

MURGUL BAKIR OCAKLARINDAKİ ALANSAL DEĞİŞİMİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

A. Erener, HSB. Düzgün

Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı, Ortaođu Teknik Üniversitesi, 06531, Ankara, erener@metu.edu.tr,
duzgun@metu.edu.tr

ÖZET

Dođa; madencilik işletmeleri, orman yangınları, kaçak ağaç kesimleri ve tarımsal amaçlı açmalar gibi birçok nedenden tahrip olmaktadır. Arazi kullanımındaki tahribatlar gelecekte doğal kaynaklarımızı, tehdit edebilir. Bu nedenle meydana gelen tahribat nedeniyle oluşan değişimin boyutunun, zamansal ve mekansal olarak izlenmesi, gerekli önlemlerin alınması açısından önemlidir.

Bu çalışmada Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Artvin'in Murgul ilçesinde bulunan Murgul Damar Bakır İşletmeleri'nin faaliyetinden kaynaklanan arazi değişimini incelemek amacıyla, uydu görüntülerine dayalı analizler yapılmıştır. Bu amaçla alana ait 1987 tarihli Landsat 4-5 TM ve 2000 tarihli Landsat 7, ETM+ görüntüleri kullanılmıştır. Değişimlerin incelenmesi için fark analizi, eğitimli sınıflandırmaya farklılığı ve temel bileşenler analizi (TBA) farklılığı algoritmalarından yararlanılmıştır.

Değişimlerin incelenmesi için atmosferik farklılıkların giderilmesi, görüntülerin rektifikasyonu, mekansal ve spektral çözünürlüklerin aynı değere getirilmesi gibi ön analizler yapılmıştır.

Bu çalışma sonunda, Murgul bakır ocağı alanında 1987 yılından 2000 yılına kadar alansal bir büyüme olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Değişim Analizi, Landsat, MLC, AVB, Fark Algoritması

ABSTRACT

The nature is destroyed by mine operations, forest fires; illegal tree cutting and agricultural activities vs. In the near future the destructions for land use may threaten the natural resources. For that reason to monitor the extend of changes in space and time, for identification of change in nature is very important.

The paper aims to map and to quantify the changes in the land-cover/land use changes of Damar Copper Fields in Karadeniz Bakır İşletmeleri (K.B.İ.) Murgul Mine using different methods. For this aim, the images covering the study area at different dates are compared by using change detection algorithms. The first image is Landsat 4-5 TM employed at 1987 and the second image is Landsat 7, ETM+ with 2000 dated. Before the analysis precise registration of multi-temporal images, atmospheric adjustment, fetching both images to a similar spatial and spectral resolution pre analysis applied.

As a result of analysis it is shown that within 13 years, an aerial enlargement is detected at the Copper Mine.

Keywords: Change Detection, Landsat, MLC, PCA, Image Differencing

1. GİRİŞ

Doğadaki, şehir alanlarındaki veya tarım alanları gibi bir çok alandaki değişimin mekansal ve zamansal olarak izlenmesi, takibi ve değerlendirilmesi oldukça önem arz etmektedir. Genel olarak değişimler, değişim belirleme algoritmaları yardımıyla belirlenmekte ve değerlendirilmektedir. Değişim belirleme algoritmaları farklı alanlarda Byrne et al. 1980, Howarth and Wickware 1981, Jha and Unni 1994, Schmidt and Glaesser 1998, Mas 1999, Mucher, et. al., 2000, Dewidar, 2004 tarafından uygulanmıştır. Değişim belirleme algoritmaları birbirini takip eden farklı zamanlarda görüntülerin çekilmesi ile, bir objede veya bir olaydaki değişimlerin takibi için uygulanmaktadır (Singh, 1989).

Uzaktan algılama çalışmalarında değişimin takibi için yapılan araştırmalar için birbirinden farklı birçok algoritma geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu algoritmalar iki ana başlık altında incelenebilir. İlki ham görüntü bantlarının kullanıldığı ve hücre hücre karşılaştırmayı içeren farklı zamanlara ait ilgili görüntü bantlarının oranlaması veya görüntü bantlarının farklarının alınması yöntemleridir. İkinci grup yöntemler ise görüntülere yapılmış olan analiz sonrası karşılaştırmayı içeren yöntemlerdir. Bu yöntemler sınıflandırma sonuçlarının karşılaştırılması, bitki indeksinin karşılaştırılması yada temel ana bileşenler farklılığı analizleri gibi analiz

