

ZONGULDAK TAŞKÖMÜRÜ HAVZASINDA DÜŞEY HAREKETLERİN İZLENMESİNE YÖNELİK INSAR ÇALIŞMALARI

Hakan Akçın¹, Hakan Ş. Kutoğlu¹, Hüseyin Kemaldere¹, Tomonori Deguchi²

¹ZKÜ, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, 67100 Zonguldak, hakanakcin@hotmail.com

²Earth Remote Sensing Data Analysis Center, 3-12-1 Kachidoki, Chuo-ku, Tokyo, Japan, 104-0054

ÖZET

Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda (ZTH) taşkömürü madenciliği 150 yıldan beri sürdürülmekte ve yer altından her yıl yaklaşık olarak 3 milyon ton taşkömürü çıkartılmaktadır. Havzadaki bu yoğun madencilik faaliyetleri nedeniyle yer üstünde geniş tasman oluşumları gözlenmektedir. Bu çalışmada, DInSAR tekniğine dayalı olarak JERS 1, PALSAR ve RADARSAT uydu verileri ve yüzey obje noktalarında gerçekleştirilen periyodik GPS ölçmeleri ile 2005 yılı sonrası ZTH'daki deformasyon gelişimleri izlenmiş ve faz anomalileri tespit edilmiştir. En büyük deformasyon miktarı 4.5 ayda 204 mm olarak tespit edilirken, InSAR tekniği ve GPS ölçümlerinden elde edilen sonuçların 9 mm varyans ile uyum sağladığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Interferometri, SAR, Yüzey Deformasyonu, Tasman, GPS

ABSTRACT

MONITORING VERTICAL MOVEMENTS IN ZONGULDAK HARD COAL BASIN BY INSAR

In Zonguldak hard coal basin, hard coal mining has been carried out for 150 years and yearly production is about 3 million ton. Because of the underground mining, surface subsidence has been occurred. In this study, surface subsidence which occurred after 2005 in Zonguldak hard coal basin has been monitored by GPS observations and DINSAR using JERS 1, PALSAR and RADARSAT data. Maximum amount of deformation was calculated as 204 mm in 4.5 months. InSAR results were corresponded to the GPS measurement data within 9mm variance.

Keywords: Interferometry, SAR, Surface Deformation, Subsidence, GPS

1. GİRİŞ

Bir yerleşim yerinin, insanların ekonomik beklentilerini karşılayabilecek olanakları sunması ve dolayısıyla göç alması, hızlı bir nüfus artışına neden olmaktadır. Bu nüfus artışı da beraberinde, insanlığın en temel ihtiyaçlarından biri olan barınma sorununu gündeme getirmektedir. Herhangi bir plan ya da programı olmayan yapılar; zemin etüdü yapılmamış, gelişigüzel seçilmiş, boş bulunan alanlara inşa edilmeye başlanmış ve bu şekildeki yapılaşmalar günden güne çoğalarak büyük yerleşim alanları oluşmuştur. Öyle ki, büyük fay hatlarının bulunduğu yerlerde, yumuşak zeminli su havzalarında, heyelan riski bulunan sahalarda, yer altı madenciliği faaliyetlerinin yapıldığı bölgelerde vb. alanlarda şehirler kurulmuş ve olası tehlikeler istenmeden de olsa göz ardı edilmiştir. Başka alanlara taşınması sosyo-ekonomik açıdan mümkün olmayan bu gibi şehirlerin ve yeni kentsel gelişim alanlarının yüzey deformasyonlarının izlenmesi ve risk alanlarının belirlenmesi, erken uyarı imkanlarının geliştirilebilmesi ve can ve mal güvenliği bakımından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, 14.12.2007 tarih ve 26730 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak uygulamaya giren Madencilik Faaliyetleriyle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği'nin 10. maddesi f fıkrasında belirtilen "Yeraltı işletmelerinin neden olduğu ya da olması beklenen tasman etki alanlarında, herhangi bir yapılaşmaya izin verilmez. Bu alanlarda çökmenin etkilerinin önemsenmeyecek boyutlara indiği uzmanlarca hazırlanacak jeolojik-jeoteknik etüt raporları ile saptandıktan sonra Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün onayı alınarak sınırlama kaldırılır." (URL 1) ifadesine göre de tasman etki alanlarındaki yüzey hareketlerinin periyodik olarak gözlemlenmesi gerekmektedir.

Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda (ZTH) taşkömürü madenciliği 160 yıldan beri sürdürülmekte ve yer altından her yıl yaklaşık olarak 3 milyon ton taşkömürü çıkartılmaktadır. 1848'den günümüze kadar gerçekleştirilen toplam üretim miktarı ise yaklaşık olarak 400 milyon tondur. Günümüzde deniz seviyesinin 155 m yukarısından 550 m aşağısına kadar olan ve uzunluğu yaklaşık olarak 300 km'yi bulan kömür damarlarında üretim faaliyeti yapılmaktadır (URL 2). Havzadaki bu yoğun madencilik faaliyetleri nedeniyle etki alanlarında yoğun tasman hareketleri gözlenmektedir. Tasman, yeraltında kömür üretimi sonucu oluşan büyük çaplı boşlukların göçüğe bırakılması sonucu, yeryüzünde oluşan, düşey yönde çökme ve yatayda deplasman hareketlerinin bütünüdür (Akçın, 1993). Ayrıca bölge mağara sistemleri bakımından da oldukça zengin yapıya sahiptir (Şekil 1). Bu durum tasman oluşumlarının tetiklenmesine ve daha da şiddetlenmesine neden olabilmektedir. Tasman oluşumları nedeniyle kentin altyapı ve üstyapı tesisleri önemli

zararlara uğramaktadır. Merkez ilçe ile Kozlu, Kilimli ve Çatalağzı beldelerini kapsayan Zonguldak Metropolitan Alanı'nın (ZMA) büyük bir bölümü, kömür üretiminin yaklaşık olarak %80'inin karşılandığı bölge üzerinde kurulmuştur. Ayrıca, enerji nakil ve yeraltı su şebekesi hatları da her an tasman tehlikesiyle karşı karşıyadır. ZTH' da kentsel alanlar içinde oluşumu belirlenen deformasyon hız alanları; yolların %23'nü, resmi olmayan binaların %24'nü ve kamu binalarının %54'nü etkisi altına almaktadır (Akçın vd., 2008). Bölgedeki yüzey deformasyonlarının mevcut yerleşim alanları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve yeni kentsel gelişim alanlarının tayini için söz konusu deformasyon oluşumlarının izlenmesi, yukarıda belirtilen yönetmelik gereği yasal bir zorunluluk haline gelmiştir.



Şekil 1: ZMA ve mağara sistemleri

Tasman gözlemleri genellikle yersel yöntemlerle yapılmasına rağmen bu yöntemlerin; gözlemlerin yapılacağı alanın topografik yapısı, şehirleşme oranı, bitki örtüsü gibi elverişsiz olabilecek faktörler ve sonuçların elde edilmesindeki zamansal gecikmeler nedeniyle yetersiz kalması, herhangi bir ön bilgi gerektirmeksizin çok geniş alanlardaki yüzey deformasyonlarını belirlemeye olanak sağlayan Diferansiyel Radar Interferometri (DInSAR) tekniğini ön plana çıkarmıştır. Farklı zamanlarda alınan iki SAR uydusu verisinin faz farkını kullanarak deformasyonların belirlendiği bu yöntemle depremler, volkanik hareketler, buzul hareketleri, heyelanlar, madencilikten kaynaklanan yüzey hareketleri vb. izlenebilmektedir (Hanssen, 2001).

2. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR İNTERFEROMETRİ

İnterferometri terimi, interferans kelimesinden türemiş bir kelimedir. İnterferans, iki dalganın (ses, ışık, okyanus, elektromagnetik, sismik gibi) bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. InSAR, interferansın yapay açıklıklı radarla birleşmesiyle oluşan bir metoddur. InSAR tekniği ile, aynı bölgeye ait iki SAR görüntüsünün, birbirlerine denk düşen piksellerinin faz farkları hesaplanarak yeni bir görüntü elde edilir ve bu yeni görüntüye interferogram adı verilir. İnterferogram, faz farkından dolayı frinçlerin interferans dokusudur. Diğer bir ifadeyle, radardan yer yüzüne olan uzaklık değişimlerinin eş yükseklik haritasıdır. Fazın ya da frincin interferogramdaki her bir döngüsü, dalga boyunun yarısı kadar uydusu yeryüzü uzaklığındaki değişimlere karşılık gelir (Çakır, 2003).

Bir radar interferometre, ya tek bir platforma monte edilmiş iki antenle (tek geçiş interferometri) ya da bir uydudaki tek bir anten kullanılarak, neredeyse tam tekrarlanan yörünge üzerinden geçerken, aynı bölgenin iki görüntüsü alınarak oluşturulur (tekrar-çift geçiş interferometri). Tek geçiş interferometride antenler, su akıntıları ve buzul gibi hareketli nesneleri incelemek için uçuş yönüne paralel olarak yerleştirilebilecekleri (along-track interferometri) gibi lokal ya da global topografyayı ölçmek için uçuş yönüne dik olarak da yerleştirilebilirler (across-track interferometri). Neredeyse aynı yörüngede, çok az farklı görüş geometrisiyle hareket eden ve yörüngesi çok hassas şekilde bilinen platformlarda, sadece tek bir antenle de radar interferometre oluşturmak mümkündür. Tekrar geçiş metodu, daha stabil olduklarından ve yörüngeleri hava araçlarına göre çok daha hassas hesaplandığından uydular için daha uygundur (Çakır, 2003, Deguchi, 2006).

Tekrar geçiş interferometrisinde uydusu, bir önceki geçişine göre bire bir aynı yörüngede hareket etmediği için yeryüzündeki hedef iki farklı noktadan görüntülenecek, böylece bir çift radar görüntüsü elde edilecek ve oluşacak faz farkı;

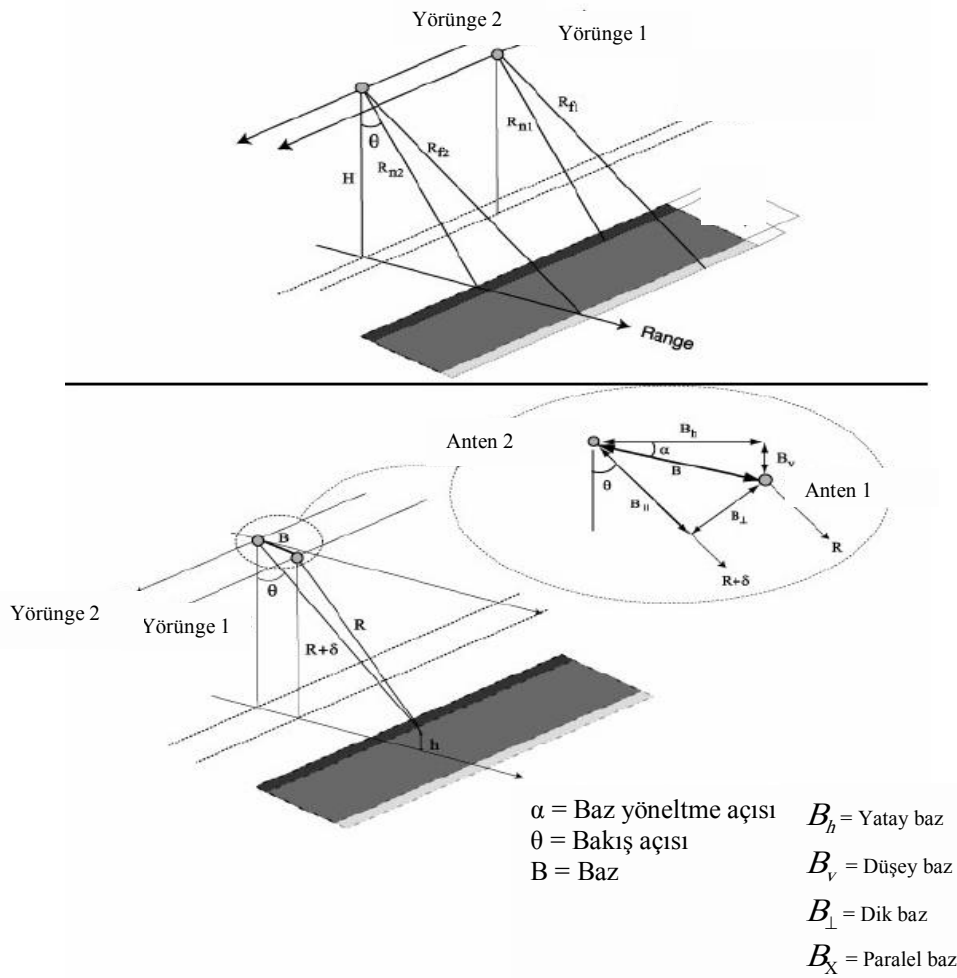
$$\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta R \quad (1)$$

