

Zonguldak Maden Alanlarında Meydana Gelen Yer Yüzeği Hareketlerinin InSAR Zaman Serileri ile Belirlenmesi (Subsidence Monitoring in Zonguldak Coal Mining Area with SAR Interferometry)

Saygın ABDİKAN¹, Mahmut ARIKAN^{2,3}, Füsün BALIK ŞANLI¹,
Ziyadin ÇAKIR⁴, Hüseyin KEMALDERE⁵

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul,

²Delft University of Technology, Department of Geoscience and Remote Sensing, Delft, Netherlands,

³BeeSense, Consultancy and Engineering on Geo-information Technologies, Delft, Netherlands,

⁴Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul,

⁵Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak,
sabdikan@yildiz.edu.tr

ÖZET

Zonguldak şehri Türkiye'nin tek ve en büyük yeraltı taşkömürü maden alanı üzerine kurulmuştur. Bu bölgede 19. yüzyılın ortalarından bu yana taşkömürü madeni çıkarılmaktadır. Sürekli ve yoğun bir şekilde düzenlenen madencilik aktiviteleri nedeniyle yer yüzeyinde geniş alanları etkileyen yer yer çökmeler meydana gelmiştir. Bölgedeki çökmeler açısından birer risk unsuru olan yerleşimlerin varlığı bu alanlarda bulunmaları dolayısıyla büyük bir tehlike altındadır. Bu deformasyonların izlenmesinde klasik jeodezi yöntemleri yeterli olmamakta, uzun süreli ve sürekli ölçümler yapılamamaktadır. Bu çalışmada alternatif bir yöntem olarak doğrultu boyunca meydana gelen deformasyonun belirlenmesinde SAR interferometri (InSAR) yöntemi kullanılmıştır. 1993 ve 2001 yılları arasında alınmış Avrupa Uzaya Ajansı'na (ESA) ait 21 ERS 1/2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. StaMPS yazılımı ile sabit saçıcılar (Persistent Scatterers: PS) tekniği kullanılarak Kozlu bölgesi şehir alanında ortalama yer değiştirme hızı 7-8 mm/yıl olarak belirlenmiştir. 7.5 yıl sonucunda ortaya çıkan zemin hareketi değeri ise 50-65 mm olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: InSAR, PSI, Yüzey Deformasyonu, ERS, Tasman

ABSTRACT

Zonguldak city was settled down on the largest and unique hard coal mining source of Turkey. Mining activities have been continued since the mid of 19th century. Constant and intense underground mining caused heavy damage on the Earth surface. Long term measurement of this subsidence is not sufficient with conventional geodetic methods. In this study we used SAR Interferometry (InSAR) as an alternative method. 21 Single Look Complex (SLC) ERS images are acquired between 1993 and 2001 for the process. Persistent Scatters Interferometry (PSI) implementation of StaMPS software is applied to extract deformation rate. In Kozlu town of Zonguldak deformation velocity is estimated 7-8 mm/year over urbanization. The analysis of 7.5 years of data

indicates 50-60 mm ground subsidence in the region, which is computed using time series analysis.

Key Words: InSAR, PSI, Surface Deformation, ERS, Subsidence

1. GİRİŞ

Zonguldak ili bir kıyı şehri olup Türkiye'nin en büyük kömür madenlerinin işletildiği ilimizdir. 1900'lu yılların başından beri kömür madenlerinin işletilmesinden kaynaklı tasmanlara maruz kalmaktadır (Buyurgan, 1980). Tasmanlar, genel anlamıyla çökmeler, belirli bir bölgede maden işletilmesi sonucu yeraltında yeteri ölçüde bir boşluk yaratılması sonucu, üstte yer alan zeminin bu boşluğu doldurması durumuna ve oluşan deformasyona verilen isim olarak tanımlanırlar. Ülkemizde tasman oluşumuna verilebilecek en iyi örnek Zonguldak ilidir. Türkiye'deki en büyük kömür maden alanı olan, Zonguldak ile Bartın illerini kapsayan Zonguldak Taşkömürü Havzası ayrıca Türkiye'de taşkömürünün de çıkarıldığı tek yerdir. Yeraltı kömür madenciliği 19. Yy'ın ortalarında başlamış ve 150 yıldan fazla bir süredir taşkömürü üretilmektedir. Bu süreçte yaklaşık 400 milyon ton kömür üretimi gerçekleştirilmiştir (URL 1). Taşkömürü üretimi Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) tarafından sağlanmaktadır. Havzada yapılan rezerv arama sonuçlarına göre -1200 m derinliğe kadar tespit edilmiş rezerv miktarı 1.32 milyar tondur. Bunun 158.5 milyon tonunu Kozlu'da ki rezervler oluşturmaktadır (URL 1). Bölgede üretilen taşkömürü özellikle demir-çelik ve enerji sektörlerinde kullanılmaktadır. Taşkömürü tüketiminin artmasıyla üretim de artmakta, bu durum da bölgede oluşacak tasman riski de artmaktadır.