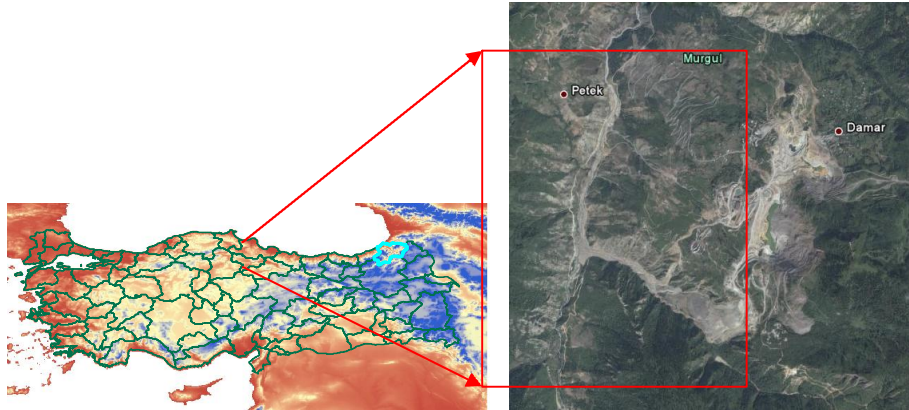
sonrası değişim takibi metodlarıdır. Bu yöntemlerde farklı yıllara ait görüntüler analiz edildikten sonra tekrar hücre hücre farklılıklar araştırılmaktadır. Bu analizlerin doğru şekilde yapılması için görüntülerin geometrik rektifikasyon analizlerinin çok iyi şekilde yapılmış olması gerekmektedir. Bu işlem her bir görüntünün birbirine göre doğru şekilde oturmasını sağlayacaktır. Değişim analizleri öncesi yapılan bu çalışmalar geometrik rektifikasyon yanında atmosferik düzeltme analizleri, mekansal ve spektral çözünürlük eşleme analizleri de gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanılan görüntüler farklı yıllara ait olmasına rağmen 20 gün arayla çekilmiştir. Bu nedenle güneşin dünyaya mesafesi, faz açısı geometrisi ve sezonsal ortam benzerliği nedeni ile atmosferik koşulların benzer olduğu varsayılabilir. Atmosferik koşulların benzerliğine rağmen atmosferik saçılmadan doğan bantlar arasındaki farklılığı azaltmak için ise histogram adjustment kullanılarak normalleştirme yapılmıştır.

Görüntülerdeki spektral çözünürlük aynı ve 8 bittir. Farklı mekansal çözünürlüğe sahip olan farklı yıllardaki görüntüler de ise keskinleştirme ve resampling işlemleri kullanılarak 15 m mekansal çözünürlüğe getirilmiştir. Analizler öncesi yapılan hazırlıklar sonrası görüntüler hazır hale getirilmiştir. Murgul bakır ocaklarında meydana gelen alansal ve zamansal değişimi incelemek için üç farklı metod kullanılmıştır. İlki hücre hücre farklılıkların incelenmesi için yapılan bantlar arası farkların alınması metodu. Diğer iki metod ise analizler sonrası değişimin incelenmesini içermektedir. Bunlardan ilki her bir yıl için yapılan sınıflandırma farklılığı metodu diğeri ise her bir yıl için yapılan temel bileşenler analizi için yapılan farklılık analizleridir.

2. VERİ VE ÖN ANALİZLER

Çalışma alanı Karadeniz bölgesinin doğu kesiminde yer alan, Artvin ilçesinin kuzeyine düşen Murgul Damar Bakır ocağıdır. Çalışma alanı Şekil 1’ de gösterilmiştir. Bu çalışmada Murgul bakır ocağının zaman ve mekan içindeki genişlemesinden ve yalınmasından doğan doğal tahribatı ölçmek ve değerlendirmek için, değişim analizleri yapılmış ve her bir metod sonunda bulunan doğadaki değişim, alansal olarak hesaplanmıştır. Bu amaçla bu çalışma için iki farklı veri seti kullanılmıştır. İlk veri seti 30 m mekansal çözünürlüğe sahip 08.16.1987 tarihli Landsat 4-5 TM çok bantlı (1,2,3,4,5,7 bantları) ve ikinci veri seti ise 07.10.2000 tarihli 30 m mekansal çözünürlüğe sahip Landsat 7, ETM+ çok bantlı (1,2,3,4,5,7 bantları) ve 15 m mekansal çözünürlüğe sahip Landsat 7 pankromatik (8 bandı) görüntüleridir. İki yıla ait veri setinden damar bakır ocağını içeren 35 x 33 km boyutuna sahip alan kesilmiş ve işlemler bu alanda yapılmıştır.



