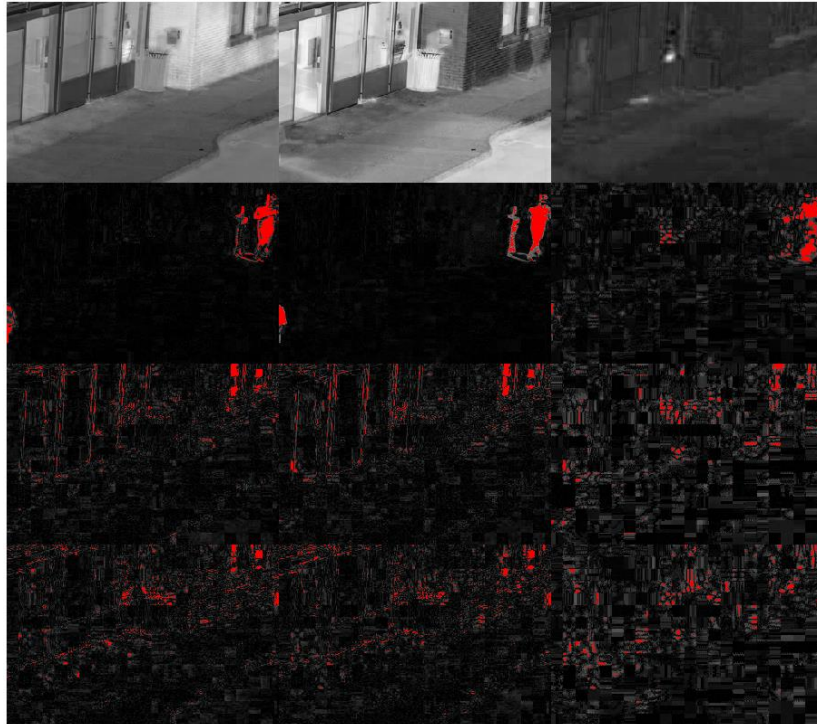
Çizelge 5.4. Uygulama 2 - Kanonik İlinti Değerleri

	Bant 1	Bant 2	Bant 3
1	3,971	3,893	3,634
2	0,188	0,101	0,092
3	0,086	0,022	0,005
4	0,003	0,002	0,002



Şekil 5.13. Otobüs durağı veri kümesi imgeleri için R-kipti kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.



Şekil 5.14. Otobüs durağı veri kümesi imgeleri için R-kipti kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir. Eşikleme sonuçları üst seviye temel bileşenlerde kırmızı ile görülmektedir.



Şekil 5.15. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için R-kepi kanonik değişkenler.

Satırlar zamanı, sütunlar kanonik değişkenleri göstermektedir.

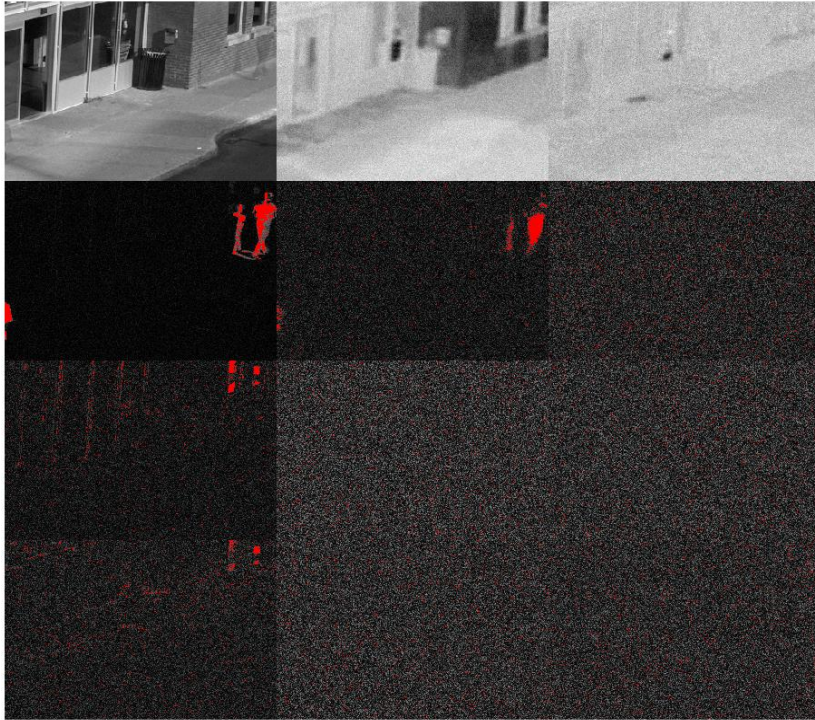
Çizelge 5.5. Uygulama 2 (Ölçüm Hatalı Durum) - Kanonik İlinti Değerleri

	Bant 1	Bant 2	Bant 3
1	3,867	3,441	1,269
2	0,917	0,911	0,904
3	0,224	0,173	0,170
4	0,086	0,021	0,019



Şekil 5.16. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.



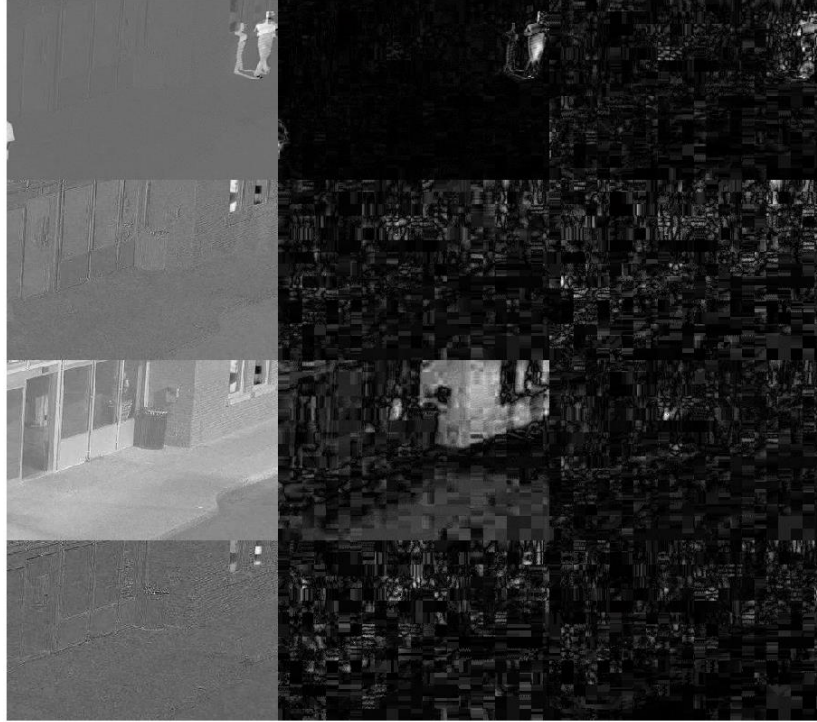
Şekil 5.17. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir. Eşikleme sonuçları üst seviye temel bileşenlerde kırmızı ile görülmektedir.



