

KONYA KAPALI HAVZASI'NDA DÜŞEY YÖNLÜ YÜZEY DEFORMASYONLARININ İNTERFEROMETRİK YAPAY AÇIKLIKLI RADAR YÖNTEMİ İLE İZLENMESİ

F. Canaslan^a, A. Üstün^b

^a Selçuk Üniversitesi Hadim Meslek Yüksekokulu Hadim/Konya, fcanaslan@selcuk.edu.tr,

^b Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kampüs Konya, austun@selcuk.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: InSAR, zemin çökmesi, diferansiyel interferogram, yeraltı suyu çekilmesi, Konya Kapalı Havzası

ÖZET:

Son yıllarda interferometrik yapay açıklıklı radar tekniği, yeryüzünde meydana gelen deformasyonların incelenmesinde yeni bir araç olarak kullanılmaktadır. InSAR tekniği radar görüntülerini kullanarak yüksek çözünürlüklü topografya bilgisi (sayısal arazi modeli) üretmesinin yanı sıra yüzey deformasyonlarının belirlenmesinde de jeodeziye yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Özellikle alansal olarak deformasyonun yüzeye nasıl dağıldığının incelenmesi açısından InSAR tekniği, GPS ve nivelman gibi klasik jeodezik tekniklere karşı önemli bir avantaja sahiptir. Bu çalışmada Konya Kapalı Havzasında meydana gelen zamana bağlı yükseklik değişimlerinin InSAR yöntemiyle incelenmesi amaçlanmıştır. Haziran 2006 ve Haziran 2009 tarihleri arasında ENVISAT uydusuna ait 11 radar görüntüsü Avrupa Uzay Ajansı'ndan temin edilmiş ve çalışma bölgesindeki deformasyonları incelemek üzere görüntü çiftleri oluşturulmuştur. Görüntü çiftleri üzerinden olası deformasyonları daha net yakalamak amacıyla kısa baz uzunlukları göz önüne alınarak görüntü çiftlerinde seçim yapılmış ve yaklaşık 500 m'nin altında kalan dik baz uzunluklarıyla 16 görüntü çifti analiz işlemine tabi tutulmuştur. Delft üniversitesinde geliştirilen DORIS yazılımıyla değerlendirilen 16 çiftten 5'inde yüksek uyum (coherence) yakalanmış ve deformasyonlar bu interferogramlar yardımıyla yorumlanmıştır. Sonuçlar, belirli bölgelerde (yeraltı su kaynaklarının yoğun kullanıldığı yerleşim alanları ve tarımsal sulama alanlarında) zemin çökmelerinin varlığını açık bir şekilde göstermektedir. Daha önce Konya Kapalı Havzasının farklı bir kesiminde GPS ve nivelman çalışmalarıyla ortaya çıkarılan çökmelerin, havzanın diğer kesimlerinde de geliştiği bu çalışma ile belirlenmiştir.

MONITORING OF LAND SUBSIDENCE IN KONYA CLOSED BASIN USING INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR TECHNIQUE

F. Canaslan^a, A. Üstün^b

^a Selcuk University Hadim Vocational High School Hadim/Konya, fcanaslan@selcuk.edu.tr,

^b Selcuk University Faculty of Engineering & Architecture Campus Konya, austun@selcuk.edu.tr

KEYWORDS: InSAR, land subsidence, differential interferogram, groundwater decline, Konya Closed Basin

ABSTRACT:

In recent years, the interferometric synthetic aperture radar (InSAR) technique has been used as a new tool in order to investigate deformations that occur in earth surface. This technique produces a high resolution topography information (digital elevation model) using radar images and also it has brought a new perspective to geodesy for the determination of surface deformations. From the point of view of examining spatial distribution of surface deformations, InSAR has an important advantage against classical geodetic techniques such as GPS and leveling. In this study, it is aimed the detecting of time dependent height changes occurred in Konya Closed Basin based on InSAR technique. Between June 2006 and June 2009, 11 ENVISAT radar images was taken

from the European Space Agency and some image pairs was created to examine the surface deformations within the study area. The short baselines between image pairs was used to distinguish for obtaining high correlation and 16 image pairs that have perpendicular baseline length of below 500 m were subjected to analysis. Five interferograms which were processed with DORIS software developed in Delft University showed high coherence and deformations were interpreted using these interferograms. The results clearly show the land subsidence in the specific regions (intensive use of underground water resources and agricultural irrigation in residential areas). While the previous studies based on GPS and leveling showed land subsidence as point values in Konya Closed Basin's some areas, this study shows that the deformations are still developing in the different parts of Konya Closed Basin.

1. GİRİŞ

Radar interferometre yeryüzünün belli bir kesiminin radar yöntemiyle elde edilmiş iki görüntüsü arasındaki faz farklarını kullanarak haritasının çıkarılmasını sağlayan ölçme tekniğidir. Piksel bazlı faz farklarıyla oluşturulan interferogram, yer ve radar uydusu arasındaki uzaklığın eşyükselti eğrili bir haritasıdır. Söz konusu haritalar radarın bakış yönünde eşsiz bir piksel yoğunluğuna (~ 100 piksel/km²) ve ~ 1 cm'lik doğruluğa sahiptir (Massonnet ve Feigl, 1998). Radar tekniğinin uydularda kullanılmasıyla ortaya çıkan SAR (Synthetic Aperture Radar) başka bir deyişle yapay açıklıklı radar tekniği mikrodalga frekanslarda çalışır. Bu özellik sistemin her türlü hava koşulunda gece ve gündüz yüzeyin geometrik ve elektriksel özelliklerini görüntü olarak alabilecek şekilde çalışmasını sağlar (Rosen vd., 1998).

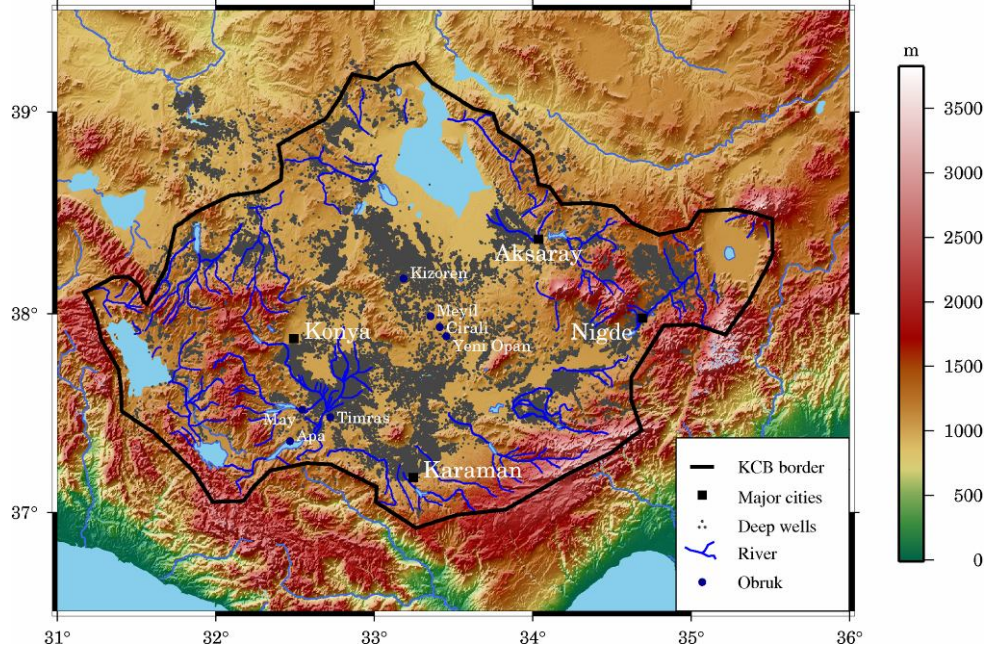
InSAR yardımıyla gerçekleştirilen uygulamalar bilim ve toplumun ilgi alanına giren konulara farklı bir bakış açısı sağlar ve elde edilen bilgi yeryuvarının yapısının ve geçirdiği değişimin anlaşılması açısından çok anlamlıdır. Magmanın yüzey hareketlerinden, plaka hareketlerine ve buz katmanlarının izlenmesine kadar yeryuvarının geometrik görünümünde meydana gelen konumsal ve zamansal değişimin izlenmesinde InSAR büyük avantaj sağlar. GPS gibi noktasal yer değişikliğinin üç boyutlu bileşenlerini ölçemese de InSAR ile elde edilen 20-100 m'lik yüksek piksel çözünürlüğü, uygulamanın çok daha geniş ölçeklerde ve daha detaylı olarak gerçekleştirilmesini sağlar. Veri toplama işinin ilgili bölgede bulunmayı ve yersel çalışmayı gerektirmemesi, bu tekniğin bir diğer önemli avantajıdır. Bu durum sadece ekonomik bir kazanç sağlamakla sınırlı kalmaz, aynı zamanda volkanik bölgeler gibi riskli yerlerde yaşanabilecek güvenlik sınırlarını da ortadan kaldırır.