Şekil 1. Artvin ili kuzeyinde yer alan Murgul Damar bakır ocağı

Değişimlerin incelenmesi için üç farklı değişim izleme algoritmasından yararlanılmıştır. Bunlar fark analizi, eğitilmiş sınıflandırmaya farklılığı ve temel bileşenler analizi (TBA) farklılığıdır. Değişim belirleme algoritmalarını uygulamadan önce, ön analizlerin yapılması mecburidir. Genel olarak ön analizler iyi şekilde yapılmış görüntü rektifikasyonu, atmosferik düzeltme, ve spektral ve mekansal çözünürlük ayarlamalarını gerektirmektedir.

2000 yılına ait veri 37. alan diliminde, UTM projeksiyonunda ve WGS 84 datumuna sahiptir. 1987 görüntüsü 2000 görüntüsüne görüntüden görüntüye rektifikasyon yöntemi ile geometrik olarak düzeltilmiştir. Bu işlem birinci derece lineer transformasyon için lineer regresyon katsayılarının hesaplanmasını gerektirmektedir. Görüntü rektifikasyonunun doğruluğunu analiz edebilmek için RMSE hesaplanmıştır. Bulunan RMSE 0.5 hücre değerinden küçük ve istenilen aralıktadır.

Alana ait görüntüler farklı yıllara ait olmasına rağmen, yaklaşık 20 gün ara ile yani benzer bir mevsim koşulunda çekilmiştir. Bu nedenle faz açısı geometrisi, güneş dünya mesafesi ve mevsimsel koşullar benzerlik göstermektedir. Bu nedenle görüntülerde analizler öncesi atmosferik saçılmaların neden olabileceği hatalar yok edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla elde edilen her bir görüntüdeki her bir bant için normalleştirme metodu kullanarak histogrm ayarlama yapılmıştır. Bu nedenle her bir spektral bant sola kaydırılarak en küçük yansıma değerinin 0 değer göstermesi sağlanmıştır.

Aynı spektral değere sahip görüntülerin mekansal çözünürlüklerinde fark işlemleri için aynı değere getirilmesi gerekmektedir. 2000 yılına ait veride 15 m mekansal çözünürlüğe sahip Pan bandı kullanılarak 2000 yılına ait her bir spektral bant ilk olarak daha iyi detay bilgisi vermesi için keskinleştirilmiştir. Keskinleştirme işlemi için pansharp işlemi kullanılmıştır. Keskinleştirme işlemi sonrası daha yüksek çözünürlüğe sahip (15 m), renkli görüntüler elde edilmiştir. Böylelikle renk bilgisi ve mekansal çözünürlük bilgisi birarada kullanılabilir. 15 m mekansal çözünürlüğe getirilmiş 2000 yılına ait görüntülerin 1987 görüntüleri ile karşılaştırılabilmeleri için, 1987 görüntülerinde aynı mekansal çözünürlüğe getirilmesi gerekmektedir. Bu görüntüler o nedenle 30 m den 15 m ye en yakın komşuluk metodu kullanılarak tekrar örnekleme (resample) yapılmıştır. Bu görüntülerde detay bilgisi yoktur yani burada sadece 30 m lik bir hücre boyutu dörde bölünerek 15 m çözünürlük elde edilmiş fakat spektral bilgi aynı kalmıştır. Uygulanan bu ön analizlerle hata oranları mümkün olduğunca düşürülmeye çalışılarak veriler analizlere hazır hale getirilmiştir.

3. DEĞİŞİM ANALİZ METODLARI

Bu çalışmada Murgul bakır ocaklarında meydana gelen alansal ve zamansal değişimi incelemek için üç farklı değişim analizi metodu kullanılmış ve sonuçlar alansal olarak karşılaştırılmıştır. Kullanılan algoritmalarından ilki her bir hücre farklılıkların incelenmesi için yapılan bantlar arası farkların alınması metodudur. Diğer iki metod ise analizler sonrası değişimin incelenmesini içermektedir. Bunlardan ilki herbir yıl için yapılan sınıflandırma farklılığı metodu diğeri ise her bir yıl için yapılan temel bileşenler analizi için yapılan farklılık analizlerdir.