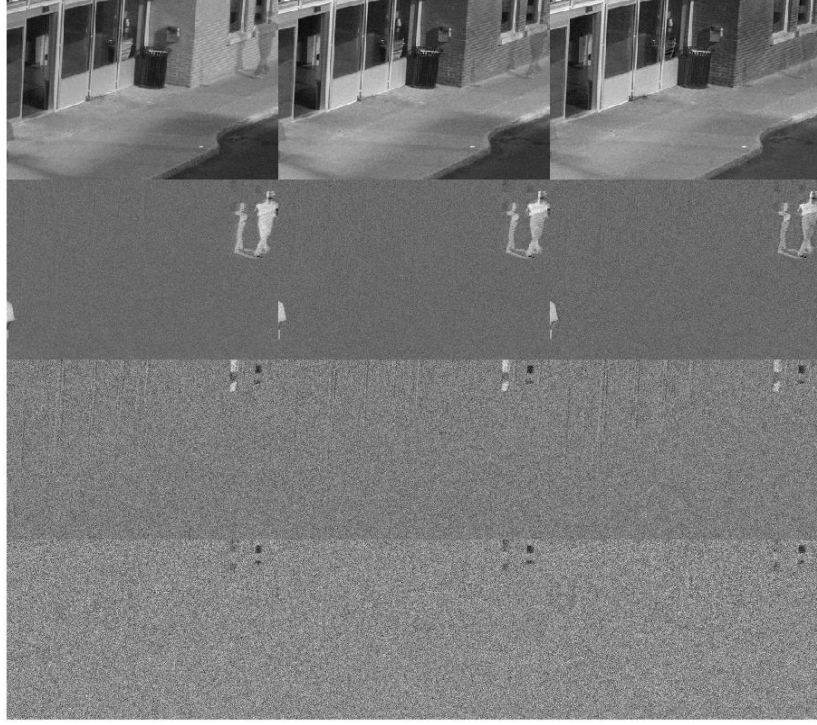
Şekil 5.18. Otobüs durağı imgeleri için T-kipli kanonik değişkenler.

Sütunlar zaman, satırlar izgesel olarak değişen değişkenleri göstermektedir.



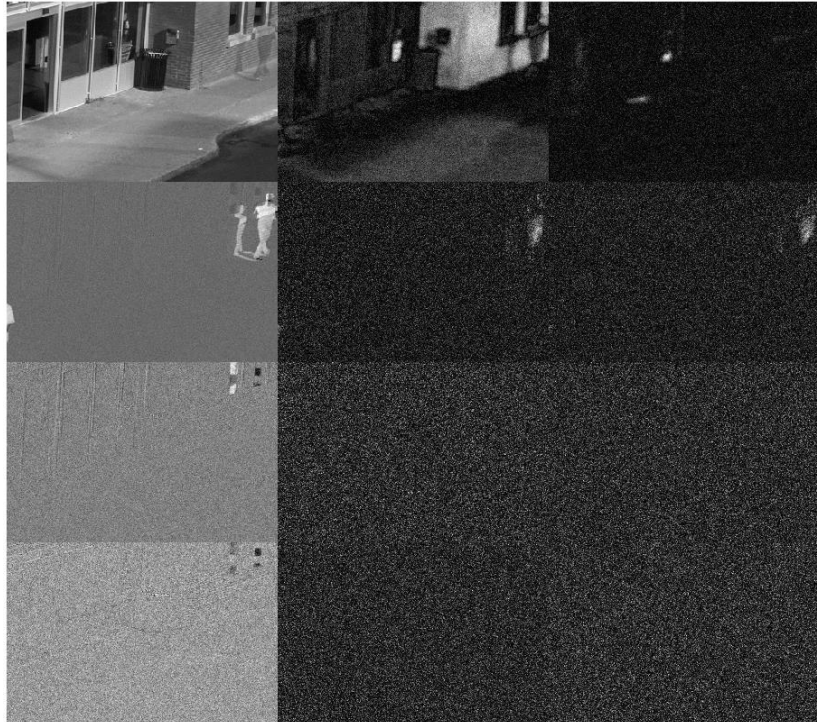
Şekil 5.19. Otobüs durağı imgeleri için T-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.



Şekil 5.20. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için T-kipli kanonik değişkenler.

Sütunlar zaman, satırlar izgesel olarak değişen değişkenleri göstermektedir.



Şekil 5.21. Ölçüm hatası eklenen otobüs durağı imgeleri için T-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

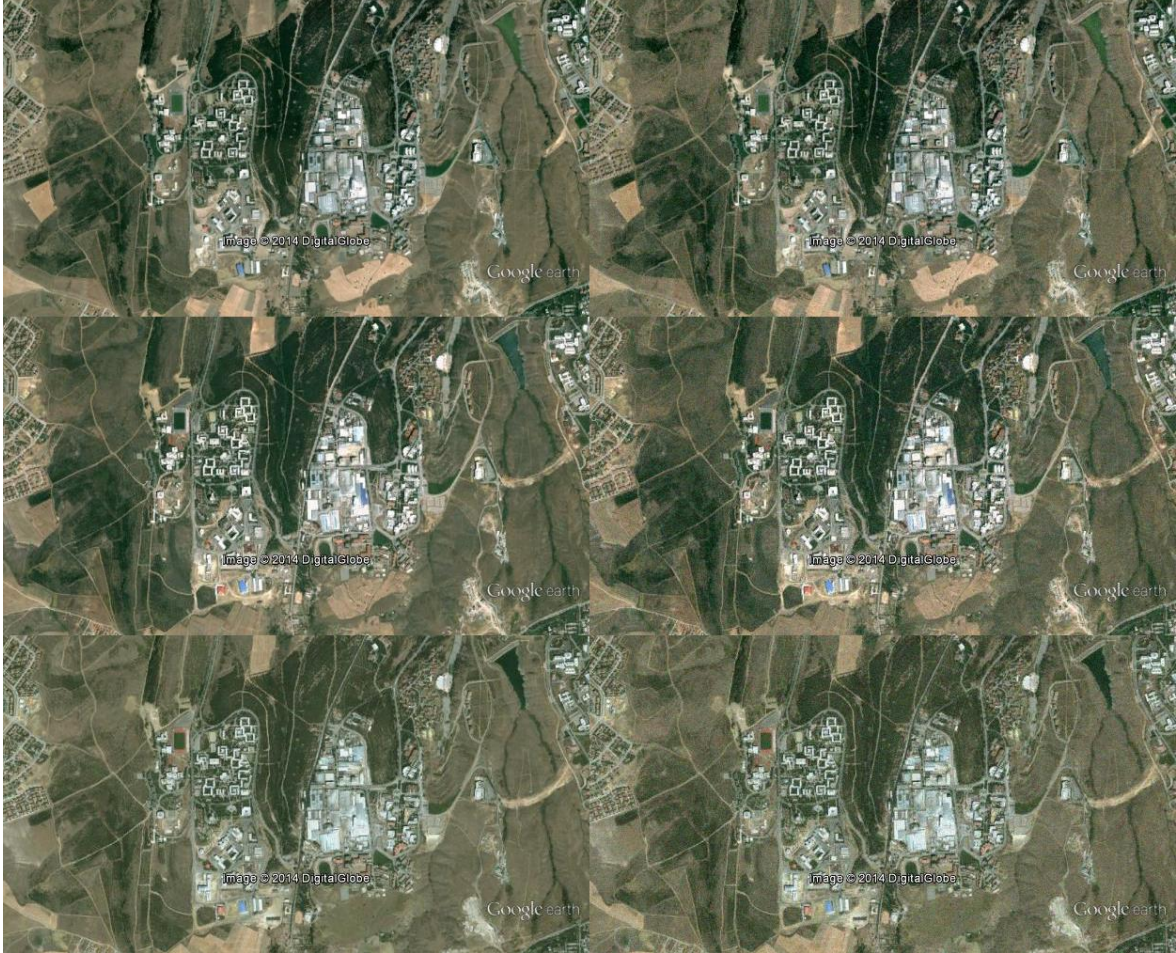
Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.