Daha önce oluşan çökmeler zeminde çok büyük hasarlara yol açmıştır. Bununla birlikte yerleşim yerlerini, çevreyi ve endüstriyi tehdit etmektedir (Türer vd., 2008; Akçın vd., 2010). Pek çok yaşam kaybına neden olmasından ve sıkça çökmelerin meydana gelmesinden dolayı bu alanın sürekli gözlenmesinin gerekliliği önem taşımaktadır.

Maden çalışmalarından dolayı kaynaklanan tasmanın belirlenmesinde sabit saçıcılar interferometri (Persistent Scatterer Interferometry - PSI) yöntemi başarılı sonuçlar vermiştir (Mei vd., 2008; Gueguen vd., 2009). Bu yöntemin DInSAR yöntemine göre üstünlüğü çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir (Gueguen vd., 2009; Jiang vd., 2011). Zonguldak bölgesinde de daha önce DInSAR çalışmaları yürütülmüş ancak sadece kısa bir zaman aralığı için gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada PSI yöntemi ile Zonguldak maden alanında meydana gelen tasmanın belirlenmesi amaçlanmıştır. 1993-2001 yılları arasında alınmış ERS SAR uydu görüntüleri kullanılarak uzun zaman aralığında meydana gelen deformasyon değeri elde edilmiştir. Deformasyonun zamansal gelişimi PSI yöntemiyle etkin bir şekilde gözlenmiştir.

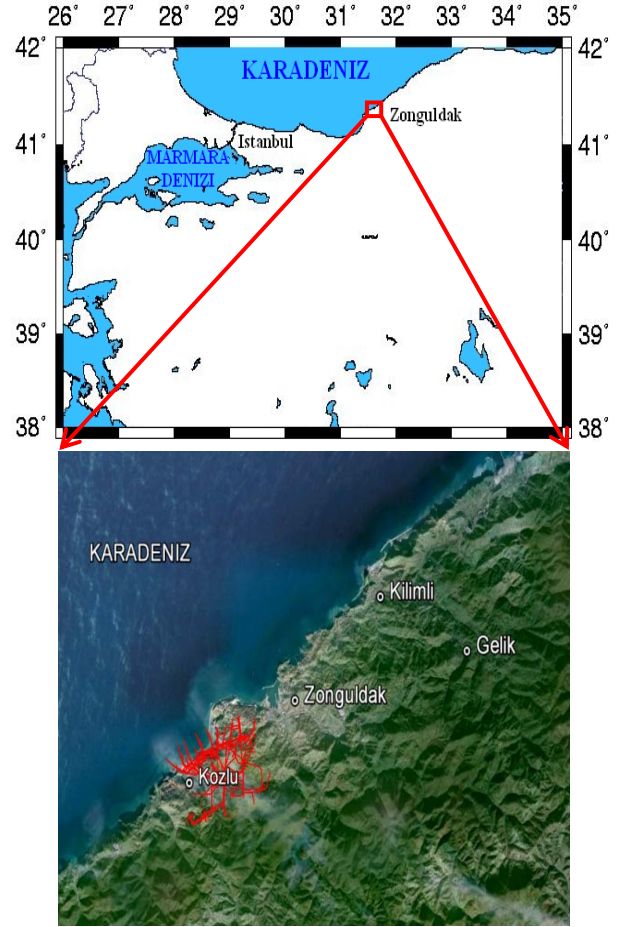
2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Kozlu, Türkiye'nin kuzey-batısında, Karadeniz'e kıyısı olan Zonguldak ili içinde yer almaktadır. Zonguldak'ın doğusunda Bartın, güney-doğusunda Karabük, güneyinde Bolu ve güney-batısında Düzce illeri yer almaktadır. Zonguldak ili genel olarak ormanlık alanla kaplıdır ve her dönem yağış aldığı için ortalama %70 nem oranına sahiptir. Tepelik bir bölgede yer alan Kozlu'da yükseklik 0 ile 400 m arasında değişmektedir.