Uygulanan her bir değişim algoritması sonrası elde edilen değişim görüntülerinde değişim alanları çok büyük değerlerin olduğu yerlerde ve değişimin olmadığı yerler ise sifra yakın alanlarda yer almaktadır. Belirlenecek eşik değeri bu nedenle oldukça kritik ve her uygulama için benzer bir metolla bu eşik değeri belirlenmelidir. Bu çalışmada değişim alanlarını belirlemek için, değişim görüntüleri üzerinde, birinci derecelik standart sapma için sınıflandırma yapılmış ve ortalamadan sapan ilk iki standart sapma eşik değeri değişimin olduğu alanlar olarak belirlenmiştir. Çalışma alanımızda değişim görüntülerinden elde edilecek iki farklı değişimden söz edilebilir. Bunlardan ilki yeşil alanların maden alanına döndüğü bölgeler ve ikinci olarak geçmişte maden olan alanların yeşil alana dönmesidir. Bu çalışmada ele alınan değişim ilk bahsedilen değişim alanları yani yeşil alanların maden alanına döndüğü bölgeler olduğu için, diğer değişim dikkate alınmamış ve hesaplamalar bu değişim için yapılmıştır.

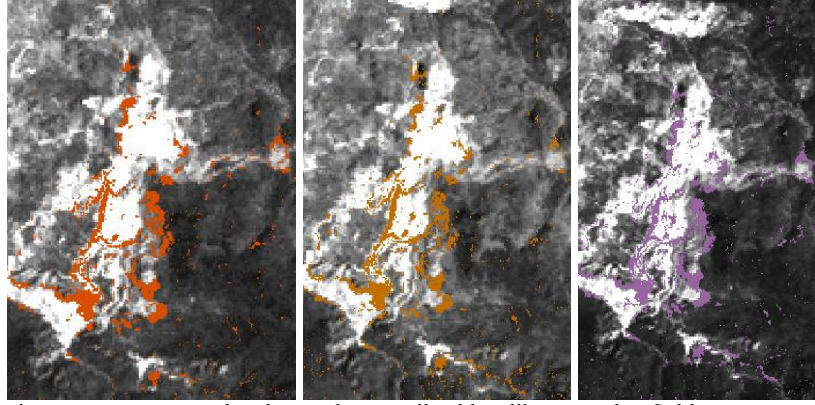
3.1. Bant Farklılığı Algoritması

Bu metod farklı zamanlarda alınmış görüntülerdeki her bir bandın birbirinden hücreden hücreye çıkarılması ile elde edilmektedir. Bu algoritmanın iyi şekilde çalışması için görüntülerin birbirlerine göre geometrik rektifikasyonunun çok iyi olması gerekmektedir. Burada, çıkarma işlemi (1) Matlab ortamında yapılmış ve sonuçlar PCI geomatica ve ArcGIS yazılımlarında kontrol edilmiştir.

$$DBV_{i,j,k} = 1BV_{i,j,k} - 2BV_{i,j,k} \quad (1)$$

Burada $1BV_{i,j,k}$ bant k ya ait i'inci satır, j'inci kolon olan ilk resimdir; $2BV_{i,j,k}$ ise aynı şekilde bant k ya ait i'inci satır, j'inci kolon olan ikinci resimdir. $DBV_{i,j,k}$ ise bant k ya ait i'inci satır, j'inci kolon olan iki görüntüden elde edilmiş fark görüntüsüdür.

Elde edilen fark görüntüsünde büyük değerler değişimin fazla olduğu yerleri göstermektedir. Görünür bantlar yeryüzünde bulunan nesnelere yansıyan yoğunluk değerini yansıtır fakat yakın kızıl ötesi ve termal bantlar nesnelere farklı özelliklerini elde etmek için kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada görünür bantlar arası farklılıklar alınmıştır. Üç farklı görünür bant için, hücreden hücreye olan farkların alınması ile elde edilen değişim görüntüleri Şekil 2 deki gibi gösterilmektedir.



Şekil 2. Fark algoritmasının üç görünür banda uygulanması ile elde edilen sonuçlar. Soldan sağa sırasıyla mavi, yeşil ve kırmızı bant sonuçlarıdır. Elde edilen fark alanları 1987 görüntüsü üzerine bindirilmiştir.

