

# İNSAR VERİLERİNİN MADENCİLİKTE KULLANIMI

Zeynep SERTABIPOĞLU<sup>1</sup>, Ümit ÖZER<sup>1</sup>, Hakan TUNÇDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Araş.Gör., İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul, [zeycert@istanbul.edu.tr](mailto:zeycert@istanbul.edu.tr)

<sup>1</sup>Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul, [uozer@istanbul.edu.tr](mailto:uozer@istanbul.edu.tr)

<sup>2</sup>Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, [tdemir@itu.edu.tr](mailto:tdemir@itu.edu.tr)

## ÖZET

*Madencilikten kaynaklanan yüzey deformasyonlarının izlenmesi ve bu oluşumun yeryüzünde yaratacağı etkinin kestirilerek önlemler alınması gerekir. Geniş bir zamana yayılmış yer değiştirme gözlemleriyle yapılan geleneksel ölçüm yöntemleri, gözlemlerin yapılacağı alanın topoğrafik yapısı, şehirleşme oranı, bitki örtüsü gibi elverişsiz olabilecek faktörler ve sonuçların elde edilmesindeki zamansal gecikmeler nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda, özellikle çok geniş alanlarda, herhangi bir ön bilgi gerektirmeksizin yüzey deformasyonlarını ve hareketlerini belirlemeye olanak sağlayan ve uydu verilerini kullanan yöntemler ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu yöntemlerden biri olan İnSAR (Yapay Açıklı Radar İnterferometresi) kısa zaman dilimleri içerisinde her türlü hava koşulunda- gece ve gündüz- uydulardan periyodik olarak aldığı verileri değerlendirerek şev veya tasman hareketlerini analiz etmeye olanak tanınması bakımından oldukça kullanışlı ve hızlı sonuçlar vermesi açısından da oldukça önemlidir.*

*Açık işletme madenciliği sonucu işletme şevlerinde veya yerleşim yerinde açılan yeraltı madenlerinde oluşan ve tünel inşaatı sonucu yeryüzünde meydana gelen deformasyonların kritik değere ulaşıp ulaşmadığının gözlemlenmesi her zaman önemli bir sorun olmuştur. Bu çalışmada bu soruna etkin çözüm sağlayan İnSAR yönteminin günümüze kadar olan gelişimi ve Türkiye ve Dünyadaki uygulamaları anlatılmaktadır.*

**Anahtar Sözcükler:** İnSAR, Madencilik, Şev deformasyonları, Tasman

## ABSTRACT

### USE OF INSAR DATA IN MINING

*Monitoring surface deformations induced from mining activities and taking measures against the deformations is a statutory necessity. Conventional long term monitoring techniques are insufficient due to unfavorable factors such as topographic structure and flora of the observation, urbanization rate, and time delays in obtaining results. Therefore, in recent years, the methods, enable to determine the surface deformations and movements using satellite data without requiring any prior knowledge especially in large areas, have begun to come to the fore. InSAR (Synthetic Aperture Radar Interferometry) which is one of these methods, is very important due to enable to analyze and giving useful and fast results of slope displacement and subsidence by evaluating the data periodically received from satellites within short periods of time both of day and night in all weather conditions.*

*Monitoring the critical value of the deformations occurred at slopes in open-pit mining or deformations arise from underground mines and tunnel boring activities at the settlement has always been a serious problem. In this study, the development and national and international applications of InSAR method which provides a solution to this problem is reported.*

**Keywords:** InSAR, Mining, Slope deformation, Subsidence

## 1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliğinde, madencilik aktiviteleri sırasında büyük miktarda kütlelerin maden yataklarından ve damarlarından kazılmak suretiyle alınarak yer üstüne çıkarılması sonucu yer altında büyük boşluklar meydana gelir ve kazı alanından yeryüzüne doğru yavaş bir hareket tetiklenir. Bu hareketin etkisiyle zamanla yeryüzünde çok geniş bir alanı etkileyen çukurlar (tasmanlar) oluşabilir (Kutoğlu vd., 2009). Tasman etkisi altında kalan yüzey alanının genişliği ve bu alandaki tasman miktarı, yüzey ve tasman oluşum merkezi arasındaki jeolojik yapıya ve üretim panosunun, derinlik, genişlik, uzunluk, kalınlık ve eğim açısı gibi geometrik özelliklerine bağlıdır (Shadbold, 1977). Tasman, madencilik sektörünün çevresel açıdan en yaygın ve bazen tehlikeli etkilerinden biridir. En ileri madencilik teknikleri kullanılsa bile, tasman yine de oluşabilir, arazi yüzeyindeki binalar, yollar ve diğer insan yapılarına zarar verebilir (Lazecký, 2010).

Açık ocak işletmelerinde ise, maden sahasında yapılan dekapaj kazısı, nakliyat, kömür veya cevher üretimi, atık yönetimi vs. gibi tüm madencilik faaliyetlerinin başarılı ve güvenli bir şekilde gerçekleşebilmesi için şev stabilitesi hayati derecede önemlidir. Açık ocakta olası bir şev kayması, yakın alandaki yapılara, insanlara ve ekipmanlara tehlike yaratabilir. Ayrıca maden üretiminin aksamasına ve üretim maliyetinin artmasına neden olabilir (Tunçdemir vd., 2013; Lilly vd. 2000; Kido vd., 2000; Bromhead, 1992).

Madencilik çalışmalarında, insanların ve yapıların güvenliği ve üretimin devamlılığını sağlamak için yeryüzünde meydana gelen deformasyonların izlenmesi ve bu deformasyonların kritik risk değerine ulaşip ulaşmadığının gözlemlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, yüzey deformasyonlarının yeryüzünde yaratacağı oluşumun sık aralıklarla periyodik gözlemler yoluyla incelenerek sahaya ait jeomekanik özelliklere göre özgün davranış modellerinin oluşturulması gereklidir (Akçın vd, 2008).