Zonguldak'ın genel jeolojik yapısında kireçtaşı, kumtaşı, çamurtaşı gibi oluşumlar bulunmaktadır. Kömür damarları Paleozoik zamanda Karboniferin Vestfaliyen ve Namuriyen dönemlerinde oluşmuştur (Düzgün, 2005; Türer, 2008).

Zonguldak Havza'sında TTK'ya ait beş birim yer almaktadır. Bunlar, Zonguldak ili içinde kalan Armutçuk, Karadon, Kozlu ve Üzülmaz ile Bartın il sınırları içinde kalan Amasra Taşkömürü İşletme Müesseseleridir (URL 1). Bu çalışmada sadece Kozlu beldesinde yer alan Kozlu İşletmesinden kaynaklanan yüzey hareketleri incelenmiştir. Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesi, Zonguldak ilinin 8 km batısında, ilin kıyı şeridinde yer almaktadır (Şekil 1). Üretim

çalışmaları -200 m ile -630 m derinlikleri arasında değişen galerilerde aktif bir şekilde sürdürülmektedir (Can vd, 2011).



Şekil 1. Çalışma alanı Kozlu madeni, Zonguldak Optik görüntü Google Earth)

3. SAR İNTERFEROMETRİ (InSAR) YÖNTEMİ

Modern bir jeodezi ölçme tekniği olan InSAR, yer yüzeyindeki günlük ya da yıllar süren değişimleri mm hassasiyetinde bir doğrulukla güvenilir şekilde ölçebilmektedir (Gens ve van Genderen, 1996). Çeşitli etkenler sonucu ile oluşan yer kabuğu hareketlerinin saptanmasında diferansiyel interferometri adı verilen DInSAR tekniğinden yararlanır. Diferansiyel SAR interferometri tekniği, bakış doğrultusu boyunca meydana gelen küçük ölçekli hareketlerin ölçümü için kullanılır. Uydu görüntüleri ile tekrarlı geçiş interferometri yöntemi kullanılarak iki görüntü alımı arasında oluşan zemin hareketi, iki görüntünün faz farkı hesaplanarak üretilen interferogram görüntüsü ile elde edilir (Gens ve van Genderen, 1996).

Bu teknik, deprem araştırmaları (Çakır vd., 2005), heyelan (Squarzoni, 2003) ve madencilik (Deguchi vd., 2007) alanlarında başarı ile kullanılmıştır. Ancak toplanılan SAR veri tarihlerinde gözlemlenen alanda faz korelasyonun az olduğu durumlarda uygun görüntü çiftleri oluşturulamamakta ve uzun sürede yavaş hızda meydana gelen yüzey deformasyonlarının sağlıklı bir şekilde izlenmesi zorlaşmaktadır. Görüntü çiftlerinin analizini etkileyen başlıca parametreler yörünge, geometrik dik baz uzunlukları, zamansal değişim, topografya, hava koşullarıdır. Bu güçlüklerin azaltılması amacıyla çok zamanlı alınan görüntüler kullanılarak PSI yöntemi geliştirilmiştir (Ferretti vd., 2001).