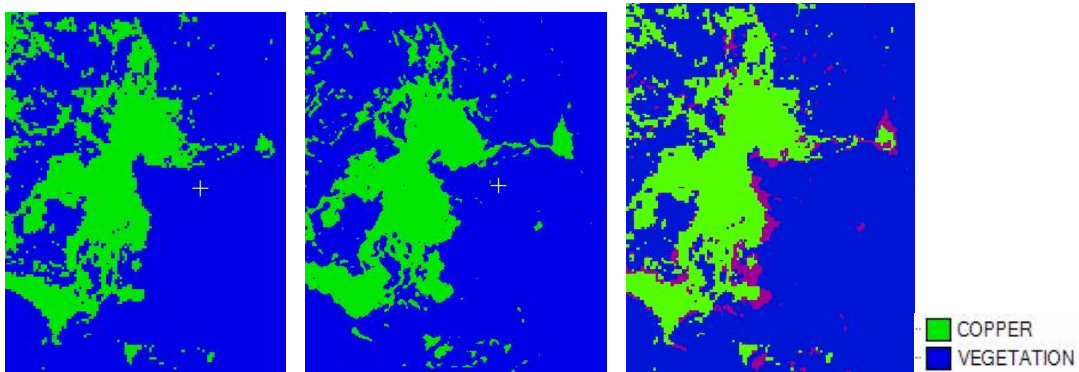
Elde edilen fark görüntüleri incelendiğinde her bir sonuç maden ocağının 1987 den 2000 yılına kadar bir büyüme gösterdiğini kanıtlamaktadır. Bu büyüme değeri 0.88 ile 1.18 arasındadır ve en çok kırmızı banttadır.

3.2. Ön Analizler Sonrası Değişimin İncelenmesi

Değişim analizi öncesi bu çalışmada ilk olarak çok zamanlı görüntülerin her birinde eğitilmiş sınıflandırma gurubundan olan en büyük olasılık metodu uygulanmış ve her bir görüntü ayrı ayrı sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma çalışmasında yanlış kompozit görüntü bileşenleri kullanılarak her bir görüntü için tüm alandan homojen olarak eğitim sınıfları toplanmıştır. Çalışmada amaç maden ocağındaki büyümeyi takip etmek olduğu için görüntüler iki sınıfa ayrılmıştır. Bunlar maden alanı ve bitkidir. Elde edilen sınıflandırma sonuçları 1987 görüntüsü için Şekil 3a'da, 2000 görünüsü için Şekil 3b 'de verilmiştir.

Sınıflandırma sonuçları hata matrisi oluşturularak elde edilen tüm doğruluk ve kappa istatistiksel değerleri ile değerlendirilmiştir. Hata matrisini oluşturabilmek için alandan her sınıf sayısındaki hücrelerle orantılı olarak rastgele 100 test noktası toplanmıştır. Bu test noktaları daha sonra sınıflandırma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 1987 ve 2000 yıllarındaki görüntülere ait tüm doğruluklar sırasıyla 87% ve 96.97% iken, kappa istatistiği 0.57 ve 0.88 olarak değişmektedir (Tablo 1, Tablo 2). Her bir sınıflandırma sonucu oldukça iyi sonuç vermiştir fakat 1987 görüntüsüne göre 2000 yılına ait görüntü daha iyi sonuç vermiştir. Bunun nedeni 2000 yılına ait görüntünün daha iyi bir çözünürlüğe sahip olması olabilir. Ne kadar 1987 yılı görüntüsü keskinleştirilerek 2000 yılına ait mekansal çözünürlüğe getirilse, o çözünürlük hassasiyetinde bilgi olmadığından, yine 1987 görüntüsü daha kaba bir çözünürlükte bilgiye sahiptir. Buda sınıflandırma sonuçlarını etkilemiş olabilir. Sınıflandırma sonucu elde edilen hata matrisleri Tablo 1 ve Tablo 2' de verilmiştir.

Ayrı ayrı sınıflandırma yapılan görüntülerin fark analizinde en büyük avantajı, görüntüler arası radyometrik kalibrasyon değerinin minimuma inmesidir. Sınıflandırması ayrı ayrı yapılan her bir sınıflandırma sonucu daha sonra hücre hücre karşılaştırılmış ve değişim haritalaması yapılmıştır (Şekil 3c)



Şekil 3. a. EOS sınıflandırma sonrası elde edilen 1987 haritası b. EOS sınıflandırma sonrası elde edilen 2000 haritası c. 1987 görüntüsü üzerine bindirilmiş değişim haritası pembe ile görünmektedir.