Bu bağlamda genel hatlarıyla madencilik aktiviteleri sonucu oluşan yeryüzü deformasyon sorunları ;

- Kentsel alan altında gerçekleştirilen madencilik uygulamalarında meydana gelen tasman,
- Kentsel alanlarda tünel kazısı sonucu meydana gelen tasman,
- Kırsal alanda nehir, göl ya da yoğun yer altı su kaynaklarının altında yapılan madencilik faaliyetleri sonucu oluşan tasman,
- Çözelti madenciliğinde oluşan kuyular ve domlar etrafında yüzeyde oluşan tasman,
- Denizaltı madenciliği sonucu sahilde ve kıyılarda oluşan tasman,
- Petrol ve doğalgaz çıkarımı sonucu oluşan tasman,
- Yer altı sığ madencilik faaliyetleri sonucu oluşan heyelan ve kütle hareketleri,
- Açık işletme madenciliğinde, işletme şevleri ve çevresinde ve döküm sahalarında oluşan deformasyonlar,

şeklinde özetlenebilir (Ge vd.,2001; Hirose vd.,2001; Akçın vd., 2006; Wang vd.; 2004).

Geleneksel olarak maden sahalarında madencilik faaliyetleri sonucu oluşan yeryüzü deformasyon ölçümleri nivelman, teodolit, takeometre, GPS alıcıları ve fotogrametrik kameralar gibi ölçüm yöntemleri ve aletleri kullanılarak yapılmaktadır. Ancak, geleneksel ölçüm yöntemleriyle yapılan gözlemler, gözlem yapılan alanın topoğrafik yapısı, şehirleşme oranı, bitki örtüsü gibi elverişsiz olabilecek faktörler ve sonuçların elde edilmesindeki zamansal gecikmeler nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Sürekli topoğrafik ölçümlerin yapılamadığı zaman dilimlerinde açık ocaklarda şev kaymaları, yeraltı madenciliği yapılan sahalarında ise ani tasmanların oluşma riski söz konusudur. Bu nedenle, son yıllarda, özellikle çok geniş alanlarda, herhangi bir ön bilgi gerektirmeksizin yüzey deformasyonlarını ve hareketlerini belirlemeye olanak sağlayan ve uydu verilerini kullanan yöntemler ön plana çıkmaya başlamıştır. Radar tekniğinin uydularda kullanılmasıyla ortaya çıkan ve mikrodalga frekanslarda çalışan SAR (Synthetic Aperture Radar) başka bir deyişle yapay açıklıklı radar tekniği her türlü hava koşulunda gece ve gündüz yüzeyin geometrik ve elektriksel özelliklerini görüntü olarak alabilir. SAR sistemleri sağladıkları yüksek çözünürlük sayesinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptirler Ancak hedefin konumunu sadece iki boyutlu koordinat sisteminde belirleyebilir. Buna karşın, örtüşen SAR görüntüleri arasındaki faz farklarını kullanan İnSAR (İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar) teknolojisinin gelişimi, üç boyutlu arazi modelinin oluşturulabilmesine olanak sağlamıştır. Kısaca, İnSAR (Yapay Açıklı Radar İnterferometresi) yöntemi kısa zaman dilimleri içerisinde her türlü hava koşulunda gece ve gündüz uydulardan periyodik olarak aldığı verileri değerlendirerek şev veya yer hareketlerini analiz etmeye olanak tanınması bakımından oldukça kullanışlı ve hızlı sonuçlar vermesi açısından da oldukça önemlidir (Jarosz, ve Wanke, 2003; Çetin, 2010; Akçın vd., 2007; Rosen vd., 1998).

İnSAR tekniği, temel olarak Yapay Açıklı Radar (SAR) görüntüleri arasındaki faz farklarından faydalanır. İnSAR yönteminde çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılarak iki farklı zamanda çekilmiş radar görüntüsü hassas bir şekilde üst üste getirilir. Görüntüyü oluşturan piksellerde kayıtlı olan faz değerleri bir diğer görüntünün faz değerinden çıkartılır. Böylelikle, yeni bir görüntü ortaya çıkar bu görüntüye “interferogram” denilmektedir. İnterferogramdaki faz bilgisi kullanılarak çalışılan bölgeye ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulabilir, santimetre bazında yüzey deformasyonları belirlenebilir. Örneğin; depremler, volkanlar, buzullar ve heyelanlar gibi olaylar ile yüzeyde oluşan hareketler sentetik açıklık radar interferometrisi ile ölçülerek haritalanabilmektedir (Çakır, 2003; Çetin, 2010; Doğru ve Özener, 2011).

İnSAR ilk olarak Ayın topoğrafyasını çıkarmak üzere yeryüzüne konumlandırılmış radarlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İnterferometrik SAR yönteminin yeryüzünün hareketlerini ölçmeye yönelik yararlı bir araç olduğunu ortaya koyan ilk çalışmalar ise Gabriel ve ark.(1989) ve Massonet ve Thierry (1993), tarafından yapılmıştır. Gabriel vd., (1989) çalışmalarında, Kaliforniya'nın Imperial Vadisi'nde arazinin seçmeli olarak sulanması sonucu oluşan yer kabarmasını Seasat uydusunun L-bandı radar sisteminin görüntüleri ile incelemiştir. Massonet ve Thierry (1993) ise Kaliforniya'da 1992'de meydana gelen Landers depremine ait, Avrupa Uzay Ajansı'ndan elde edilen ERS görüntülerini kullanarak oluşturdukları interferogramla yer değişimleri belirlemiştir (Canaslan, 2010). Bu tarihlerden itibaren tekniğin değişik uygulamalar için de geliştirildiği bir sürece girilmiştir. İnSAR tekniği temelinde geliştirilen D-İnSAR (Diferansiyel İnterferometrik Sentetik Açıklıklı Radar), uydudan alınan aynı sahaya ait iki görüntüden oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli'ni (SYM) kullanarak topoğrafik etkileri telafi eden (topoğrafik faz farkının çıkarılması ile) ve böylelikle küçük yüzey değişimlerini ortaya koyan bir yöntemdir (Bingqian vd., 2013; Hongdong vd., 2011). Ancak, D-İnSAR teoride geniş alanlardaki yüzey deformasyonunu tespit etmede milimetrik hassasiyete sahipken, pratikte atmosferik gecikme, topoğrafya ve