Bu çalışmada StaMPS yazılımının PSI yöntemi uygulanmıştır (Hooper vd. 2007). Bu yöntem, faz bilgisinin mekanda, yüksek korelasyona sahip olduğu pikselleri seçmektedir. Öncelikle görüntüler arasından bir tanesi referans (master) – ana görüntü – olarak seçilir ve diğer tüm görüntüler bu ana görüntü ile işleme alınarak interferogramlar oluşturulur. Ana görüntü (master) genellikle diğer görüntülerle yüksek korelasyon oluşturacak şekilde, zamansal, geometrik ve Doppler frekansı değerleri esas alınarak seçilir. Oluşturulan her interferogramdaki her bir radar çözünürlük hücresi aşağıdaki bileşenlere sahiptir:

$$\Phi = \Phi_{\text{topo}} + \Phi_{\text{def}} + \Phi_{\text{atm}} + \Phi_{\text{orb}} + \Phi_n \quad (1)$$

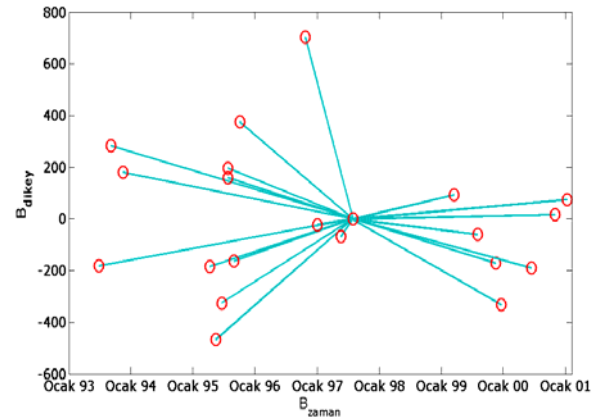
Bu eşitlikte Φ iki görüntü arasındaki faz farkı olmak üzere, Φ_{def} deformasyon, Φ_{topo} SYM den ileri gelen artık faz, Φ_{def} bakış doğrultusu boyunca oluşan yer değiştirmeden ileri gelen faz değişimi, Φ_{atm} iki görüntü arasındaki atmosfer – hava koşullarına – bağlı faz gecikme farkı, Φ_{orb} orbit – yörünge – hatasından dolayı oluşan artık faz ve Φ_n saçılım, termal farklılıklar, görüntü eşleştirmeden dolayı oluşabilecek hatalar gibi gürültü bileşenleridir. Ferretti vd. (2001) tarafından tanımlanan genlik dağılım indeksi D_A , σ_A standart sapma ve μ_A genlik değerlerinin ortalaması olmak üzere $D_A = \sigma_A/\mu_A$ eşik değeri kullanılarak aday PS noktaları seçilir. Daha sonra her bir pikseldeki fazın sabitliği kestirilerek PS noktaları belirlenir.

Kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile mevcut topografya arasındaki artık hata Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) görüntüsü (~90 m) kullanılarak belirlenmiştir. Yüksek hassasiyete sahip yörünge bilgileri (URL 2) kullanılarak yörünge hatası belirlendikten sonra

faz çözümü (phase unwrapping) işlemi geçekleştirilir. Bu yaklaşımda deformasyon zamanda ve mekanda korelasyona sahipken, atmosfer ise sadece mekânsal korelasyona sahiptir. Gürültü ise hem zamanda hem mekanda dekorelasyona sahiptir. Zamansal ve mekânsal filtreler uygulanarak deformasyon fazı, atmosfer ve gürültü fazlarından ayrılır.

Arıkan vd., (2010) Batı Anadolu Menderes bölgesinde tektonik hareketlerin izlenmesinde, Hooper vd., (2007) aktif volkan alanında, Yen vd., (2011) deprem kaynaklı yüzey hareketlerinin incelenmesinde StaMPS PSI yöntemini başarı ile uygulamışlardır.