1987 %	Maden	Bitki	Üretici Doğruluğu
Maden	12	6	63.16%
Bitki	7	75	92.59%
Kullanıcı Doğruluğu	66.67%	91.46%	

Tüm Doğruluk : 87%

Kapa istatistiği : 0.57

Tablo 1. 1987 yılına ait görüntüde yapılmış olan sınıflandırma sonucunu değerlendirmek için oluşturulan hata matrisi

2000 %	Maden	Bitki	Üretici Doğruluğu
Maden	13	1	86.67%
Bitki	2	83	98.81%
Kullanıcı Doğruluğu	92.86%	97.65%	

Tüm Doğruluk : 96.97%

Kapa istatistiği : 0.88

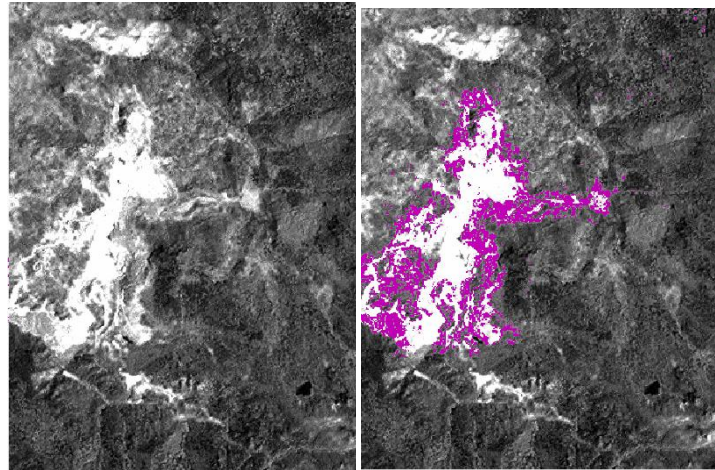
Tablo 2. 2000 yılına ait görüntüde yapılmış olan sınıflandırma sonucunu değerlendirmek için oluşturulan hata matrisi

CBS ortamında elde edilen hücre tabanlı fark haritası vektöre dönüştürülmüş ve farkın alanı hesaplanmıştır. Buna göre 1987 den 2000 yılına 0.76 km² lik büyüme olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Lineer Veri Transformasyonu

Ana veri bileşeni (Principle component analysis (AVB) analizi en önemli lineer veri transformasyonlarından birini oluşturmaktadır (Coppin ve ark. 2004). Uydu görüntüsüne ait orjinal spektral bantlara uygulanan, ana bileşen transformasyonu sonucu, birbiri ile korelasyonsuz ve yeni bir ortogonal koordinat sisteminde tanımlanan bileşenler oluşmuş olur. Matematiksel olarak $X^T=[X_1, \dots, X_L, \dots, X_L]$ L boyutlu C değişim matrisine sahip, bir değişken kümesi ise, $Y_1, \dots, Y_1, \dots, Y_L$ gibi ana bileşenler: $Y_i=e_{i1}X_1+e_{i2}X_2+\dots+e_{iL}X_L=e^T_i X$ şeklinde tanımlanır. Burada: T matrisin transpozu ve $e^T_i=[e_{i1}, \dots, e_{iL}]$ 'de C değişim marisine ait eigen vektörleridir.

Ana bileşenler değişim analizlerinde iki farklı şekilde kullanılabilirler. Bunlardan ilki her bir zamana ait görüntü için ana bileşenleri ayrı ayrı oluşturmak ve oluşturulmuş olan ana bileşenlerin birbiri ile farklarına bakılmasıdır (Liu., 2004). İkinci yol ise farklı zamanlara ait L boyutundaki görüntü bantlarını bir görüntü altında toplayarak 2L boyutlu bir görüntü oluşturmak ve ana bileşenler analizini bu oluşturulan görüntüye uygulamaktır. Değişime uğramış hücre bilgileri, transformasyon sonucu elde edilen eigen vektörlerden ilk bileşen ile belirlenebilmektedir. Uygulamada değişim olan bölgenin bulunması için eşik değeri belirlenmelidir. Bu eşik değeri, ortalamadan birinci standart sapma sınıflandırma metodu ile belirlenmiştir (Singh 1989, Ridd and Liu 1998, Mas 1999).