olacaktır (Şekil 2). Burada δR , range farkıdır.

Yukarıdaki eşitlik, görüntülenen alan ve atmosferik etkiler iki veri alımı arasında aynı kaldığı kabul edilirse geçerlidir. Atmosferik etkiler değişmez ancak iki görüntü alımı arasında deprem, tasman vb. kaynaklanan δd kadarlık bir yükseklik değişimi olursa faz farkı;

$$\Phi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta R + \frac{2\delta d}{\lambda} \quad (2)$$

olur. Bu δd kadarlık yükseklik değişimini belirlemek için diferansiyel interferometri olarak adlandırılan InSAR tekniğinden yararlanılır (Çakır, 2003). Diferansiyel interferometri iki yolla yapılabilir. Bunlar, üç geçiş veya çift fark yöntemi ile diferansiyel interferometri ve iki geçiş ve SYM yöntemi ile diferansiyel interferometridir.



Şekil 2: Tekrar geçiş interferometri geometrisi (Çakır, 2003)

2.1 Üç Geçiş veya Çifte Fark Yöntemi İle Diferansiyel İnterferometri

Bu yöntemde farklı zamanlarda alınmış üç SAR görüntüsü kullanılır. Çifte fark interferogram denilen sonuç görüntü, birinci ve ikinci görüntü kullanılarak elde edilen ve anlamlı bir yüzey değişimi içermeyen interferogram görüntüsünün, üçüncü ve birinci veya ikinci görüntü kullanılarak üretilen ve yüzey değişimi içeren interferogram görüntüsünden çıkartılmasıyla elde edilir (Aydöner ve Maktav, 2006 ve Hanssen, 2001).

2.2 İki Geçiş ve SYM Yöntemi İle Diferansiyel İnterferometri

Bu yöntem için farklı zamanlarda alınmış iki SAR görüntüsü gereklidir ve bu iki görüntü kullanılarak tek bir interferogram üretilir. Fark almak için gerekli olan ve anlamlı bir yüzey değişimi içermeyen ikinci interferogram ise, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve uydu konum bilgisi kullanılarak oluşturulur. Deformasyon miktarı, oluşturulan bu interferogramdan, üretilen ilk interferogramın çıkartılmasıyla belirlenir (Aydöner ve Maktav, 2006 ve Hanssen, 2001).