Zonguldak'ta kömür madeni kaynaklı yüzey hareketlerinin incelenmesi için ESA'ya ait SLC formatındaki 21 adet ERS 1 ve 2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Hooper vd. (2007) 12 interferogramın PS analizi için yeterli olduğunu göstermişlerdir. Zonguldak'ı kapsayan en fazla görüntü sağlayan veriler 27 Mayıs 1993 ve 10 Ocak 2001 tarihleri arasında alınmıştır. 30 Temmuz 1997 tarihli veri ana görüntü seçilerek DORIS yazılımı (Kampes vd., 2003) ile 20 interferogram oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. 19970730 ana görüntü ile oluşturulan InSAR çiftleri ve baz uzunlukları

Ana görüntü ile oluşturulan görüntü çiftleri ile bu çiftlere ait zamansal ve dikey baz uzunlukları Tablo 1. de yer almaktadır. Bu çalışmada kullanılan ERS görüntüleri düşey-düşey (VV) polarizasyona sahiptir ve alçalan (descending) yörüngede alınmışlardır. Oluşturulan görüntü çiftleri arasında maksimum dikey baz uzunluğu 821 m, zamansal fark ise yaklaşık 4 yıl kadardır. Haziran 1993'ten Ocak 2001'e kadar Kozlu bölgesinden 5.3 milyon ton kömür üretilmiştir. řu anda TTK'nin Kozlu biriminden aktif olarak kömür

çıkarılmaktadır. Aynı zaman aralığı için çökme miktarı görüntü alım doğrultusu boyunca mm/yıl olarak belirlenmiştir.

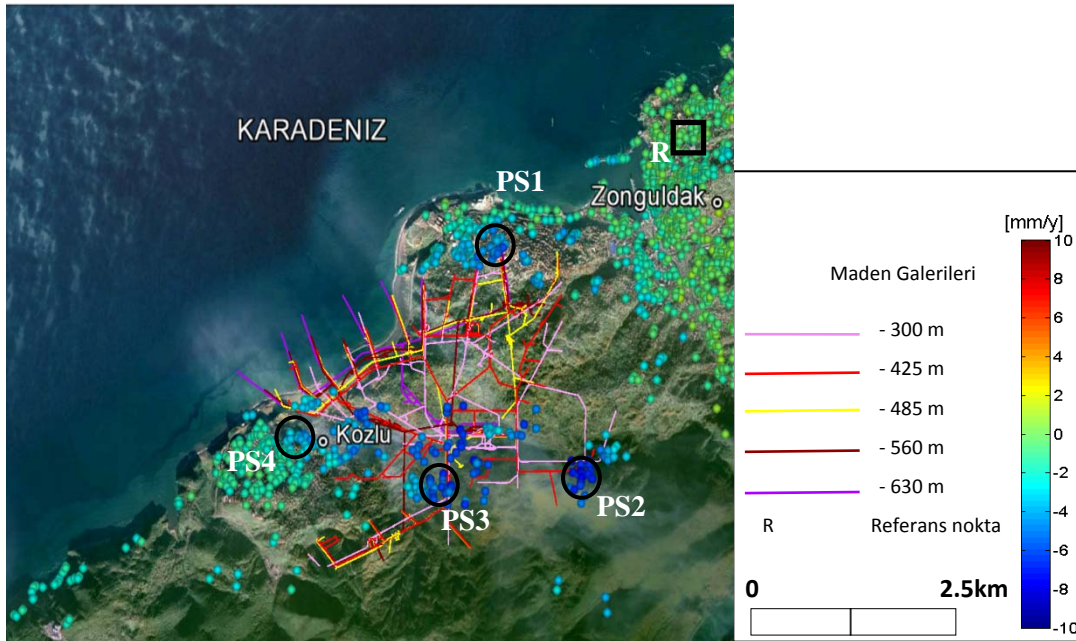
Tablo 1. ERS görüntü çiftlerine ait baz uzunlukları

No	Uydu	Tarih	B _{zaman} (gün)	B _{dikey} (m)	B _{Dopp} (Hz)
1	ERS-1	19930627	1494	-183	429.25
2	ERS-1	19930905	1424	282	403.25
3	ERS-1	19931114	1354	180	423.55
4	ERS-1	19950516	806	-467	446.11
5	ERS-1	19950620	771	-326	442.75
6	ERS-1	19950725	736	197	450.39
7	ERS-1	19951003	666	376	428.34
8	ERS-2	19950726	735	159	172.50
9	ERS-2	19950830	700	-164	168.46
10	ERS-2	19951004	665	821	156.70
11	ERS-2	19961023	280	704	159.50
12	ERS-2	19970101	210	-22	201.76
13	ERS-2	19970521	70	-69	176.09
14	ERS-2	19970730	0	0	0
15	ERS-2	19990317	-595	94	257.30
16	ERS-2	19990804	-735	-59	150.89
17	ERS-2	19991117	-840	-170	56.49