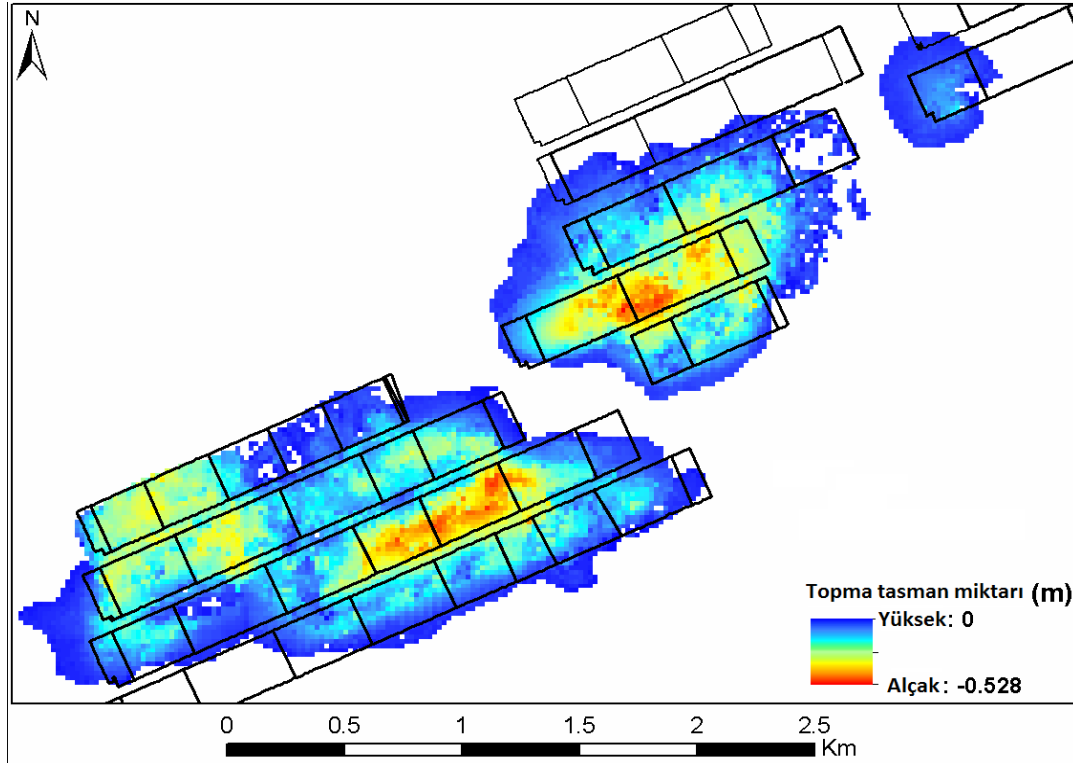
yörüngesel hataların etkisi altındadır (Wright vd., 2001). Ayrıca görüntüler arasındaki zamansal fark arttıkça da görüntülerin birbirleriyle olan benzeşimleri (coherence) azalmakta ve dolayısıyla yer değiştirimler hassas bir şekilde belirlenmemektedir. İnSAR tekniğinden elde edilen sonuçların, GPS verileri ile birlikte yorumlanmasıyla doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir (Şengün, 2010; Doğru ve Özener, 2011; Ge vd., 2001). Ferretti ve ark. (2001) nın geliştirdiği Sabit Saçıcılar interferometri (Persistent Scatterer Interferometry - PSInSAR) tekniği ve Berardino (2002) nun geliştirdiği Küçük Baz Altküme (Small Baseline Subset- SBAS) İnSAR tekniği bir çok görüntü kümelerini kullanarak bir zaman serisi içerisinde D-İNSAR yöntemine göre çok daha hassas sonuçlar verebilmektedir (örn; D-İNSAR tekniği ile bulunan 10-20 mm deformasyon ölçümlerinin doğruluğu PSInSAR ile 2-3 mm kadar artmıştır (Ferretti vd.,2001).

Bu çalışmada ise, açık işletme madenciliği sonucu işletme şevlerinde oluşan veya yerleşim yerinde açılan yeraltı madenlerinde ve tünel inşaatı sonucu yeryüzünde meydana gelen deformasyonların belirlenmesi için kullanılan İnSAR yönteminin Türkiye ve dünyadaki uygulamaları anlatılmaktadır.

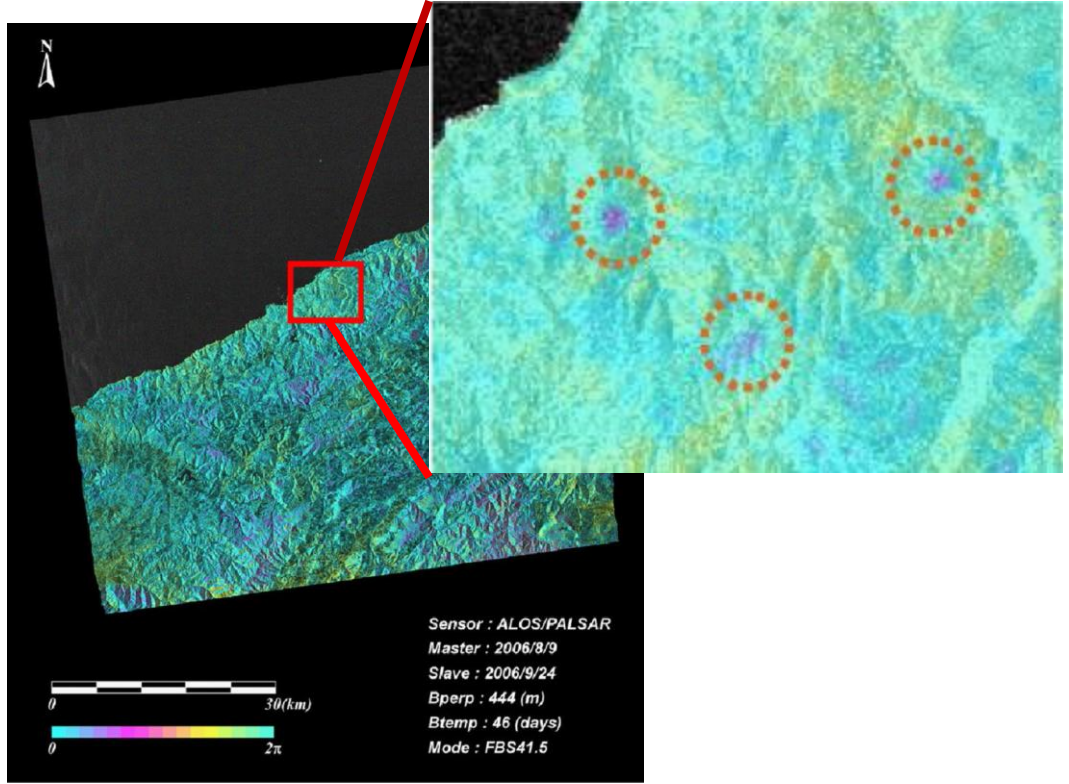
## 2. Yeraltı Maden ve Tünel Kazılarında Tasmanın İzlenmesine Yönelik İnSAR Çalışmaları