Verilen otobüs durağı veri kümesinde, ilk imgede sahneden geçmekte olan bir yaya görülmektedir. Diğer imgelerde pencerelerin üzerine düşen gölgeler değişim oluşturmaktadır.

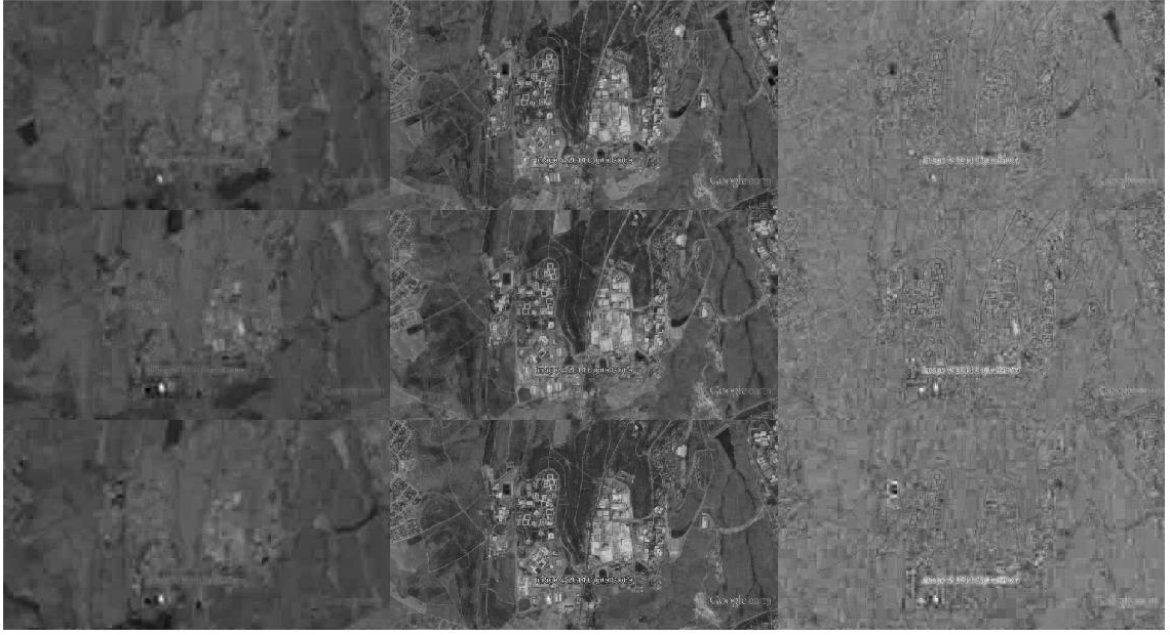
Uygulanan analiz sonucunda, ilk uygulama ile benzer sonuçlar elde edilmiş olup değişiklik gösteren pikseller ortaya çıkarılmıştır. Yöntemin ölçüm hatası eklendiği durumda daha iyi sonuçlar üretmesi ilginçtir.

5.3. Uygulama 3

Önerilen yöntem için yapılan 3. uygulamada, Hacettepe Üniversitesi Beytepe kampüsünün Google Earth'ten alınan üç kanallı imgeleri kullanılmıştır.

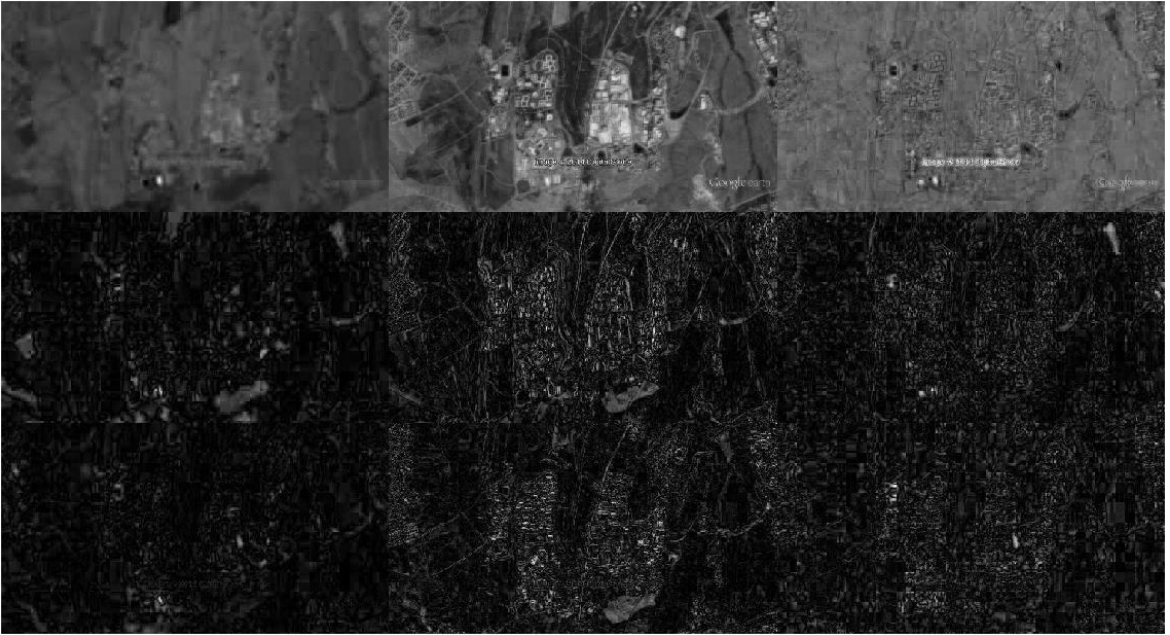


Şekil 5.22. Beytepe veri kümesine ait orijinal (sol sütun) ve gürültü ile kirletilmiş (sağ sütun) imgeler



Şekil 5.23. Beytepe veri kümesi imgeleri için R-kipli kanonik değişkenler.

Satırlar zamanı, sütunlar kanonik değişkenleri göstermektedir.