18	ERS-2	19991222	-875	-332	131.97
19	ERS-2	20000614	-1050	-189	-350.85
20	ERS-2	20001101	-1190	17	-140.36
21	ERS-2	20010110	-1260	75	-150.23

Çalışma alanı olan Kozlu'da StaMPS yazılımı PSI uygulaması sonucunda 1114 PS noktası belirlenmiştir (Şekil 3) (Hooper, 2009). PS noktaları, referans alınan sabit noktaya göre bağlı olarak hızı hesaplanmıştır (Şekil 3).

Maksimum çökme miktarı 7.5 mm/yıl olarak bulunmuştur. PS noktalarının çoğunluğu yerleşim alanlarında, kıyılarda, liman üzerinde ve maden galerilerinin bulunduğu alanlar üzerinde tespit edilmiştir. Kozlu'nun güneyinde yer alan ve daha çok bitki örtüsüyle kaplı alanlarda ise PS noktası elde edilememiştir. Bunun en önemli nedeni C-bandının bitki örtüsü üzerinde geçirgenliğinin sınırlı olmasıdır. Kıyı çizgisi boyunca elde edilen noktalarda da çökmeler gözlenmiştir. Doğu'da kalan Zonguldak merkezinde ise tasman hareketi gözlenmemiştir.



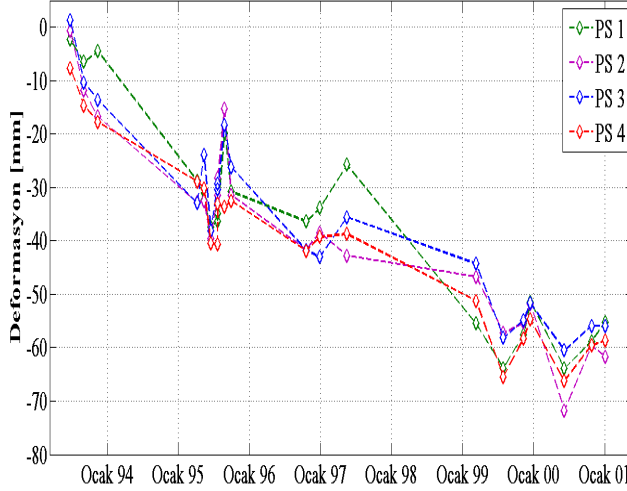
Şekil 3. Bakış doğrultusu boyunca meydana gelen çökmelere ait hız vektörleri (Optik görüntü Google Earth)

Ayrıca ERS-SAR görüntülerinin zaman aralığında 1994 ve 1998 yıllarına ait veri yer almamaktadır. Bu durum görüntüler arası korelasyonun düşmesine neden olan diğer bir sebeptir. 1993 ile 2001 yılları arasındaki

deformasyonun nasıl geliştiğini gözlemlemek için PS noktalarının zamansal analizi yapılmıştır.

Bölge üzerinden dört adet PS noktası seçilmiş ve bu noktaların zaman serileri oluşturulmuştur. 7.5 yıllık zaman sonucunda oluşan toplam

deformasyon miktarı ~60 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4). Bunun dışında, batıda kıyı çizgisi boyunca elde edilen noktalarda da çökmeler gözlenmiştir. Doğu'da kalan Zonguldak merkezinde ise tasman hareketi gözlenmemiştir.



Şekil 4. Tasman alanında seçilen PS noktalarına ait deformasyon değerleri

4. SONUÇLAR

Kozlu maden alanı Türkiye'de ki en eski yeraltı kömür madeni çıkartılan bölgedir ve hala aktif bir şekilde madencilik faaliyetleri devam etmektedir. Günümüze dek pek çok tasman meydana gelmiş ve yerleşim yerleri deformasyondan dolayı kullanılamaz hale gelmiştir.