Bu çalışmada InSAR yöntemi ile Konya Kapalı Havzası'nda yeraltı suyu çekilmesi sonrası olduğu varsayılan yüzey deformasyonları incelenmektedir. Bölgenin belirli bir deformasyon dağılımının ve niteliğinin (büyüklüğünün) incelenmesi hedeflenmektedir. Türkiye'de 2000'li yıllardan itibaren uygulama bulan bu tekniğin uygulamada kullanılması için görüntü seçiminde dikkat edilecek önemli noktalara değinilmiştir. Avrupa Uzay Ajansı'ndan (ESA) sağlanan ENVISAT görüntüleri zemin çökmelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılacaktır. Delft Üniversitesi'nde geliştirilen DORIS yazılımı ile radar görüntü çiftleri arasında interferogramlar oluşturulacak ve bu interferogramlar yardımıyla zemin çökmeleri konumsal ve zamansal ölçekte belirlenmeye çalışılacaktır.

2. DÜŞEY YÖNLÜ YÜZEY DEFORMASYONLARININ InSAR YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

2.1 Çalışma Bölgesi

Konya Kapalı Havzası Anadolu yarımadasının iç kesiminde yaklaşık 62 000 km²'lik bir alanı kapsayan ve Konya, Karaman, Niğde ve Aksaray illerini içine alan Türkiye'nin en büyük kapalı havzasıdır. İç Anadolu'nun tipik iklimsel özelliklerini taşıyan havzanın toprakları düz veya hafif dalgalı topoğrafyada eski göl ve deniz tortulları ile volkanik kayalar üzerinde oluşmuştur. Havzanın Karaman il sınırları içindeki kesiminde ise volkanik kayalarla kaplı Karadağ gibi yükseltiler ve Tersiyer çökeller bulunmaktadır (Göçmez vd., 2004). Kapalı Havzayı güneyden bir yay biçiminde Toros dağları sınırlar. Ovalık iç kesimlerin yüksekliği 850-1000 m arasında değişirken (tüm havzanın yaklaşık %65'i) yükseklikler Toros dağlarında 3900 m'ye kadar çıkmaktadır. Havzayı besleyen su kaynaklarının büyük çoğunluğu Toros dağlarından beslenen akarsular ve yeraltı sularıdır.