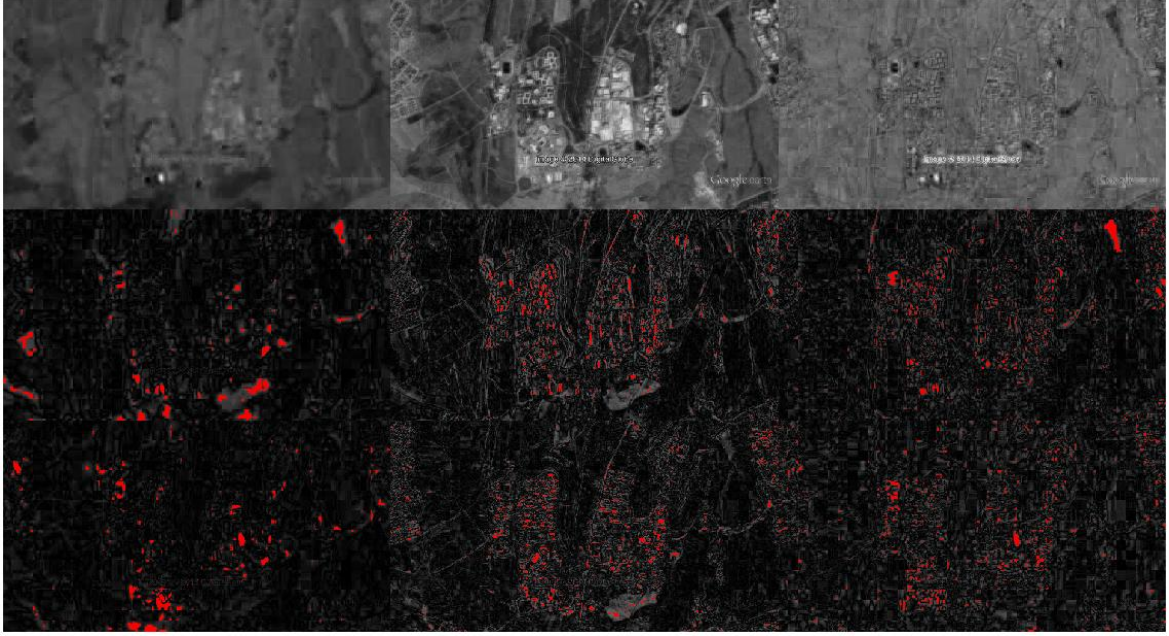


Şekil 5.24. Beytepe veri kümesi imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.

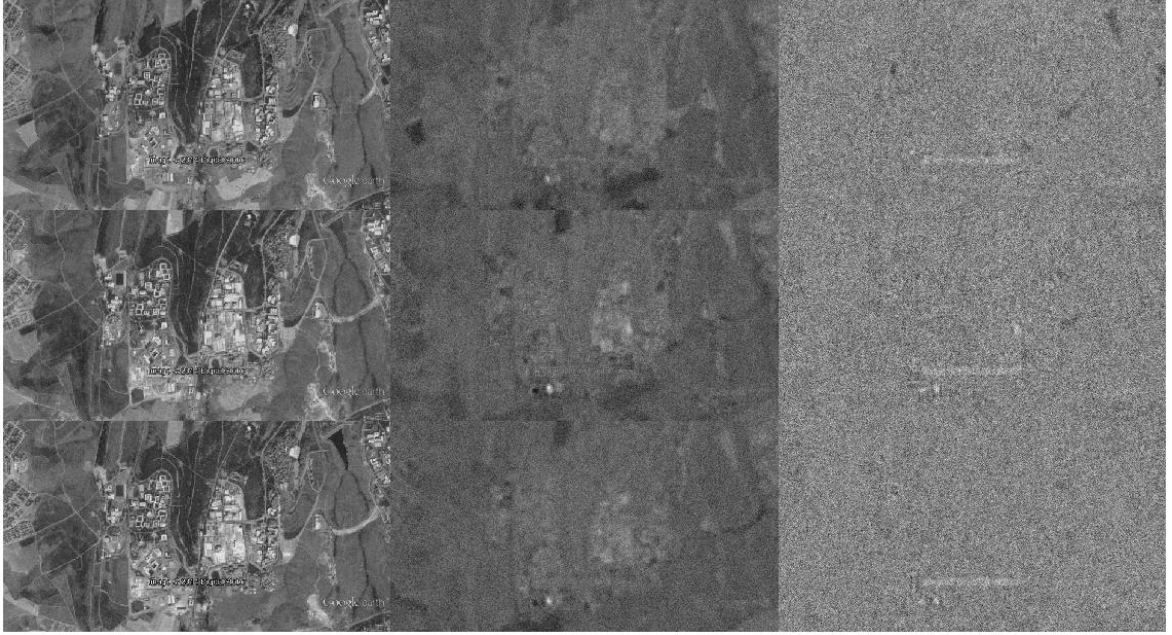
Çizelge 5.6. Uygulama 3 - Kanonik İlinti Değerleri

	Bant 1	Bant 2	Bant 3
1	2,964	2,946	2,935
2	0,053	0,046	0,029
3	0,015	0,008	0,004



Şekil 5.25. Beytepe veri kümesi imgeleri için R-klip kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.

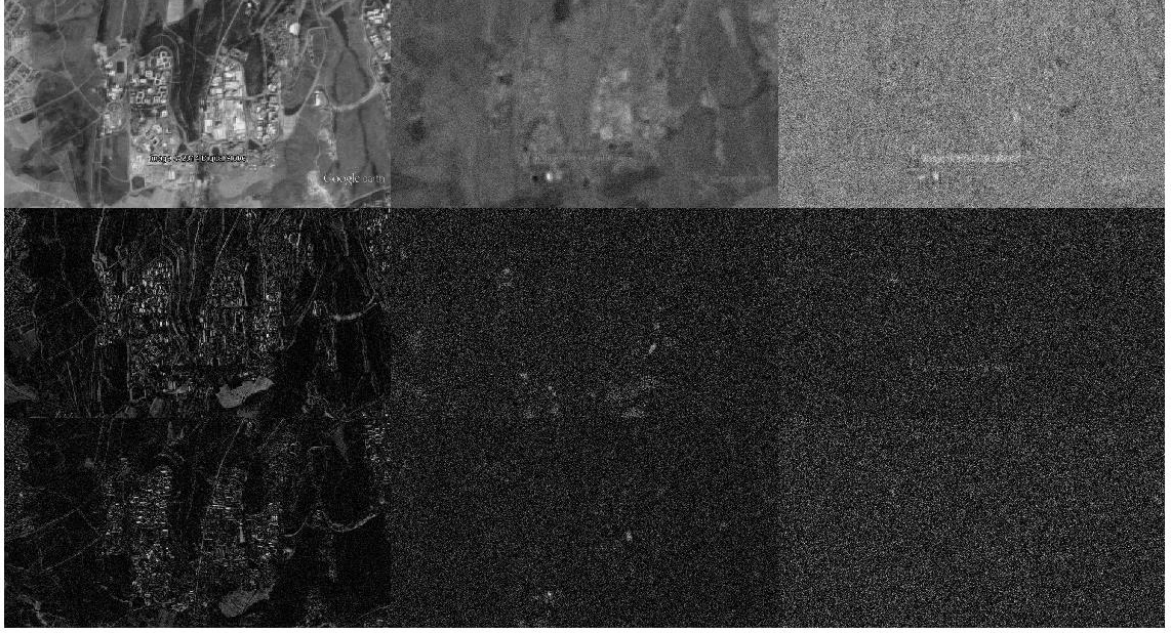
Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir. Eşikleme sonuçları üst seviye temel bileşenlerde kırmızı ile görülmektedir.