Bölgedeki tasmana ait ölçümler nivelman ve GPS gibi klasik jeodezi yöntemlerle farklı çalışmalarda ortaya konmuştur (Sezer vd., 1992, Akçın vd., 2010, Can vd., 2011). Ancak bunlar seyrek ölçüm noktaları içeren çalışmalardır ve bu noktalar zamanla kaybolmaktadır. Bu nedenle de gözlemler kısa zaman aralığı için zemin hareketi değerini vermektedir. PSI çalışmalarında ise bir alana dağılan nokta sayısı daha sık ve düzenlidir. Bu sebeple alansal çözünürlük yüksek olup geniş alanları kapsayan küçük yer hareketleri uzun zaman aralığı içinde rahatlıkla ölçülebilmektedir. Zonguldak bölgesinde daha önce yapılmış DInSAR çalışmaları da yer almaktadır. Bu çalışma ile aynı dönemi kapsayan 1995 yılına ait 1 çift JERS görüntüsü ile yapılan çalışmada Kozlu'da 204 mm/132 gün deformasyon, ayrıca Üzümez ve Karadon'da da 130 mm/132 gün deformasyon gözlenmiştir (Kutoglu vd., 2010). Bunun dışında 2005-2006 arası alınmış 15 Radarsat görüntüsü ile Kozlu'da 44 mm/yıl deformasyon ve 2006 yılına ait 1 çift PALSAR ile

30-40 mm/46 gün deformasyon gözlenmiştir. DInSAR yöntemi dışında 2005-2006 arası ölçülmüş 3 GPS ile: 61 mm/yıl ve 2009-2010 arası ölçülmüş GPS ile 11-104 mm/yıl deformasyon gözlenmiştir (Akçın vd., 2010, Can vd., 2011).

Bu çalışmayla şehir alanında gerçekleşen deformasyonun yıllık gelişimi izlenmiştir. PSI ile uzun bir zaman dilimi ele alındığı için ortaya çıkan deformasyon deseninin gelişim hızı mm/yıl olarak belirlenmiştir. Zaman serisi oluşturularak toplam zemin hareketi miktarı ölçülmüştür. Yaklaşık 40 km² lik çalışma alanında ortalama 27.8 PS/km² nokta gözlenmiştir. 1993 ve 2001 yılları arasında ~60 mm tasman belirlenmiştir. Bölgedeki yeraltı kömür madenciliğinin aktif olması ve yeni galerilerin açılacak olması bölgede tasman riskini artırmaktadır. Bölgedeki çökmeler açısından birer risk unsuru olan yerleşimlerin varlığı bu alanlarda bulunmaları dolayısıyla insan hayatı ve maddi kaynak olarak büyük bir tehlike altındadır. PSI yöntemin deformasyonu mekânsal ve zamansal olarak tanımlamasıyla etkin ve kullanışlı bir yöntem olduğu gösterilmiştir. Gelecek çalışmada şehir alanı dışında kalan maden alanlarının çevreye verdiği etki incelenecek ve jeolojik açıdan irdelenecektir.

Sonsöz

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi 28-05-03-02 ve Hollanda Hükümeti Huygens Bursu tarafından desteklenmiştir, kullanılan ERS 1-2 verileri ESA tarafından CAT-1 6543 no'lu proje ile sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akçın H., Kutoğlu H.S., Kemaldere H., Deguchi T., Köksal E. (2010). **Monitoring Subsidence Effects in The Urban Area Of Zonguldak Hardcoal Basin Of Turkey by Insar-GIS Integration**. Natural Hazards & Earth System Sciences, 10, 1807-1814.
- Arıkan M., Hooper A., Hanssen R. (2010). **Radar Time Series Analysis over West Anatolia**. European Space Agency (Special Publication) ESA SP-677.
- Buyurgan Ş. (1980). **Zonguldak Havzasındaki Tasman Hasarları ve Kentin Geleceği**, Türkiye 2. Kömür Kongresi, 251-267, Zonguldak 12-16 Mayıs.