3. İKİ GEÇİŞ VE SYM YÖNTEMİ İLE DINSAR

Bu yöntemde kullanılan iki SAR görüntüsünden biri ana (master), diğeri ikincil (slave) olarak adlandırılır. Ana görüntü fazı ile ikincil görüntü fazı arasındaki fark;

$$\phi = \phi_{orbit} + \phi_{topo} + \phi_{atm} + \phi_{def} + \phi_{noise} \quad (3)$$

şeklinde. Burada; ϕ_{orbit} iki gözlemden elde edilen baz uzunluğundan kaynaklanan yörünge frinci, ϕ_{topo} topografyadan kaynaklanan topografik frinçtir (Deguchi et.al., 2006). Bunlar;

$$\phi_{orbit} = \frac{4\pi}{\lambda} B_{para} \quad (4)$$

$$\phi_{topo} = \frac{4\pi h B_{prep}}{\lambda R \sin \alpha} \quad (5)$$

eşitlikleriyle ifade edilir. Burada; B_{para} [$B_{para} \approx \delta R$ (Eşitlik 1)] ve B_{prep} baz uzunluğunun paralel ve dik bileşenleri; h , λ , R ve α ise sırasıyla yükseklik, dalga boyu, range ve eğim açısıdır. ϕ_{atm} , su buharı tabakası nedeniyle mikrodalganın yansımından kaynaklanan faz gecikmesini ifade ederken ϕ_{noise} termal gürültü ya da baz uzunluğu veya saçılma karakteristiğindeki değişimden kaynaklanan zamansal ve mekansal dekoheransdır. ϕ_{def} ise iki gözlem arasındaki zaman diliminde meydana gelen yüzey deformasyonu büyüklüğüdür ve aşağıdaki işlem adımlarıyla hesaplanır:

- İkincil görüntünün ana görüntüye göre yeniden örneklenmesi ve kaydı,
- SYM kullanılarak SAR görüntüsünün simülasyonu,
- Simüle edilmiş SAR görüntüsünün yeniden örneklenmesi ve kaydı,
- Baz mesafesinin kestirimi,
- Faz filtrelemesi,
- Faz açılımı,
- Atmosferik düzeltme,
- Foreshortening düzeltmesi ve harita projeksiyonuna indirgeme (Deguchi et.al., 2006).

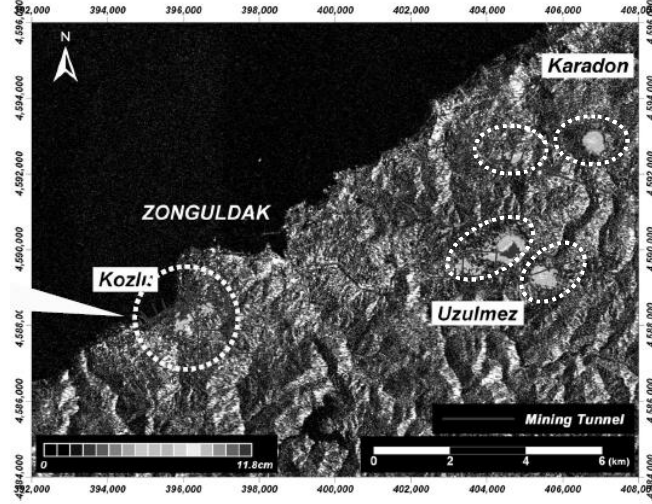
4. ZTH'DA INSAR UYGULAMASI

Tasman gözlemlerinin yapıldığı ZTH'da 1848'den bu yana aralıksız taşkömürü üretimi yapılmaktadır. Günümüze kadar 400 milyon ton tüvanan kömür (hiçbir işleme tabi tutulmayan ham kömür), 12000 km²'si karasal bölgeler altında ve 3000 km² si de deniz altında olmak üzere toplam 15000 km² lik bir alanda üretilmiştir. Havzada verimli kömür alanları, üst karbonifer katmanları içerisinde. Bu katmanların toplam kalınlığı 600 ile 800 m arasında değişmekte olup çok karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir. Bölgede günümüze kadar değişik derinliklerde, farklı geometrik yapılarındaki üretim panolarında, değişik üretim metotlarıyla faaliyetler sürdürülmekte olup, tüvanan üretiminin yılda 1.5 - 2 milyon tonu derin madencilik uygulamaları ile Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve 250-500 bin tonu da özel sektöre gerçekleştirilmektedir (Akçın vd., 2008).