Şekil 5.26. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için R-kipli kanonik değişkenler.
Satırlar zamanı, sütunlar kanonik değişkenleri göstermektedir.

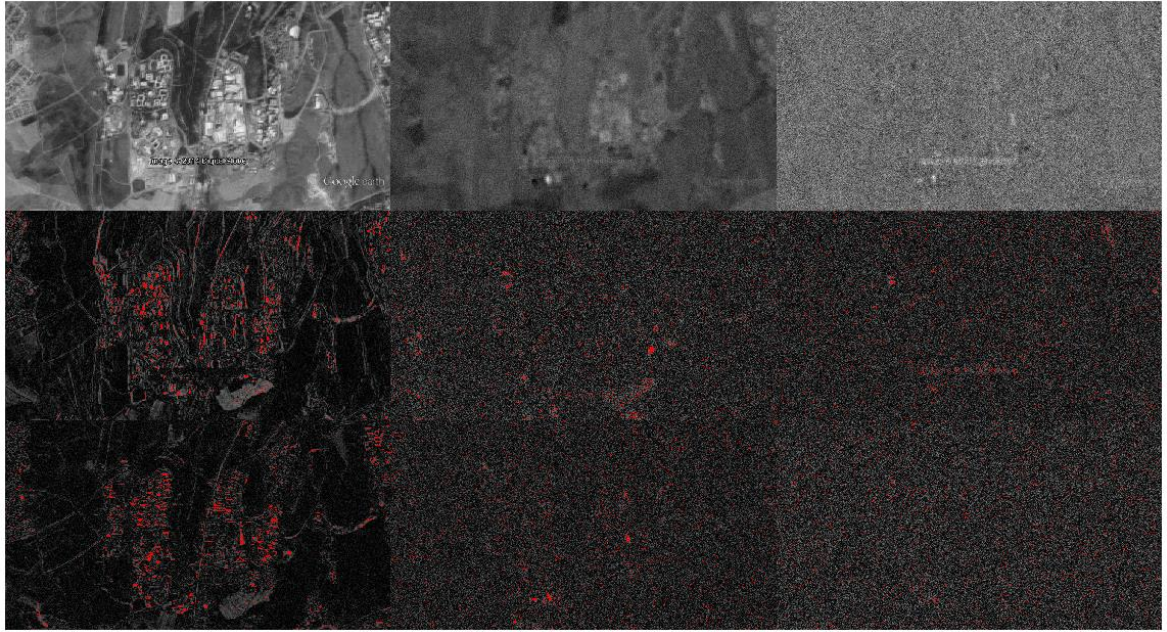
Çizelge 5.7. Uygulama 2 (Ölçüm Hatalı Durum) - Kanonik İlinti Değerleri

	Bant 1	Bant 2	Bant 3
1	2,898	2,701	2,427
2	0,293	0,280	0,156
3	0,143	0,070	0,031



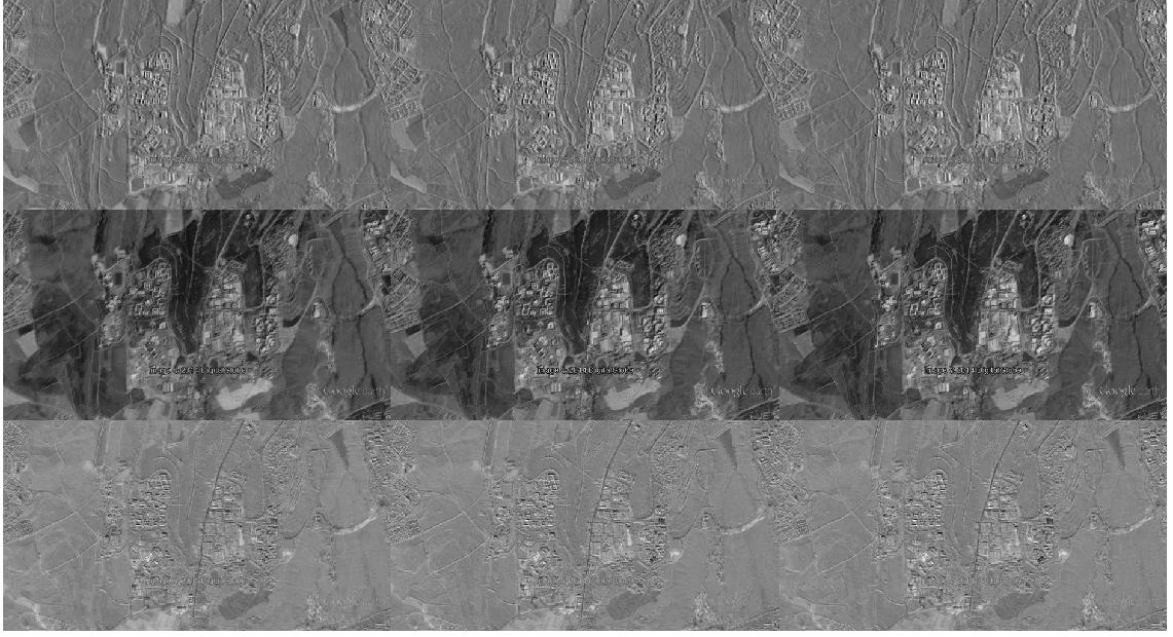
Şekil 5.27. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.



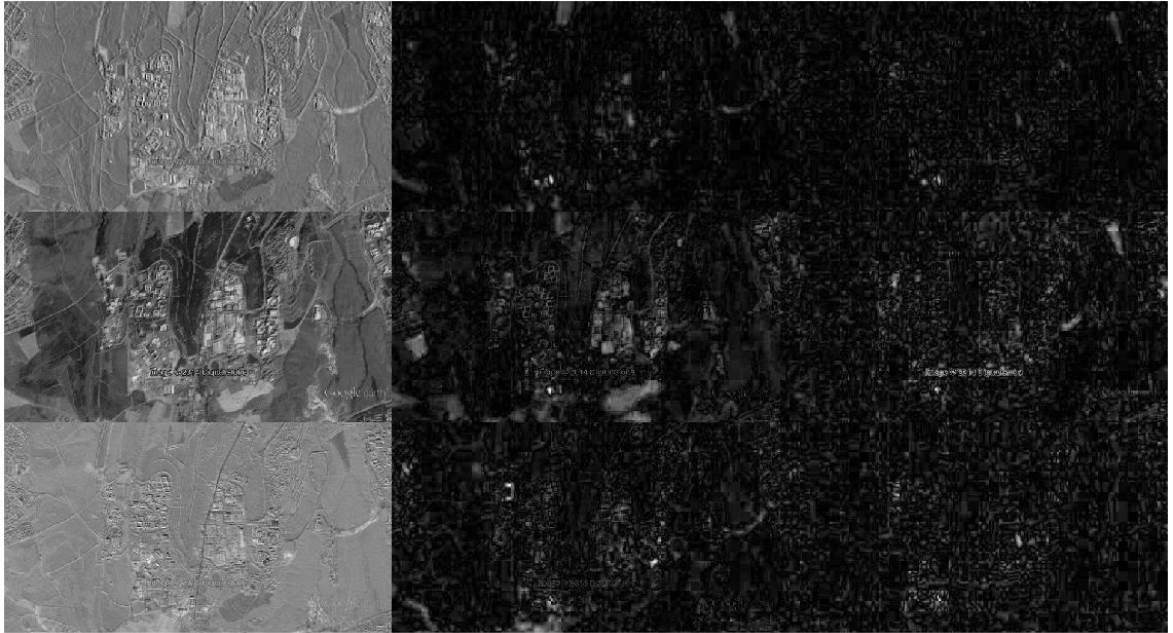
Şekil 5.28. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için R-kipli kanonik değişkenlerden elde edilen eşiklenmiş temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir. Eşikleme sonuçları üst seviye temel bileşenlerde kırmızı ile görülmektedir.