Şekil 2.1: Konya Kapalı Havzası (Üstün vd., 2010)

Havza, arazi kullanım özellikleri ve kalitesi yönünden değerlendirildiğinde %48.4'ü sürülebilir tarım arazisi niteliğindedir. Türkiye'deki yıllık çekilebilir yeraltı suyu rezervi 13,66 km³/yıl'dır. Konya kapalı havzasında ise bu oran ülke genelinin %10'una karşılık gelmektedir. Konya kapalı havzasının rezervinin tarımsal sulamada kullanılan kısmının %80'i DSİ olanakları ile sulamaya sunulmakta olup, kalan rezervin %20'si ise kişisel teşebbüsler tarafından kullanılmaktadır. Tarımsal sulamada kullanılan su miktarı ise genelin %70'ine ulaşmaktadır (İşçioğlu ve Hamarat, 2004). Havza, önemli su potansiyeline sahiptir, ancak son yıllarda yağışların azlığı ve bilinçsiz kullanım nedeniyle yeraltı su seviyeleri gittikçe düşmekte, yeraltı suyu rezervleri tükenmekte ve havzadaki şartlar kuraklığa doğru yaklaşmaktadır (Göçmez vd.,2008)

Zemin çökmelerinin izlenmesinde GPS dışında diğer iki yöntem ise hassas nivelman ve InSAR tekniğidir. Ancak KKH gibi genişliği büyük alanlarda yeterli sıklıkta tesis edilmiş nivelman ağının periyotlar halinde ölçülerini yapmak hem ekonomik olmaz hem de çok büyük iş gücü ve zaman gerektirir. Benzer sorunlar aslında GPS ağlarında da vardır. Ancak, uygun biçimde tasarlanmış GPS ağına bu tür uygulamalarda mutlaka gerek vardır, fakat tek başına yeterli değildir. İşte InSAR tekniği burada büyük kolaylık sağlar. Yüzey deformasyonları alansal ölçekte milyonlarca nokta (piksel) ile belirlenmeye çalışılır. Yukarıda yapılan değerlendirmeleri özetlemek gerekirse, Konya Kapalı Havzasında yeraltı suyu çekilmesine bağlı zemin çökmelerinin varlığı GPS uygulaması ile tespit edilmiştir. GPS'nin yetersizlikleri göz önüne alarak zemin çökmelerinin izlenmesi için InSAR tekniğinden de yararlanılmalıdır.

Projede incelenmesi öngörülen temel parametreler, Konya Kapalı Havzasındaki düşey yönlü yer değiştirmeleridir. Burada daha çok çökme olarak ele alınacak yer değiştirme parametreleri, hem konumsal hem de zamansal ölçekte incelenecektir. Gözlem altına alınacak bölge, tüm havza değil, yeraltı suyunun yoğun olarak kullanıldığı alanlardır. Bu çalışmanın temel amacı Konya Kapalı Havzasında yeraltı suyu çekilmesinin sonuçlarından biri olması beklenen düşey yönlü zemin çökmelerinin InSAR (İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar) yöntemiyle belirlenmesidir.

3. ENVISAT ASAR VERİLERİNİN SEÇİMİ VE VERİ İŞLEME ADIMLARI

Görüntü seçiminde, çalışılacak alanın bir kesimini kapsayan görüntüler için uydunun iz (track) ve çerçeve (frame) numaralarına gereksinim vardır. İlk aşamada sınırları kabaca belirlenen alana ait uydu görüntülerinin olup olmadığı, varsa hangi tarihlere ve yörüngelere ait oldukları uygun bir yazılımla araştırılmalıdır. Görüntü seçiminde dikkat edilecek en önemli nokta, görüntülerin alındığı yörüngede farklı geçiş zamanına dik uydu konumları arasındaki uzaklık (baz) değeridir.