- Can E., Kuşçu S., Mekik C. (2011). **Determination of Underground Mining Induced Displacements Using GPS Observations in Zonguldak-Kozlu Hard Coal Basin.** International Journal of Coal Geology, doi:10.1016/j.coal.2011.08.006.
- Çakır Z., Akoglu A.M., Belabbes S., Ergintav S., Meghraoui M. (2005). **Creeping along the Ismetpaşa section of the North Anatolian Fault (Western Turkey): Rate and extent from InSAR.** Earth and Planetary Science Letters, 238, 225-234.
- Deguchi T., Kato M., Akçın H., Kutoğlu S. (2007). **Monitoring of Mining Induced Land Subsidence Using L and C Band SAR Interferometry.** Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2007, 2122-2125, Barcelona, Spain.
- Düzgün H.S.B. (2005). **Analysis of Roof Fall Hazards and Risk Assessment for Zonguldak Coal Basin Underground Mines.** International Journal of Coal Geology, 64, 104-115.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001). **Permanent Scatterers in SAR Interferometry.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39 (1), 8-20. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38 (5), 2202-2212.
- Guéguen Y., Deffontaines B., Fruneau B., Al Heib M., de Michele M., Raucoules D., Guise Y., Planchenault J. (2009). **Monitoring Residual Mining Subsidence of Nord/Pas-De-Calais Coal Basin from Differential and Persistent Scatterer Interferometry (Northern France).** Journal of Applied Geophysics, 69, 24-34.
- Hooper A., P. Segall, H. Zebker (2007). **Persistent Scatterer InSAR for Crustal Deformation Analysis, with Application to Volcán Alcedo, Galápagos.** J. Geophys. Res., 112, B07407, doi:10.1029/2006JB004763.
- Jiang L., Lin H., Ma J., Kong B., Wang Y. (2011). **Potential of Small-Baseline SAR Interferometry for Monitoring Land Subsidence Related to Underground Coal Fires: Wuda (Northern China) Case Study.** Remote Sensing of Environment 115, 257-268.
- Kampes B.M., Hanssen R., Perski Z. (2003). **Radar Interferometry with Public Domain Tools.** FRINGE Workshop 01-05 December, Frascati, Italy.
- Kutoğlu H.Ş. Akçın H., Kemaldere H., Deguchi T., Kato M. (2010). **İllegal Madencilik Faaliyetlerinin Dinsar İle Belirlenmesi.** HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 101-12. THBTK Özel Sayı.
- Mei S., Poncos V., Froese C. (2008). **Mapping Millimeter-Scale Ground Deformation Over the Underground Coal Mines in the Frank Slide Area, Alberta, Canada, Using Spaceborne InSAR Technology.** Canadian Journal of Remote Sensing, 34 (2), 113-134.
- Sezer A.I., Degirmenci N., Aratoglu T., Uzunkavaklı Y. (1992). **Kozlu Bölgesinde 1974 -1979 Yılları Arasındaki Tasman Ölçümlerinin Etki Fonksiyonuyla Mukayesesi.** Türkiye 8. Kömür Kongresi, 99-112.
- Squarzonni C., Delacourt C., Allemand P. (2003). **Nine Years of Spatial and Temporal Evolution of the La Valette Landslide Observed by SAR Interferometry.** Engineering Geology, 68, 53-66.
- Türer D., Nefeslioğlu H.A., Zorlu K., Gökçeoğlu C. (2008). **Assessment of Geo-Environmental Problems of the Zonguldak Province (NW Turkey).** Environmental Geology, 55 (5), 1001-1014.
- Yen J.Y., Lu C.H., Chang C.P., Hooper A., Chang Y.H., Liang W.T., Chang T.Y., Lin M.S., Chen K.S. (2011). **Investigating Active Deformation in the Northern Longitudinal Valley and City of Hualien in Eastern Taiwan Using Persistent Scatterer and Small-Baseline SAR Interferometry.** Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 22, No. 3, 291-304,
- URL 1: TTK Genel Müdürlüğü, 2010 Yılı Faaliyet Raporu, 2011.
<http://www.taskomuru.gov.tr/file/2010.pdf>
- URL 2: ERS ve ENVISAT Hassas Orbit Bilgileri.
<http://www.deos.tudelft.nl/ers/precorbs/>