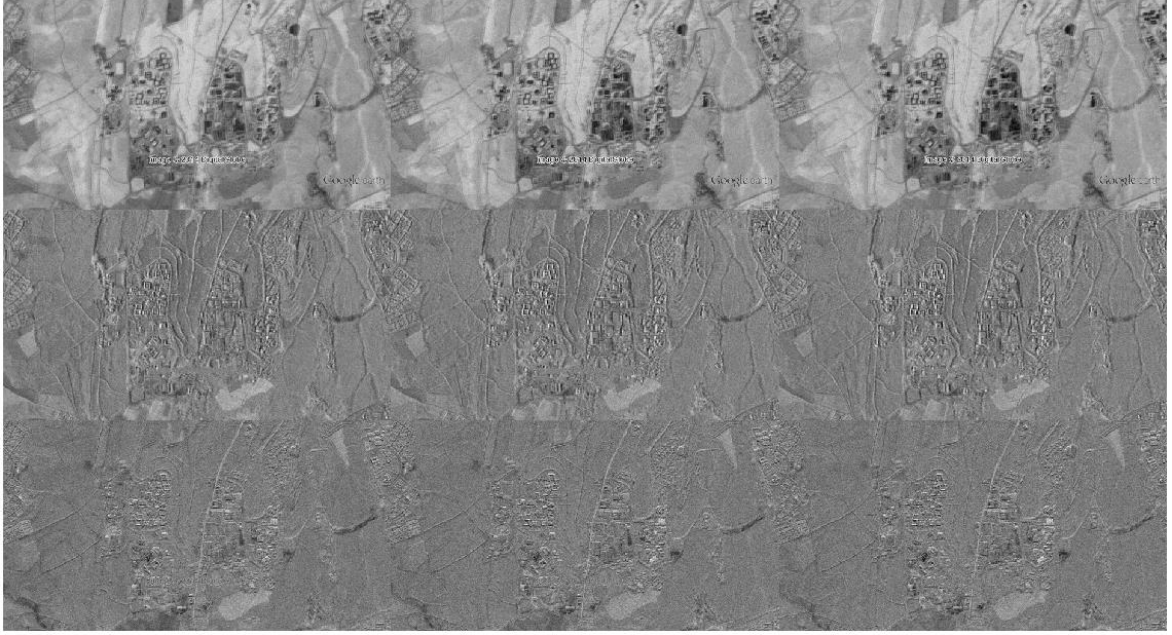
Şekil 5.29. Beytepe imgeleri için T-ki kanonik değişkenler.

Sütunlar zaman, satırlar izgesel olarak değişen değişkenleri göstermektedir.

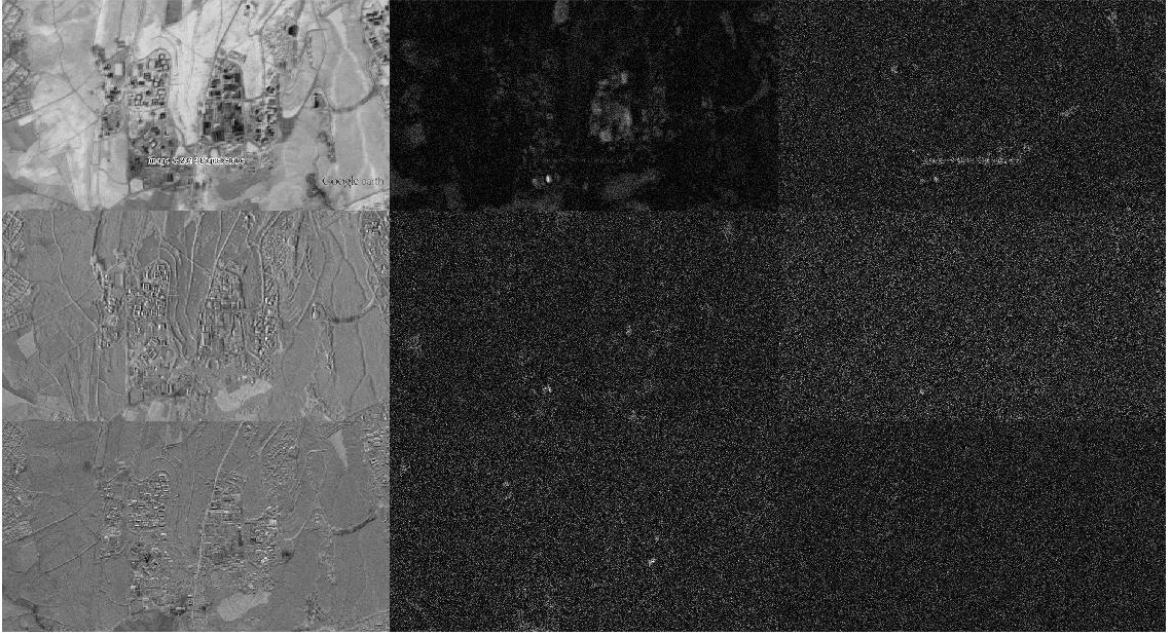


Şekil 5.30. Beytepe imgeleri için T-ki kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.



Şekil 5.31. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için T-kişi kanonik değişkenler. Sütunlar zaman, satırlar izgesel olarak değişen değişkenleri göstermektedir.



Şekil 5.32. Ölçüm hatası eklenen Beytepe imgeleri için T-kişi kanonik değişkenlerden elde edilen temel bileşenler.

Satırlar temel bileşenleri, sütunlar temel bileşen derecelerini göstermektedir.

Bu veri kümesi, özellikle ÇKKA'nın imgeler üzerindeki doğrusal değişimlere karşı gürbüzlüğünün gösterilmesi açısından önemlidir. Yeryüzü yansıtıcılık değeri aynı olmasına rağmen imgenin alındığı tarih,

saat ve ölçerlerin radyometrik yanıtlarındaki farklılıklardan kaynaklanan piksel değeri değişimleri ortadan kaldırılmıştır.

Kanonik değişkenler ile yapılan analizde yıllar içinde bölgede gerçekleşen inşaat faaliyetleri göze çarpmaktadır. Bunun yanında kuzeydoğudaki göletin rengindeki değişim öne çıkarılmıştır. Görsel analiz sonucunda tespit edilen tüm değişikliklerin, çalışılan yöntem uygulanarak tamamının ortaya çıkarıldığı görülmektedir.