Maden sahalarındaki ilk araştırmalar, yeraltı kömür madenlerinden kaynaklanan yüzeydeki tasmanın izlenmesi için İnSAR yöntemi kullanılmıştır (Stow ve Wright, 1997; Perski ve Krawczyk, 2000). İnSAR temelinde geliştirilen D-İNSAR tekniği kullanarak maden sahalarında oluşan tasmanı başarıyla gözlemleyen başka çalışmalarda vardır (Fan vd., 2011; Hu vd., 2009; Raucolues vd., 2007). Örneğin; Engelbrecht ve Inggs (2013) çalışmalarında güney afrikadaki Witbank yeraltı kömür ocağındaki madencilik faaliyetleri sırasında yeryüzünde oluşan tasmanlar Ağustos 2007 – Ekim 2010 tarihleri arasında 3 yılı aşkın bir süre boyunca izlenmiş ve aktif madencilik alanları ile ilişkili santimetre bazındaki yüzey deformasyonlar saptanmıştır(Şekil 1).

Ülkemizde tasman oluşumuna verilebilecek en iyi örnek Zonguldak sınırları içeresindeki Türkiye'nin en büyük kömür maden alanı olan, Zonguldak Taşkömürü Havzasındadır. Bu havzada yoğun yeraltı madenciliği faaliyetleri nedeniyle yeryüzünde meydana gelen tasmanları Akçın ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmada D-İNSAR yöntemiyle izlemişler ve en büyük deformasyon miktarını 4.5 ayda 204 mm olarak tespit etmişlerdir (Şekil 2). Kutoğlu ve ark. (2009) çalışmalarında Zonguldak Taşkömürü havzasındaki illegal madencilik faaliyetlerini 1995 yılına ait JERS1 SAR görüntü çiftinden yararlanarak D-İNSAR tekniğiyle belirlemişlerdir. Benzer bir çalışma da Ji ve ark. (2011) Çin'deki illegal bir demir madenin faaliyetlerini D-İNSAR yöntemiyle belirlemişlerdir.

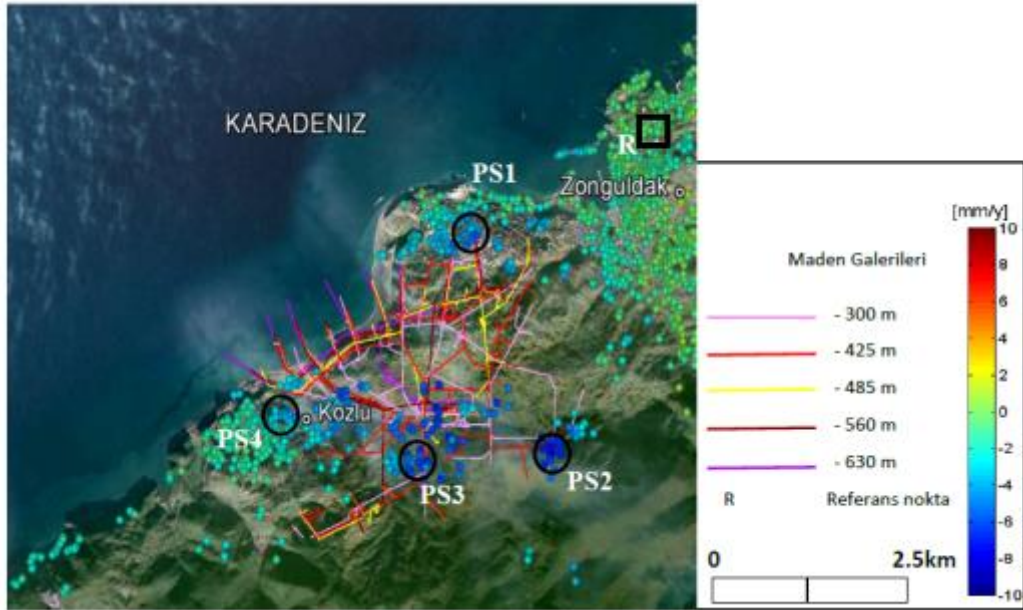


Şekil 1. Ağustos 2007 – Ekim 2010 tarihleri arasındaki toplam yer değiştirme miktarı (Engelbrecht ve Inggs, 2013'den revize edilerek)



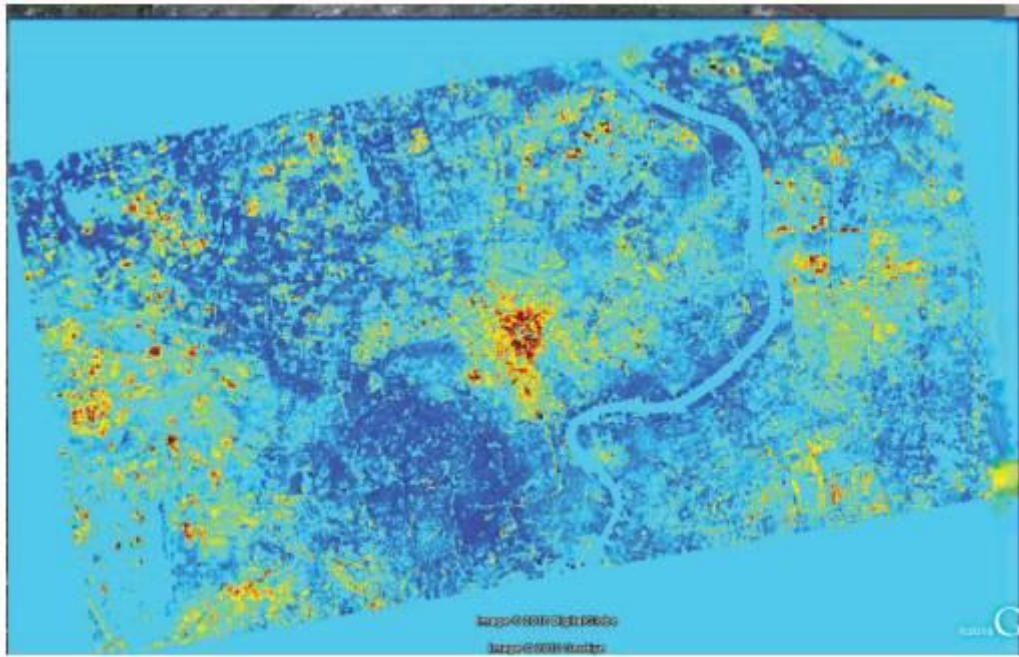
Şekil 2. Ağustos 2006- Eylül 2006 tarihleri arasında Zonguldak Havzasında oluşan tasman bölgeleri (Akçın vd., 2009'den revize edilerek)

Maden çalışmalarından kaynaklanan tasmanın belirlenmesinde Sabit Saçıcılar İnterferometri (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. Abdikan ve ark.(2013) çalışmalarında PSI yöntemi ile Zonguldak maden alanında meydana gelen tasmanın belirlenmesini amaçlamışlardır. 1993-2001 yılları arasında alınmış ERS SAR uydü görüntüleri kullanılarak uzun zaman aralığında meydana gelen deformasyon değerini elde etmişlerdir (Şekil 3).