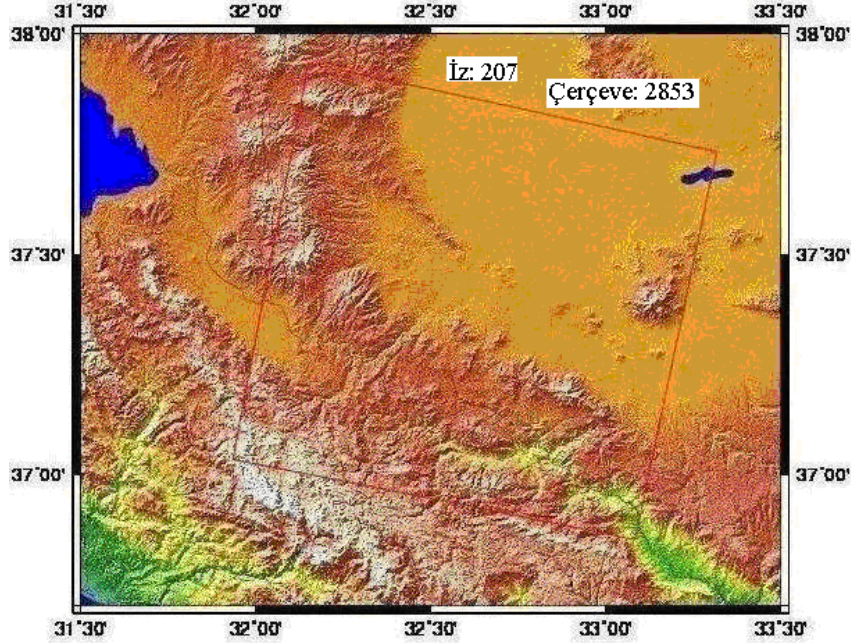
Bu çalışmada izlenecek yöntem ve görüntü araştırması düşey yönlü yüzey deformasyonlarının izlenmesine elverişli olacak şekilde yapılmıştır. Verilerin (SAR görüntülerinin) temini için Avrupa Uzay Ajansı'na (ESA) proje başvurusu yapılmış ve istenen görüntüler bu kurumdan sağlanmıştır. Çalışma kapsamında, 2002'den bu yana interferometrik SAR görüntüsü toplayan ENVISAT uydusuna ait Temmuz 2006 ve Haziran 2009 tarihleri arasında seçilmiş 11 adet ASAR verisi kullanılmıştır. Çizelge 4.1 seçilen görüntüleri ve bunlar arasında oluşturulan görüntü çifti detaylarını matris biçiminde göstermektedir. En az 35 gün aralıklarla seçilen master (birinci) ve slave (ikinci) uydu görüntülerinin (IS2 modunda) karşılaştırılmasıyla piksel bazlı zemin çökmelerinin cm mertebesinde belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma sahası için ENVISAT uydusunun 2002'den sonraki görüntülerinin mevcut olup olmadığı DESCW yazılımıyla araştırılmış ve yaklaşık 11 resim bu çalışmada kullanılmıştır. Uydu görüntülerinden elde edilecek diferansiyel interferogramlar üzerinden havzadaki zemin çökmeleri ve zamana bağlı değişimler izlenmeye çalışılacaktır. İnterferogramların oluşturulması ve değerlendirilmesi amacıyla Delft Üniversitesi'nde geliştirilen DORIS yazılımından yararlanılmıştır (<http://enterprise.lr.tudelft.nl/doris/>). Bu çalışmada dikkate alınacak öncelikli parametreler birincil ve ikincil görüntü arasındaki dik baz uzunluğu ve gün farkıdır.

Çizelge 3.1’de kırmızı ile belirtilen görüntü çiftleri baz uzunluklarına göre değerlendirilmek üzere seçilenlerdir.