Her bir örnek uygulamada görüldüğü gibi elde edilen R-kipli kanonik değişkenler, aralarındaki ilinti maksimum olacak şekilde ortogonal dönüşüm matrisleri kullanılarak elde edilmiştir. En yüksek ilinti içeren kanonik değişkenler üst seviye kanonik değişkenler olarak ortaya çıkmıştır (Örn. 1. sütun). Bunun yanında, kanonik ilinti değerinin değişken seviyesi düştükçe azaldığı da söylenebilir. Kanonik ilinti değerleri, (4.8)'de verilen sistemin özdeğerleridir ve yine bu sistemden elde edilen dönüşüm vektörlerinin her bir özdeğerlerle ilişkilidir. Her bir bant için bir özvektör ve bu özvektörle ilişkili bir özdeğer/kanonik ilinti değeri vardır. Her örnek uygulamada ilinti değerleri ilgili çizelgelerde tablolanmıştır. R-kipli analiz için sonuçlar incelendiğinde, kanonik ilinti değerinin yüksek olması, ilgili sütunda işaretlenen piksellerin değişime dair daha kuvvetli bir işaret taşıdığı yorumlanabilir.

R-kipli ÇKKA üzerine gerçekleştirilen TBA ile, değişim içeriğinin üst seviye temel bileşenlerde kendini gösterdiği görülmektedir. Bunun yanında ilk temel bileşen, doğrusal kombinasyonlarla maksimum varyans içeriğine sahip olacak şekilde oluşturulmuştur ve bu nedenle değişim bilgisi içermemektedir.

T-kipli analizde, R-kipinden farklı özellikte niteliklerin tespit edildiği görülmektedir. Nispeten R-kipli analize göre sonuçların yorumlanması güç olmasının yanında, değişim bilgisinin ortaya çıkarıldığı açıkça görülmektedir.

Oransal eşik yöntemi nihai olarak elde edilen üst seviye temel bileşenler eşiklenerek yalnızca fark içeren pikseller ortaya çıkarılmıştır. Pratik uygulamalarda, sonuçların görsel değerlendirilmesi sonucunda fark piksellerinin yetersiz veya çok fazla sayıda olması hâlinde oran parametresinin değiştirilmesi ile kullanıcı etkileşimi minimalde tutularak istenen sonuca ulaşılması mümkündür.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, en az iki imge için çoklu-set kanonik korelasyon analizine dayalı bir değişiklik analizi yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem ile, değişiklik arz eden bölgelere tekabül eden pikseller ortaya çıkarılabilmektedir.

Önerilen yöntem, iki farklı yaklaşım ile değişimin ortaya çıkarılabilmesine imkân verilmektedir. R-kipi ve T-kipi uygulamaları değişim içeriğini ortaya koymasına rağmen birbirinden farklı sonuçlar üretilmektedir. Benzer şekilde, sonuçların yorumlanması da farklı olmaktadır. İkisinde de tüm veri kümesinin içeriği ortogonal bir değişken kümesine dönüştürülmesine rağmen, R-kipi analiz ile elde edilen her bir değişken belli bir zamana ilişkin değişkenler üretir. Buna karşılık T-kipi analizde girdi olarak kullanılan veriler, bir izgesel yanıt karşılık gelen değişkenlere dönüştürülür. Dönüştürülmüş değişkenlerin seviyesi arttıkça ilinti değeri azalmaktadır; bir başka deyişle ilk kanonik değişkenler en büyük ilintiye sahiptir.

ÇKKA ile üretilen kanonik değişkenler, aralarındaki ilintiye göre sıralanması nedeniyle birebir karşılaştırma yapmaya son derece uygundur. Bu özelliği ile ÇKKA, potansiyel olarak çok farklı kaynaklardan gelebilecek verilerin incelenmesi elverişli bir tekniktir. Ancak kanonik değişkenlerin incelenerek değişiklik üzerine bir yargıya varılabilmesi için, dönüştürülen imgelerin deneyimli veya uzman personel tarafından analiz edilmesi gerekli olabilir. Çünkü bu aşamada, doğrudan değişime işaret eden bölgeler belirgin değildir; kanonik değişken imgeleri doğrudan değişimi gösteren bölgeleri vermez. Bu amaçla, R-kipi ÇKKA kullanılarak elde edilen kanonik değişkenlere TBA uygulanarak yalnızca farkların elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonuçlarda görüldüğü üzere, üst seviye temel bileşenler yalnızca değişimi ifade eden bölgelerde yüksek piksel değeri vermektedir. Oransal eşikleme ile yalnızca değişime işaret eden bölgeler ortaya çıkarılmıştır. Ancak T-kipi

ÇKKA ile elde edilen kanonik değişkenler üzerinden benzer işlemler uygulamak mümkün değildir.

ÇKKA kullanılarak, çok farklı kaynaklardan alınan veriler üzerinden değişiklik analizi yapılabilir. Buna örnek olarak aynı bölgeye ait farklı bant sayılarında imgelerin kullanılması, SAR ve elektro-optik imgelerin kullanılması örnek gösterilebilir. Geleneksel yöntemler kullanılarak veri kaynaklarında çeşitlilik sağlanması mümkün değildir.

Bu çalışmanın asli amacı, yöntemin işlenmiş Culture-MERIS imgeleri üzerinden uygulanması olsa da, farklı kaynaklardan alınan imgeler ile uygulamalar da gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalardan görüldüğü üzere, önerilen yöntem en çok işlenmemiş veya gürültülü imgeler üzerinde etkili olmaktadır. Buna sebep olarak kanonik değişkenlerin, ilgili imgeleri oluşturan ölçüm aygıtının radyometrik kalibrasyonuna, ilgin dönüşümlere karşı gürbüz olmaları gösterilebilir.

Culture-MERIS ürünü, sağlanan her bölge için düzenli aralıklarla toplanan verileri içermesi sebebiyle çalışılan yöntemin uygulandığı ana veri kümesi olarak seçilmiştir.

Bu tez çalışmasında etüd edilen yöntemin uygulandığı bilişim ortamı Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Bilişim Ortamı

İşlemci	AMD FX™-4100 Quad-Core Processor 3.60 GHz
Bellek	8 GB
İşletim Sistemi	Windows 7 (64-bit)
Geliştirme ve Uygulama Ortamı	MATLAB R2012b (64-bit)

Uygulanan yöntem, cebirsel işlemleri ve genelleştirilmiş bir özdeğer problemi çözümü içermektedir. Bu nedenle gerçekleştirilen uygulamanın yoğun bir işlem yükü gerektirmediği değerlendirilebilir.