Şekil 4. a. AVB transformasyonu sonucu elde edilen birinci eigen bileşeni ve b. bu bileşenden elde edilen değişim analiz sonucu, birinci bileşen üzerine giydirilmiştir.

Bu uygulama sonrası elde edilen değişim alanı, transformasyon sonucu elde edilen birinci bileşen üzerine giydirilmiş şekilde Şekil 4 de verilmektedir. Elde edilen değişim alanı CBS ortamında vektöre dönüştürülmüş ve alan hesabı yapılmıştır. Bu uygulama sonucu 2000 yılına ait maden alanının 1987 yılına göre 1.78 km² oranında büyüdüğü görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Doğu Karadeniz bölgesinde yer alan Artvin'in Murgul ilçesinde bulunan Murgul Damar Bakır İşletmeleri'nin faaliyetinden kaynaklanan arazi değişimini incelemek amacıyla, iki farklı yıla ait uydu görüntülerinde değişim analizleri yapılmıştır. Bu amaçla alana ait 1987 Landsat 4-5 TM ve 2000 tarihli Landsat 7 ETM+ görüntüleri kullanılmıştır.

Değişimlerin incelenmesi için üç farklı değişim izleme algoritmasından yararlanılmıştır. Bunlar fark analizi, eğitimli sınıflandırmaya farklılığı ve temel bileşenler analizi (TBA) farklılığıdır. Değişim belirleme algoritmalarını uygulamadan önce, ön analizler yapılmıştır bunlar görüntü rektifikasyonu, atmosferik düzeltme, ve spektral ve mekansal çözünürlük ayarlamalarıdır.

Analizler sonrası alandaki değişimler için bir doğruluk testi yapılmamıştır. Bunun nedeni alana ait 1987 yılı ve 2000 yılı için maden ocağı büyüklüğüne ait bir bilgi olmamasıdır. Böyle bir bilgi olmasada çalışma sonucu yapılan farklı uygulamaların birbiri ile karşılaştırılması ile zamansal ve mekansal olarak relatif olarak test edilmiştir.. Buna göre değişim analizleri sonrası elde edilen değişim haritaları alansal olarak hesaplanmıştır. Uygulanan üç değişim algoritması sonrası üç farklı alan büyüklüğü elde edilmiştir. Uygulanan analizlerin doğası nedeniyle alansal değişimin birebir aynı olarak belirlemek mümkün değildir. Alansal değişimler 0.78 ile 1.78 arası değişmekte ve çok büyük farklılıklar elde edilmemiştir. Bu değişim haritaları bize alanda 1987 yılından buyana Murgul Bakır Ocaklarında alansal bir büyüme olduğunu ispat etmektedir.

KAYNAKLAR

Byrne, G. F., Crapper, P. F., and Mayo, K. K., 1980, Monitoring land cover change by principal component analysis of multitemporal Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 10, 175–184.

Coppin P. , Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *INT. J. REMOTE SENSING*, 10 MAY, 2004, VOL. 25, NO. 9, 1565–1596

Dewidar, M. KH., 2004. Detection of land use/land cover changes for the northern part of the Nile delta (Burullus region), Egypt. *INT. J. REMOTE SENSING*, 20 OCTOBER, 2004, VOL. 25, NO. 20, 4079–4089

Howarth, P. J., and Wickware, G. M., 1981, Procedures for change detection using Landsat. *International Journal of Remote Sensing*, 2, 277–291.

Jha, C. S., and Unni, N. V. M., 1994, Digital change detection of forest conversion of a dry tropical Indian forest region. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 2543–2552.

Liu Y., 2004. Analysis of four change detection algorithms in bi-temporal space with a case study. *INT. J. REMOTE SENSING*, 10 JUNE, 2004, VOL. 25, NO. 11, 2121–2139

MAS, J.-F., 1999, Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 139–152.

Mucher, C. A., Steinnocher K. T., Kressler F. P. and Heunks C., 2000. Land cover characterization and change detection for environmental monitoring of pan-Europe. *int. j. remote sensing*, 2000, vol. 21, no. 6 &7, 1159–1181

RIDD, M. K., and LIU, J., 1998, A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sensing of Environment*, 63, 95–100.

Schmidt, H., and Glaesser, C., 1998, Multitemporal analysis of satellite data and their use in the monitoring of the environmental impacts of open cast lignite mining areas in East Germany. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 2245–2260.

Singh, A., 1989, Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 989–1003.