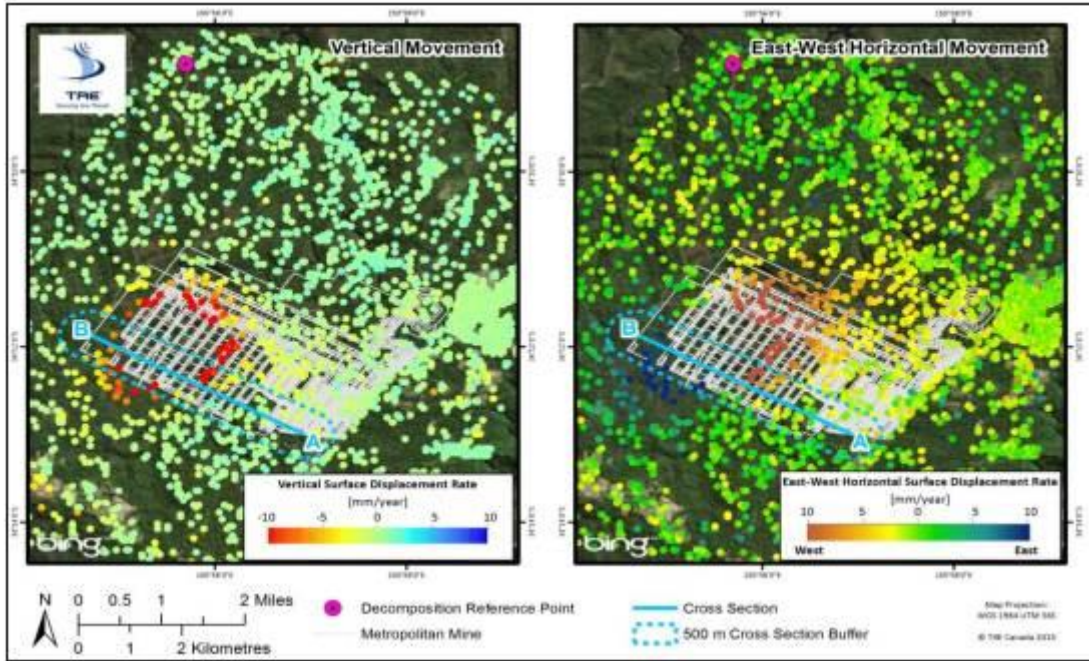
Şekil 3. Bakış doğrultusu boyunca meydana gelen çökmelere ait hız vektörleri (Abdikan vd., 2013)

Wang ve ark. (2011), yüksek çözünürlüklü SAR verileri yardımıyla (yaklaşık 2m) Sabit Saçıcılar interferometri (Persistent Scatterer Interferometry - PSI) yöntemi kullanarak Shanghai'daki 286 istasyonlu ve 420 km uzunluğundaki yeni metro hatlarının (2020 yılında 887km uzunluğuna ulaşacak) tünel kazısı sonucu yeryüzünde oluşan tasmanları milimetrik hassasiyetle belirlemişlerdir (Şekil 4).