11.07.2006	-1068 (35)										
19.09.2006	-312 (105)	756 (70)									
24.10.2006	-12 (140)	1056 (105)	295 (35)								
13.03.2007	-877 (280)	191 (245)	-565 (175)	-865 (140)							
01.04.2008	-776 (665)	292 (630)	-464 (560)	-764 (525)	101 (385)						
15.07.2008	-546 (770)	522 (735)	-234 (665)	-534 (630)	331 (490)	230 (105)					
17.03.2009	105 (1015)	461 (980)	402 (910)	98 (875)	888 (735)	771 (350)	712 (245)				
21.04.2009	-122 (1050)	946 (1015)	187 (945)	-120 (910)	685 (770)	566 (385)	495 (280)	-210 (35)			
26.05.2009	-513 (1085)	555 (1050)	-267 (980)	-501 (945)	364 (805)	263 (420)	33 (315)	-612 (70)	-413 (35)		
30.06.2009	-610 (1120)	458 (1085)	-288 (1015)	-598 (980)	267 (840)	166 (455)	-64 (350)	-635 (105)	-436 (70)	-97 (35)	
ENVISAT ASAR	06.06.2006	11.07.2006	19.09.2006	24.10.2006	13.03.2007	01.04.2008	15.07.2008	17.03.2009	21.04.2009	26.05.2009	

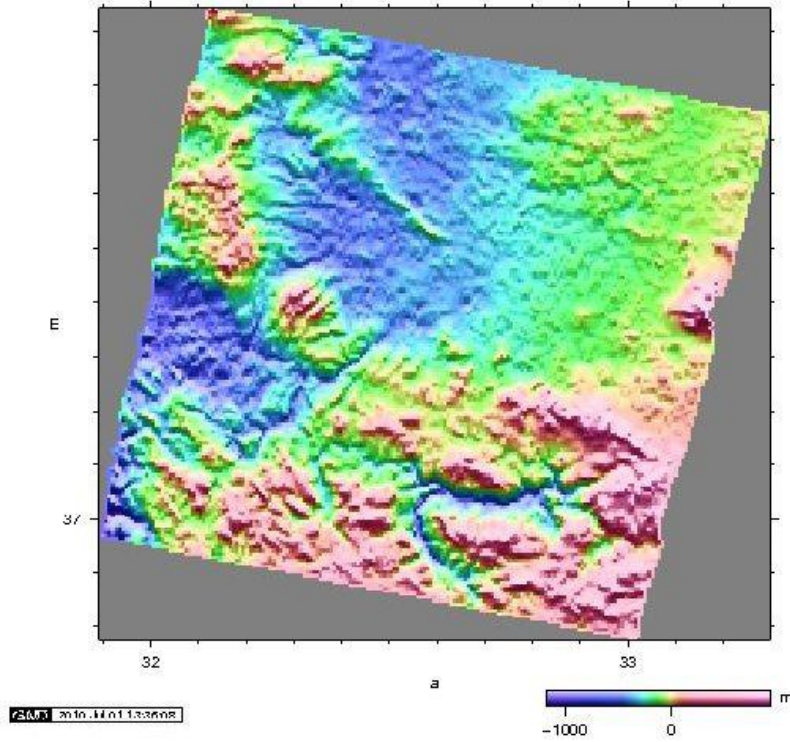
Çizelge 3.1: KKH’ya ait ENVISAT ASAR verilerinin elde edilme tarihleri ile oluşturulan matris. Metre biriminde uydu yörüngeleri arasındaki dik baz uzunlukları, gün olarak zaman farkları (parantez içinde) .

Şekil 3.1, 207 numaralı iz ve 2853 çerçeve numaralı görüntülerin kapsadığı alanın Konya Kapalı Havzası’na göre yerini göstermektedir. Şekilde görülen sayısal arazi modeli oluşturulacak interferogramlardaki topoğrafik etkileri gidermek için kullanılacak SRTM verisinden elde edilmiştir.