1800x1800 çözünürlükte iki Culture-MERIS kompozit imgesi kullanılarak kullanılarak uygulanan ÇKKA ve TBA işlemlerinin verilen bilişim ortamında yaklaşık olarak 20 saniyede gerçekleştirildiği ve görüntülendiği ölçülmüştür. Bu süreye Tipik kullanım alanı düşünüldüğünde uygulanabilir görünmese de, önerilen yöntemin gerçek zamanlı uygulamalar için yeterli performansta olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] J. R. Kettenring, "Canonical analysis of several sets of variables," *Biometrika*, vol. 58, no. 3, pp. 433–451, 1971.
- [2] A. A. Nielsen, "Multiset canonical correlations analysis and multispectral, truly multitemporal remote sensing data," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 11, no. 3, pp. 293–305, 2002.
- [3] A. Singh, "Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 10, no. 6, pp. 989–1003, Jun. 1989.
- [4] J. R. Jensen, *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Prentice Hall, 2005.
- [5] D. Lu, P. Mausel, E. Brondízio, and E. Moran, "Change detection techniques," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 25, no. 12, pp. 2365–2401, Jun. 2004.
- [6] T. M. Lillesand and R. W. Kiefer, *Remote sensing and image interpretation*. Wiley, 1979.
- [7] K. Ingram, E. Knapp, and J. W. Robinson, "Change detection technique development for improved urbanized area delineation," *Tech. Memo. CSC/TM-81*, vol. 6087, 1981.
- [8] C. J. Riordan, "Non-urban to urban land cover change detection using Landsat data," *Summ. Rep. Color. Agric. Res. Exp. Station. Fort Collins, Color. USA*, 1980.
- [9] A. Nielsen, K. Conradsen, and J. Simpson, "Multivariate alteration detection (MAD) and MAF postprocessing in multispectral, bitemporal image data: New approaches to change detection studies," *Remote Sens. Environ.*, 1998.
- [10] M. İlsever, *Springerbriefs in Computer Science: Two-Dimensional Change Detection Methods: Remote Sensing Applications*. Springer, 2012.
- [11] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, and A. K. C. Wong, "A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram," *Comput. vision, Graph. image Process.*, vol. 29, no. 3, pp. 273–285, 1985.
- [12] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *Automatica*, vol. 11, no. 285–296, pp. 23–27, 1975.

- [13] J. B. Collins and C. E. Woodcock, "An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data," *Remote Sens. Environ.*, vol. 56, no. 1, pp. 66–77, 1996.
- [14] T. Fung and E. LeDrew, "Application of principal components analysis to change detection," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 53, no. 12, pp. 1649–1658, 1987.
- [15] J. A. Richards, "Thematic mapping from multitemporal image data using the principal components transformation," *Remote Sens. Environ.*, vol. 16, no. 1, pp. 35–46, Aug. 1984.
- [16] M. J. Canty, *Image Analysis, Classification, and Change Detection in Remote Sensing: With Algorithms for ENVI/IDL*. CRC Press/Taylor & Francis, 2010.
- [17] H. Hotelling, "The most predictable criterion.," *J. Educ. Psychol.*, vol. 26, no. 2, p. 139, 1935.
- [18] H. Hotelling, "Relations between two sets of variates," *Biometrika*, vol. 28, no. 3/4, pp. 321–377, 1936.
- [19] T. W. Anderson, *An introduction to multivariate statistical analysis*, vol. 2. Wiley New York, 1958.
- [20] S. Clark, "Flagship Envisat satellite stops communicating," *Spaceflight Now*, 2012. [Online]. Available: <http://www.spaceflightnow.com/news/n1204/12envisat/>. [Accessed: 25-Mar-2013].
- [21] ESA, "MERIS - Earthnet Online." [Online]. Available: <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat/instruments/meris>. [Accessed: 25-Mar-2013].
- [22] ESA, "MERIS Detailed Instrument Description," 2006.
- [23] ESA, "Calibration of MERIS on ENVISAT," 2002.
- [24] ESA, "Envisat-1 Products Specifications Vol 11: MERIS Products Specifications," 2011.
- [25] ESA, "MERIS Data Product Overview." [Online]. Available: <https://earth.esa.int/instruments/meris/data-app/dataprod.html#level2>. [Accessed: 25-Mar-2013].

- [26] ESA, "Products systematically generated and available via fast registration," 2012. [Online]. Available: <http://tinyurl.com/bvcwlln>. [Accessed: 25-Mar-2013].
- [27] ESA, "Culture-MERIS Product Description Manual," 2012.
- [28] EOP-SER, "Sentinel-3 OLCI/SLSTR and MERIS/(A)ATSR Workshop: Session Summaries," 2011.
- [29] V. Kalogirou, J. Ramos Perez, and O. Arino, "A first analysis on the Culture-MERIS products," *Remote Sens. Lett.*, vol. 4, no. 3, pp. 211–218, 2013.
- [30] O. Arino, V. Kalogirou, J. Ramos Perez, and S. Pincock, "Culture-MERIS: an ESA weekly service for agriculture," *Remote Sens. Lett.*, vol. 3, no. 6, pp. 461–469, 2012.
- [31] P. Bicheron, V. Amberg, L. Bourg, D. Petit, M. Huc, B. Miras, C. Brockmann, O. Hagolle, S. Delwart, F. Ranera, and others, "Geolocation assessment of MERIS GlobCover orthorectified products," *Geosci. Remote Sensing, IEEE Trans.*, vol. 49, no. 8, pp. 2972–2982, 2011.
- [32] ESA, "MERIS Level 1b data products." [Online]. Available: <https://earth.esa.int/instruments/meris/data-app/dataprod.html#1b>. [Accessed: 25-Mar-2013].
- [33] K. B. Hilger, B. K. Ersbøll, and A. A. Nielsen, *Exploratory Analysis of Multivariate Data (Unsupervised Image Segmentation and Data Driven Linear and Nonlinear Decomposition)*. 2002.
- [34] A. A. Nielsen, "Analysis of Regularly and Irregularly Sampled Spatial, Multivariate, and Multi-temporal Data," Tech. Univ. Denmark, 1994.
- [35] N. M. Correa, Y.-O. Li, T. Adali, and V. D. Calhoun, "Fusion of fMRI, sMRI, and EEG data using canonical correlation analysis," in *Acoustics, Speech and Signal Processing, 2009. ICASSP 2009. IEEE International Conference on*, 2009, pp. 385–388.
- [36] and P. I. N. Goyette, P.-M. Jodoin, F. Porikli, J. Konrad, "changedetection.net: A new change detection benchmark dataset," in *Proc. IEEE Workshop on Change Detection (CDW-2012) at CVPR-2012*, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Ali Can ARIK

Doğum Yeri : Yenimahalle, ANKARA

Medeni Hali : Evli

E-posta : acarik@gmail.com

Adresi : Kardelen Mah. Karme Sitesi 2042. S. 45/2 Yenimahalle/ANKARA

Eğitim

Lise : Ankara Atatürk Anadolu Lisesi

Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh.

Yüksek Lisans: -

Doktora : -

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : İleri

Rusça : Başlangıç

Almanca : Başlangıç

İş Deneyimi

Eylül 2009 - Ağustos 2010: Proje Mühendisi, Özgün Hafif Ticari Helikopter Geliştirme Projesi, TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.

Eylül 2010 - Hâlen: Araştırmacı, Güdüm Kontrol ve Seyrüsefer Birimi, TÜBİTAK SAGE

Deneyim Alanları

Görüntü İşleme, Sinyal İşleme, Uzaktan Algılama

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-