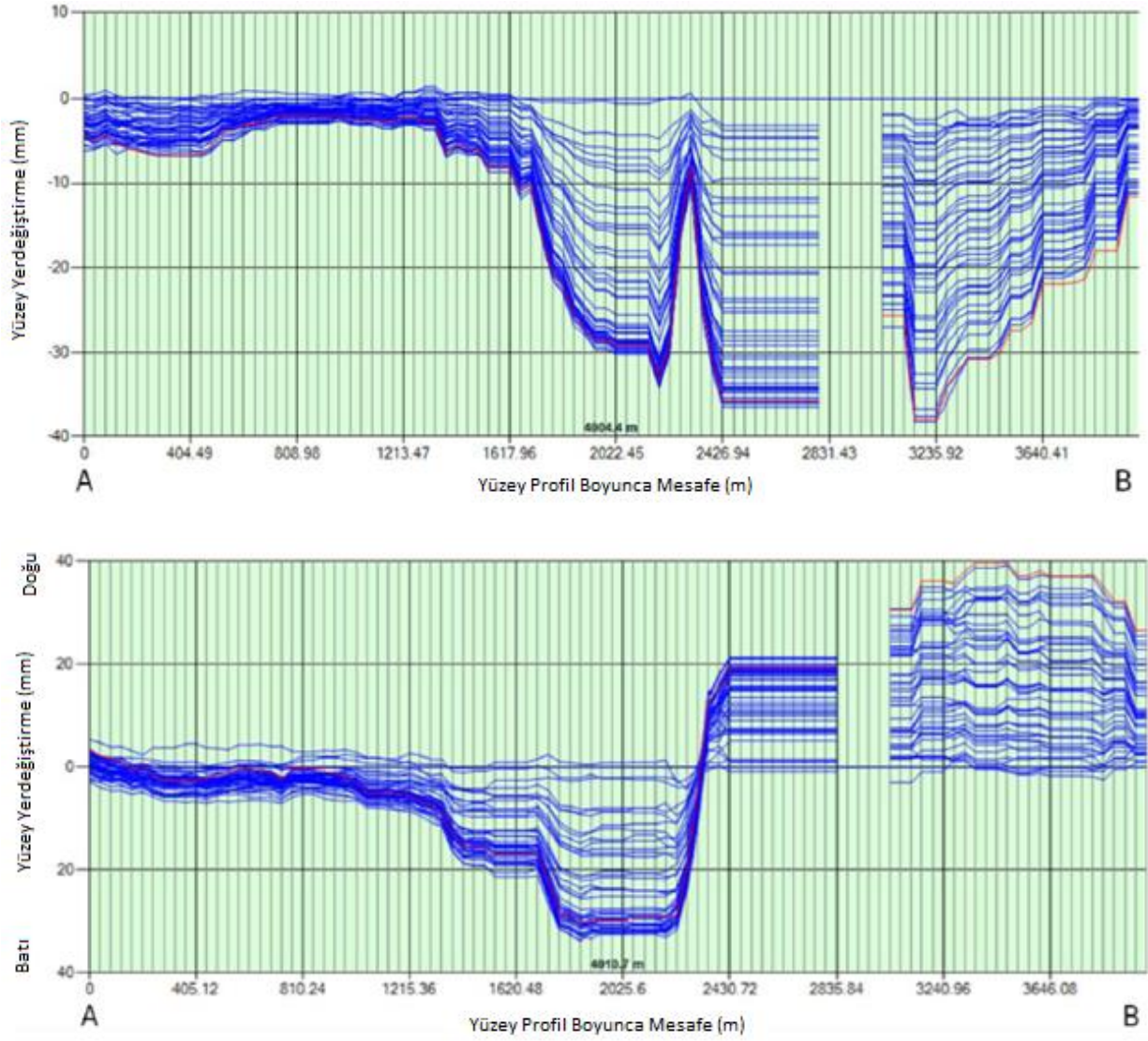


Şekil 4. Yüzey Deformasyonunun değişimi (kırmızı: -20mm/yıl(kırmızı) dan 5mm/yıl (mavi) 'ye değişimi (Wang vd., 2011).

Morgan ve ark. (2013) Avusturalya, New Wales şehrinde bulunan yeraltı kömür madenindeki üretim süresince ve sonrasında şehir merkezinde meydana gelen tasmanı, Haziran 2006 ve Ağustos 2010 tarihleri arasında ait ENVISAT görüntüleri yardımı ile gelişmiş çoklu-görüntü İnSAR yaklaşımı olan SqueeSAR™ algoritması (Ferretti vd., 2011) kullanarak yüksek yoğunlukta ölçüm noktası ve milimetrik hassasiyetle hem yatay hem de düşey yönde analiz etmişlerdir (Şekil 5,6).



Şekil 5. Düşey (solda) ve yatay (sağda) yönde ölçülen yüzey deformasyon oranları (mm/yıl) (Ferretti vd., 2011).



Şekil 6. Düşey (Üstte) ve yatay (Altta) yönde yüzey profilinin değişen kesitleri (Ferretti vd., 2011 'den revize edilerek).

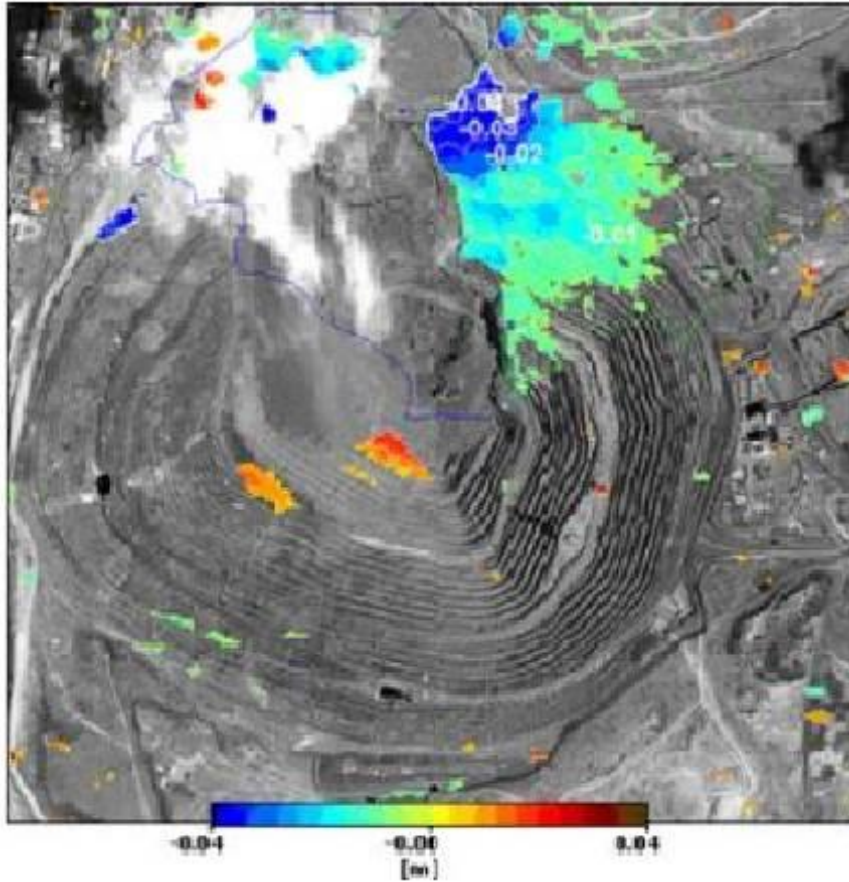
### 3. Açık İşletme Madenciliği Sonucu İşletme Şevlerinde Oluşan Deformasyonların İzlenmesine Yönelik İnSAR Çalışmaları

Açık ocak madenlerindeki şevlerde ve atık sahalarındaki yer değişimleri İnSAR verileri kullanarak sürekli olarak gözlemek geleneksel ölçüm yöntemlerine göre kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilir (Şekil 7). Bu sayede, potansiyel kayma riski olabilecek şevler belirlenebilir ve maden sahasının güvenliği artırılabilir (Ferretti, 2014). İnSAR verileri kullanarak açık ocak maden sahaslarında oluşan yer değişimleri başarıyla gözlemleyen çalışmalar vardır (Tunçdemir vd, 2013; Akcay vd., 2013, Mora vd., 2013, Jarosz, ve Wanke, 2003; ESA, 2006).