Bölgede, deformasyon izleme çalışmaları 2005 yılında başlanmış olup ilk olarak 1995-1996 yılları arasında alımı yapılmış Japon JERS 1 uydusunun arşiv görüntüleri ve SYM olarak da SRTM verileri kullanılarak deformasyon gelişiminin öncesinin belirlenmesine çalışılmıştır. 2005-2007 yılları arasında, Kanada RADARSAT ve Japon PALSAR uydularına ait görüntüler kullanılarak yüzey deformasyonlarının izlenmesi sürdürülmüştür. Şekil 3'de de görüldüğü gibi ilk olarak JERS 1 verileriyle gerçekleştirilen InSAR analizlerinde 5 farklı bölgede yoğun yüzey hareketlerinin olduğu saptanmıştır. Öyle ki, en büyük yüzey deformasyonu 4.5 ayda 204 mm olarak Kozlu kömür madeni civarında belirlenirken, deformasyon miktarının Karadeniz'e doğru arttığı tespit edilmiştir. Üzülmüş ve Karadeniz kömür

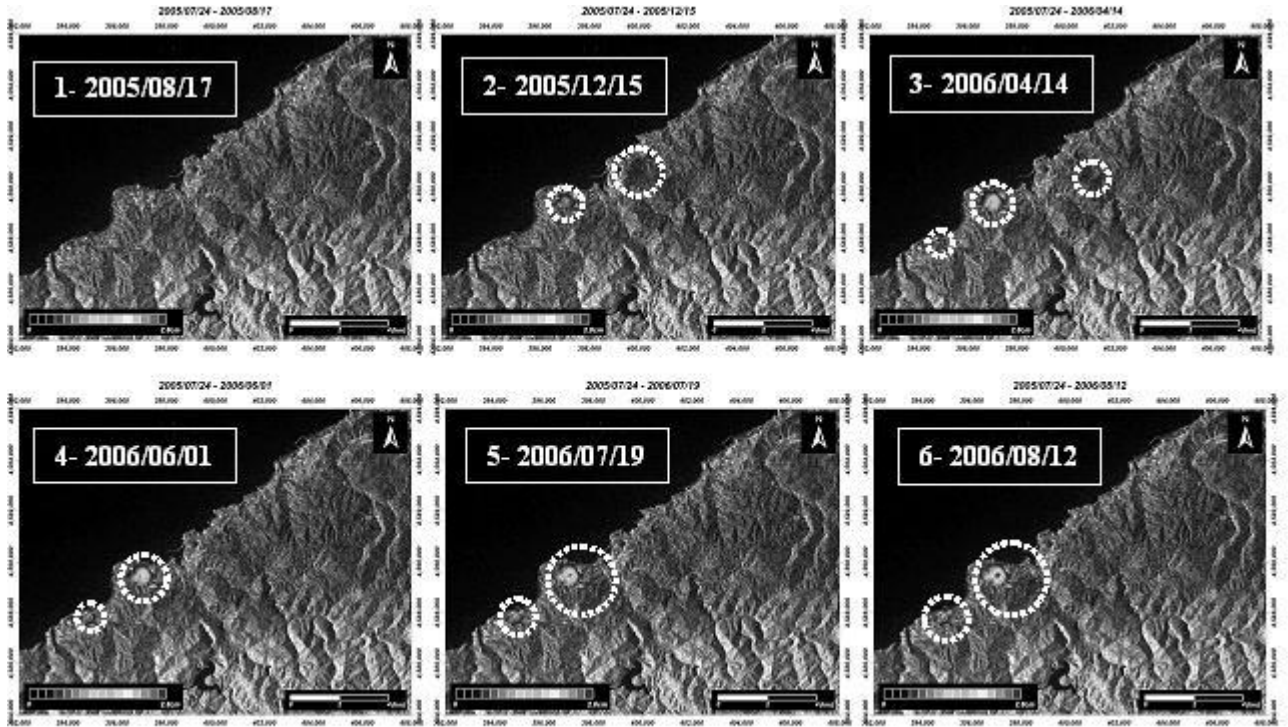
madenleri çevresinde de deformasyonlar tespit edilmiş ve deformasyon miktarının her iki bölgede de 130 mm'den fazla olduğu belirlenmiştir. Deformasyonların kömür üretimi nedeniyle oluşup oluşmadığını belirlemek için maden imalat planları incelenmiş ve üretim yapılmış galerilerin, yeryüzündeki deformasyon bölgelerinin izdüşümünde olduğu tespit edilmiştir.