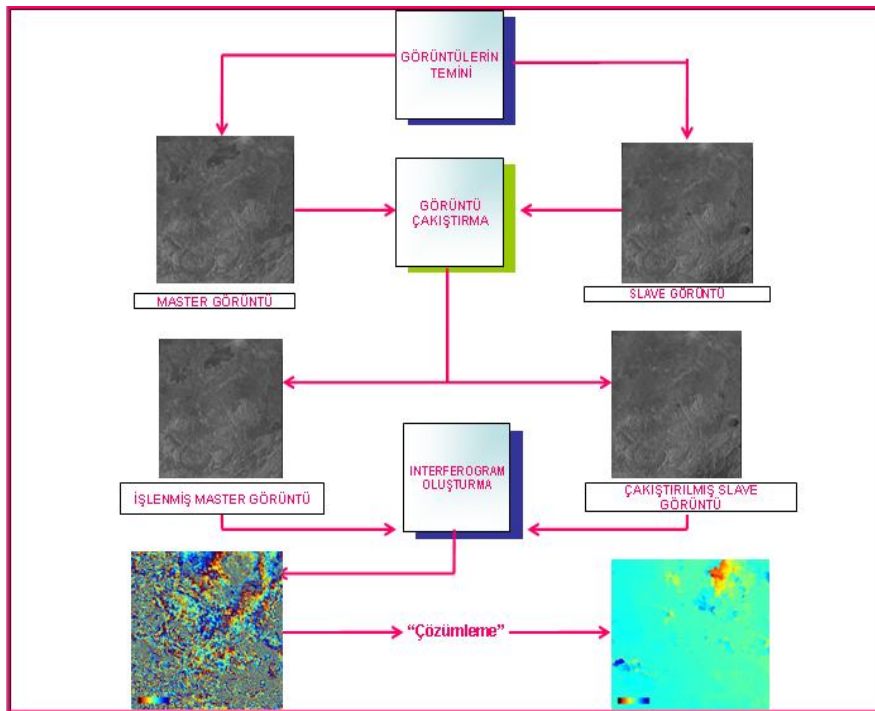
Şekil 3.1: Uygulamanın yapılacağı Envisat ASAR görüntüsünün (iz: 207 ve çerçeve: 2853) sayısal yükseklik modeli üzerindeki konumu.

Bu çalışma için kullanılan ve uygun veri çiftlerinden elde edilen SYM Şekil 3.2' de verilmektedir.



Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan Sayısal Yükseklik Modeli

InSAR uygulamalarında kullanılacak görüntüler işlenmiş (SLC-single look complex) olabileceği gibi işlenmemiş ham halde de temin edilebilir. İşlenmiş görüntüler için interferogram oluşturma Şekil 3.3'de gösterilen işlem adımlarıyla gerçekleştirilir.



Şekil 3.3: InSAR veri işlem akış şeması

İki görüntü arasında geometri veya başka nedenlerle meydana gelebilecek kayıklıkları gidermek için resimlerin birbirine göre hizalanması gerekmektedir. Görüntüler birbirlerine göre hizalandıktan sonra referans görüntüdeki her bir karmaşık değerli pikselin faz bileşeni, diğer görüntüdeki eşlenik faz bileşeninden çıkartılır. Ortaya çıkan sonuç yine bir karmaşık görüntü olup interferogram adını alır. Interferogramın faz değerleri 2π 'nin katları biçimindedir.

İnterferogram oluşturulmasını izleyen diğer aşama filtreleme aşamasıdır. Filtre olarak bu çalışma için Goldstein ve Werner (1998) tarafından geliştirilmiş ağırlıklandırılmış güç spektrumu filtresi kullanılmıştır.

Yeryuvarının geometrik referans yüzeyi elipsoit interferometrik faza etki etmektedir. Etki faz değerlerinden çıkarıldığında uygulanan işlem adımına interferometrik düzleştirme (flattening) denmektedir.

Sonuç interferogramdaki örgeler yerel olduklarından pratik olarak göz önüne alınabilmeleri için çözümüleme (unwrapping) işlemi gerekmektedir. Çözümüleme işleminde daha önce filtrelenmiş olan interferogram için seçilen filtre türü bu işleminin başarıyla tamamlanabilmesi için büyük önem taşımaktadır.