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) 2006 yılında Güney Afrika'da bulunan ve Afrika'nın en büyük açık ocağı olan Palabora bakır ocağının şevlerinde meydana gelen yer değişimleri 2004 yılı boyunca 24 günde bir alınan uydu görüntüleriyle başarılı bir şekilde gözlemlemiştir (Şekil 8). Mora ve ark. (2013) İspanya'nın kuzey-batısında yer alan açık ocak kömür madeni üretim şevlerindeki yer değişimleri 2008-2012 yıllarına ait TerraSAR-X uydusundan alınan görüntülerden yararlanarak Sabit Saçıcılar İnterferometri (Persistent Scatterer Interferometry – PSInSAR) yöntemi ile başarıyla gözlemlemiştir. Ayrıca belirlenen yer değişim değerlerini (yer değişim miktarı birkaç ay içinde 10m) kullanarak şev stabilite analizi yapmışlardır. Ülkemizdeki uygulamalara örnek olarak, Tunçdemir ve ark. (2013), Akcay ve ark. (2013)'ün Bursa- Orhaneli'deki Türkiye Kömür İşletmesine (TKİ) ait açık ocak kömür işletmesi ve çevresinde oluşan yerdeğişimleri İnSAR verileriyle başarılı bir şekilde gözlemlemeleri verilebilir.



Şekil 7. Açık ocaklardaki yer değişimleri gösteren haritalar (Ferretti, 2014'ten revize edilerek).



Şekil 8. Palabora bakır ocağında meydana gelen yer değişimlerin İnsAR ile belirlenmesi (ESA, 2006).

#### 4. SONUÇLAR

Ülkemizde özellikle madencilik sektörü açısından fazla bilinmeyen ve uygulanmayan, zamanla halka açık ücretsiz yazılımların ortaya çıkması ve bilgisayar donanımlarında meydana gelen hızlı gelişmeler sayesinde, yeryüzü hareketlerinin kısa aralıklarla sürekli olarak incelenmesinde yaygın bir şekilde kullanılır hale gelmiş olan İnSAR yönteminin özetlendiği bu çalışma, sektöre ışık tutacak ve değindiği kaynaklar itibarı ile ilgililere yol gösterecek ve olası şev kayması ve tasman risklerinin önceden hızlı bir şekilde belirlenmesi konusunda da dikkat çekici olacaktır.

Ülkemizde, özellikle açık ocaklarda son yıllarda meydana gelen ve olumsuz sonuçlar doğuran şev kaymaları düşünüldüğünde, şevlerin kısa zaman aralıklarında sürekli izlenmesi ve İnSAR yöntemi ile risk bölgelerinin belirlenmesi şev kaymalarının önenebilirliği açısından önemlidir. Yersel ölçümlerin ve sonuçlarının değerlendirilmesinin uzun zaman aldığı özellikle büyük ölçekli açık ocak maden işletmelerinde İnSAR yönteminin kullanılması önerilir.

#### KAYNAKLAR

**Abdikan, S., Arıkan M., Şanlı, F., Çakır, Z., Kemaldere, H., 2013,** Zonguldak Maden Alanlarında Meydana Gelen Yer Yüzeyi Hareketlerinin İnSAR Zaman Serileri ile Belirlenmesi, *Harita Dergisi, Sayı 149*,6 syf CDROM.

**Akcaç O., Akyılmaz O., Tuncdemir H., Guclu E., Yilmazturk S., 2013,** Monitoring and Evaluation of The Continuous Surface Changes on Orhaneli Open-Pit Mine, *5. TerraSAR-X / 4. TanDEM-X Science Team Meeting, DLR – Oberpfaffenhofen*, 4 syf. CDROM.

**Akçın, H., Deguchi, T., Kutoğlu, Ş. H., 2006,** Monitoring Mining Induced Subsidence Using GPS and İnSAR, *XXIII International FIG Congress, Munich, Germany*.

**Akçın, H., Kutoğlu, H. Ş., Deguchi, T., 2007,** Monitoring Coal-field subsidence by Integrating GPS and SAR, *GIM International Journal*, Volume 21, Issue 11.

**Akçın, H., Kutoğlu, Ş. H., Deguchi, T., 2008,** Madencilikten Kaynaklanan Yeryüzü Deformasyonlarının Uzay Radar İnterferometresi- İnSAR ile belirlenmesi, *Türkiye 16. Kömür Kongresi, Zonguldak*, syf: 121-129.

**Akçın, H., Kutoğlu, H. Ş., Kemaldere, H., Deguchi, T., 2009,** Zonguldak Taşkömürü Havzasında Düşey Hareketlerin İzlenmesine Yönelik İnSAR Çalışmaları, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 7 syf. CDROM.

**Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., Sansosti, E., 2002,** A New Algorithm for Surface Deformation Monitoring Based on Small Baseline Differential SAR Interferograms, *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 40 (11), pp. 2375- 2383.

**Bingqian, C., Kazhong, D., Hongdong, F., Ming, H., 2013,** Large-Scale Deformation Monitoring in Mining Area by D-İnsar and 3D Laser Scanning Technology Integration, *International Journal of Mining Science and Technology*, 23 pp.555–561.

**Bromhead, E. N., 1992,** The Stability of Slopes, *Blackie Academic & Professional*, 2 ed., London, UK, pp. 1-377.

**Canaslan, F., 2010,** İnSAR Yöntemiyle Düşey Yönlü Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi: Konya Örneği, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya*.

**Çakır, Z., 2003.** Analysis of The Crustal Deformation Caused by The 1999 Marmara Earthquake Sequence Using Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Istanbul Technical University - Institute of Science and Technology Institut de Physique du Globe de Paris*, pp. 116 s.

**Çetin, E., 2010,** 1 Ekim 1995 Dinar Depremi Faylanma Parametrelerinin İnSAR ve Sismoloji Verileriyle Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*.

**Doğru, A ve Özener, H., 2011,** GPS ve İnSAR ile Yer Değiştirmelerin Belirlenmesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 5 syf, CDROM.



**Engelbrecht, J., Inggs, M., 2013**, Differential Interferometry Techniques on L-Band Data Employed for the Monitoring of Surface Subsidence Due to Mining, *South African Journal of Geomatics*, Vol. 2, No. 2, 12 syf, CDROM.

**ESA (European Space Agency), 2006**, Radar Satellite Service Checks Stability of Africa's Largest Artificial Hole, <http://phys.org/news9527.html> (15.08.2014).

**Fan, H. D., Deng, K. Z., Ju, C.Y., Zhu, C. G., Xue, J.Q., 2011**, Land Subsidence Monitoring by DInSAR Technique, *Min Sci Technol*, 21(6) pp. 869–72.

**Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., 2001**. Permanent Scatterers in SAR Interferometry, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 39, pp.8-20.

**Ferretti, A., Fumagalli, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., Rucci, A., 2011**, A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR™, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 99, pp. 1–11.