2005-2007 döneminde Kozlu bölgesinde, RADARSAT verileriyle gerçekleştirilen InSAR analizleri ile deformasyon miktarı 15 ayda 55 mm olarak elde edilirken, yoğun bitki örtüsü ile kaplı Üzülmüş ve Karadon bölgelerinde, PALSAR verileriyle gerçekleştirilen InSAR analizleri sonucu deformasyon miktarı 46 günde 30 mm olarak elde edilmiştir. Yüzey değişimlerinin, 1995'li yıllarda tespit edilen alanlara yakın bölgelerde oluşmaya devam ettikleri belirlenmiştir (Şekil 4 ve 5).

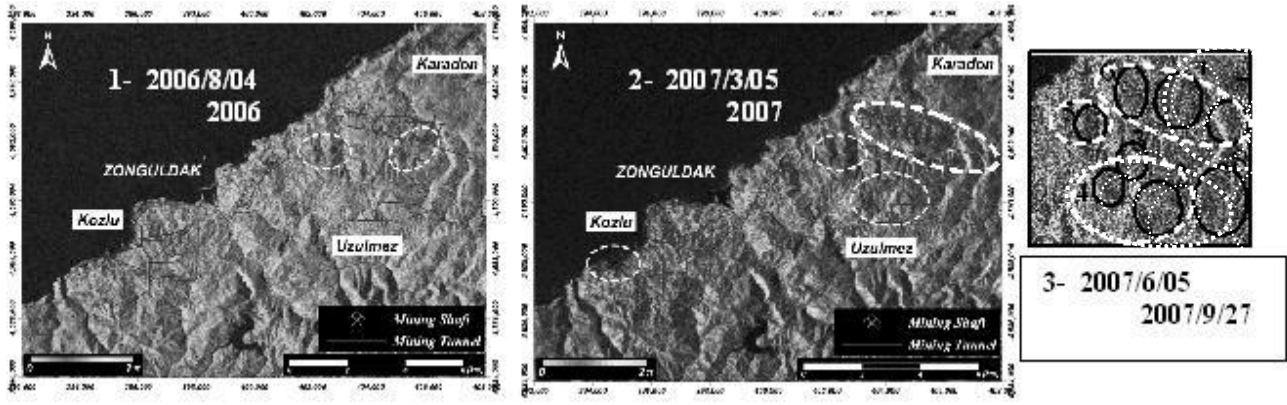


Şekil 3: JERS 1 görüntülerinden InSAR ile belirlenmiş deformasyon alanları

Gerçekleştirilen InSAR analizleri sonucunda elde edilen sonuçların kontrolü için, 2005 yılında ZTH'da GPS gözlem ağı oluşturulmuş ve bu ağı periyodik olarak ölçülmüştür. InSAR ile belirlenen deformasyon hız alanları içindeki GPS gözlem ağından elde edilen deformasyon değerlerinin, InSAR ile belirlenen deformasyon değerlerini % 82'lik bir oranla doğruladığı görülmüştür.