**Ferretti, A., 2014**, Satellite InSAR Data Reservoir Monitoring from Space, *2014 EAGE Publications*, Netherlands, pp. 1-159.

**Gabriel, A. K., Goldstein R.M., Zebker, H.A., 1989**, Mapping Small Elevation Changes Over Large Areas--Differential Radar Interferometry, *J.Geophys. Res.*, Volume 94, Issue B7, pp. 9183–9191.

**Ge, L., Rizos, C., Hans, s., Zebker, H., 2001**, Mining Subsidence Monitoring Using The Combined InSAR And GPS Approach, *10th FIG International Symposium on Deformation Measurements*, California, USA, 10 pp. CDROM.

**Gong, H.L., Zhang, J. F., Gong, L. X., 2007**, A Feasible Approach for Improving Accuracy Of Ground Deformation Measured by D-InSAR, *J China Univ Min Technol*; 17(2), pp. 262–6.

**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, pp. 24–34.

**Hirose K., Maruyuma, Y., Mudohardono, D., Efendi, A., Abidin, Z. H., 2001**, Land Subsidence Detection Using JERS-1 SAR Interferometry, *22nd Asian Conference on Remote Sensing*, Singapore, 10 pp, CDROM.

**Hongdong, F., Kazhong, D., Chengyu, J., Chuanguang, Z., Jiqun, X., 2011**, Land Subsidence Monitoring by D-InSAR Technique, *Mining Science and Technology (China)*, 21, pp. 869–872.

**Hu, Z. L., Li, H. Q., Du, P. J., 2009**, Case Study On The Extraction of Land Cover Information From The SAR Image of A Coal Mining Area, *Min Sci Technol*, 19(6), pp.829–34.

**Jarosz, A., Wanke, D., 2003**, Use of InSAR for Monitoring of Mining Deformations, *Proceedings of FRINGE 2003 Workshop*, ESA/ESRIN, Frascati, Italy, 6 pp. CDROM.

**Ji, M.W., Li, X. J., Wu, S. C., Gao, Y. T., Ge, L. L., 2011**, Use of SAR Interferometry for Monitoring Illegal Mining Activities: A Case Study At Xishimen Iron Ore Mine. *Min Sci Technol*, 21(6), pp. 781–6.

**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*, pp. 257–268.

**Kido, K., Yoshinaka, R., Hagiwara, K., Sasaki, K., 2000**, Stability Analysis and Deformation Behavior of Large Excavated Rock Slopes, *An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering*, Melbourne, Australia.

**Kutoğlu, H. Ş., Akçın, H., Kemaldere, H., Deguchi, T., Kato, M., 2009**, İlegal Madencilik Faaliyetlerinin DinSAR İle Belirlenmesi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 6 syf. CDROM.

- 
- Lazecký, M., Jiráňková, E., Böhmová, D.,** 2010, Usage of InSAR Techniques to Detect and Monitor Terrain Subsidence Due to Mining Activities, *GeoScience Engineering*, Volume LVI, No.4, pp. 32-49.
- Lilly, P., Xu, D., Walker, P.,** 2000, Stability and Risk Assessment of Pit Walls at GHP Iron Ore's Mt Whaleback Mine, *An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering*, Melbourne, Australia.
- Massonnet, D., Thierry, R.,** 1993, Radar Interferometry: Limits and Potential, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31, pp. 455-464.
- 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), pp. 113-134.
- Mora, O., Alvarez, I., Amor Herrera, E.,** 2013, Slope Stability Study in Open Pit and Underground Mines by Means of Forensic Analysis and Radar Interferometry, *Slope stability 2013, Brisbane, Australia*, pp. 1021- 1032.
- Morgan, J., Raval, S., Macdonald, B., Falorni, G., Iannacone, J.,** 2013, Application of Advanced InSAR Techniques to Detect Vertical And Horizontal Displacements, *Slope stability 2013, Brisbane, Australia*, pp. 829-840.
- Perski, Z., Krawczyk, A.,** 2000, Application of Satellite Radar Interferometry on the Areas of Underground Exploitation of Copper Ore in LGOM – Poland, *11th International Congress of the International Society for Mine Surveying*, Krakow, Poland, Vol.2, pp. 209-218.
- Raucoules, D., Colesanti, C., Carnec, C.,** 2007, Use of SAR Interferometry for Detecting and Assessing Ground Subsidence. *C R Geosci*, 339(5), pp. 289–302.
- Rosen, P. C., Werner, E., Fielding, S., Hensley, S., Buckley, P., Vincent,** 1998, Aseismic Creep Along The San Andreas Fault Northwest On Parkfield, California, Measured By Radar Interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, 25, pp. 825–828.
- Shadbold, C. H.,** 1977, Mining Subsidence – Historical Review And Stateoftheart, Proc. Conf. Large Ground Movements, UWIST, Cardiff. Ed. J. D. Geddes, Pentech Pres, London Plymouth, pp.705-748.
- Stow, R. J., Wright P.,** 1997, Mining Subsidence Land Surveying by SAR Interferometry, *3rd ERS SYMPOSIUM Florence 97 - Abstracts and Papers*, <http://earth.esa.int/symposia/papers/> (01 Eylül 2014).
- Şengün, Y. S.,** 2010, İnSAR Ölçülerinin Doğruluk Araştırılması, *Harita Dergisi*, Sayı 143, syf. 19-25.
- Tunçdemir, H., Güçlü, E., Akçay, Ö., Akyılmaz, O., Yılmaztürk, S., Motagh, M.,** 2013, A Methodology for Deformation Control with InSAR : Orhaneli Open Pit Mine Case Study, *23<sup>rd</sup> International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, Turkey, Antalya, pp. 211-217.
- Wang, C., Zhang, H., Shan, X., Ma J., Liu, Z., Chen S., Lu, G, Tang, Y., Guo, Z.,** 2004, Applying SAR Interferometry for Ground Deformation Detection in China, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 70, No. 10, pp. 1157-1165.
- Wang, Z., Perissin, D., Lin, H.,** 2011, Subway Tunnels Identification Through Cosmo-SkyMed PSInSAR Analysis in Shanghai, *2011 IEEE International Geoscience and Remote Symposium (IGARSS 2011)*, pp. 1267- 1270.
- Wright, T., Parsons, B., and Fielding, E.,** 2001, Measurement of Interseismic Strain Accumulation Across The North Anatolian Fault by Satellite Radar Interferometry, *Geophys.Res. Lett.*, 28, pp.2117-2120.