Şekil 4: Temmuz 2005 – Ağustos 2006 arası RADARSAT görüntülerinden belirlenen zamansal değişim



Şekil 5: PALSAR görüntülerinden deformasyon hız alanlarının zamansal değişimi

5. SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

ZTH madencilik açısından ülkemizin önemli bölgelerinden biridir. Bu bölgede, gerek kentsel alanlar altında gerekse de deniz altında taşkömürü madenciliği sürdürülmektedir. Bu madencilik faaliyetleri nedeniyle bölgede ciddi derecelerde deformasyonlar oluşmakta ve yapılarda kalıcı hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu açıdan hem TTK hem de özel sektöre gerçekleştirilen madencilik faaliyetlerinin zamansal etkilerinin doğrudan veya dolaylı olarak periyodik gözlemi oldukça önemlidir.

Bu çalışma ile, deformasyonların izlenmesinde yersel yöntemlerin; bölgenin topografik yapısı, bitki örtüsü ve şehirleşme oranı gibi faktörler nedeniyle yetersiz kaldığı durumlarda, herhangi bir ön bilgi gerektirmeksizin çok geniş alanlardaki yüzey deformasyonlarını belirlemeye olanak sağlayan diferansiyel InSAR tekniğinin güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi ortaya konulmuştur. Yapılan değerlendirmeler sonucunda en büyük deformasyon miktarı 4.5 ayda 204 mm olarak tespit edilirken, elde edilen sonuçlar GPS gözlemleriyle de doğrulanmıştır. Deformasyonların madencilik faaliyetleri nedeniyle meydana geldiği, maden imalat haritaları ile radar uydu görüntülerinin karşılaştırılmasıyla tespit edilmiştir.

Gelecek çalışmalarda DInSAR ve GPS tekniklerinin birlikte kullanımı ile tasman hasar parametrelerinin kestirimi ve tasman risk alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemi tabanlı olarak belirlenmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

GPS ölçümlerinin gerçekleştirilmesine katkıda bulunan Murat Oruç, K. Sedar Görmüş, Serkan Karakış ve Eray Can'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Akçın, H., 1993. *Yeraltı Maden Üretiminden Kaynaklanan Tasman Hareketlerinin Yapısal ve Jeodezik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Akçın, H., Kutoğlu, Ş.H., Deguchi T., 2008. *Madencilikten Kaynaklanan Yeryüzü Deformasyonlarının Uzay Radar İnterferometrisi-InSAR ile Belirlenmesi*, 16. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Aydöner, C., Maktav, D. 2006. *Uydu Ve Yersel Veri Entegrasyonu İle Deprem Sonrası Arazi Örtüsü/Kullanımı Analizi*, İTÜ Dergisi, Cilt:5, Sayı:2, Kısım:2, 35-48, İstanbul.

Çakır, Z., 2003. *Analysis Of The Crustal Deformation Caused By The 1999 Marmara Earthquake Sequence Using Synthetic Aperture Radar Interferometry*, PHD Thesis, Istanbul Technical University - Institute of Science and Technology and Institut De Physique Du Globe De Paris.

Deguchi, T., Kato, M., Akcin, H., Kutoglu, Ş.H., 2006. *Automatic Processing Of Interferometric SAR and Accuracy Of Surface Deformation Measurement*, SPIE Europe Remote Sensing, Stockholm, Sweden.

Hanssen, R.F., 2001. *Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.

URL 1, Resmi Gazete, *Madencilik Faaliyetleri İle Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği*, <http://rega.basbakanlik.gov.tr/main.aspx?home=http://rega.basbakanlik.gov.tr/eskiler/2007/12/20071214.htm&main=http://rega.basbakanlik.gov.tr/eskiler/2007/12/20071214.htm>, 25 Mart 2009.

URL 2, TTK İnternet sitesi, *Taşkömürü Üretimi*, <http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?entityType=HTML&id=138>, 25 Mart 2009.