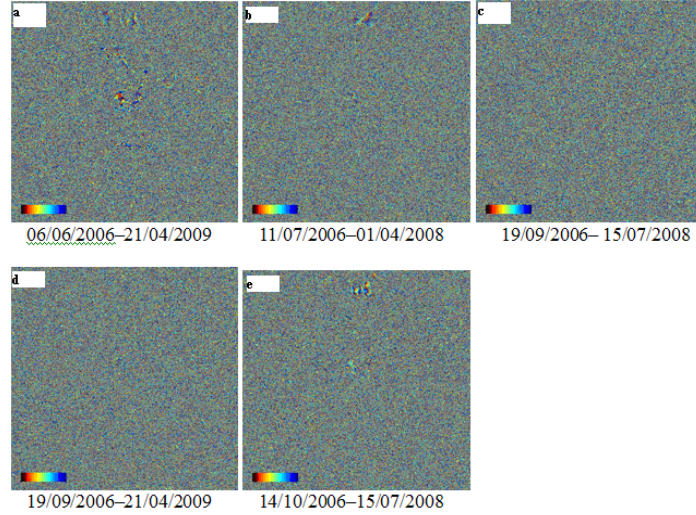
Çözümüleme işleminin de tamamlanmasıyla geriye kalan son işlem adımı sonuç ürünün yer koordinat sistemiyle ilişkilendirilmesidir (Geocoding). Tüm proses boyunca radar antenin bakış yönünde olan interferogram bu işlem ile gerçek (örneğin coğrafi) koordinatlarla ilişkilendirilmiş olur.

4. KONYA KAPALI HAVZASINDA ZEMİN ÇÖKMELERİNİ GÖSTEREN İNTERFEROGRAMLAR

Konya Kapalı Havzası'nda 11 radar görüntüsünden elde edilen 16 interferogram Şekil 4.1-4.4'de verilmektedir. İnterferogramlardaki her örge radarın bakış yönünde yarım dalga boyunu yani 2.83 cm'lik bir yer değiştirmeyi göstermektedir.

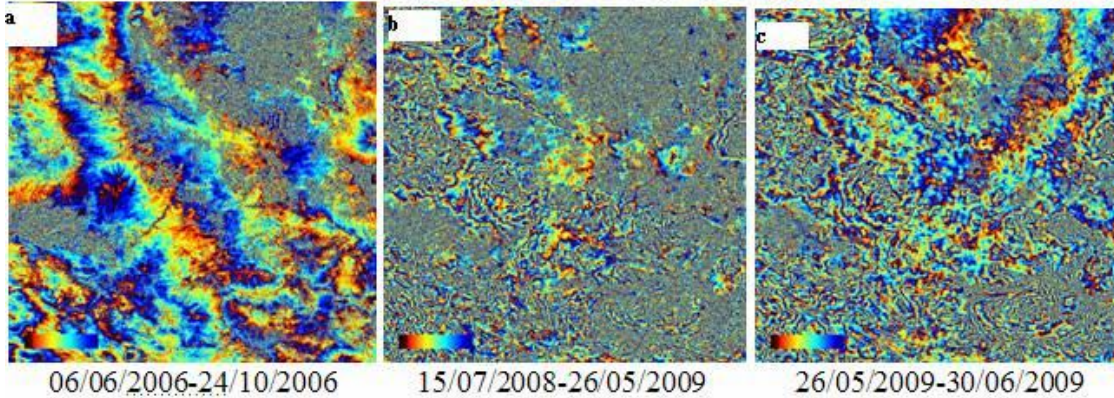
İnterferogramların bazılarında benzeşim düşük olmasına rağmen genelde Konya kent merkezine yakın yerlerde ve dağlık alanlarda yüksek değerlere ulaşabilmekte ve burarlarda sinyal örgeler veya düzenli renkler olarak görülmektedir.

Şekil 4.1 'da verilen a, b, c, d ve e interferogramlarında benzeşimin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülen interferogramlar ortaya çıkmış ve deformasyonlar hakkında net bir sonuç vermemiştir. Görüntülerde herhangi bir belirgin yüzey değişiminin görülmemesinin, farklı bozucu etkenlerin bir arada olması nedeniyle gerçekleştiği varsayılmaktadır.



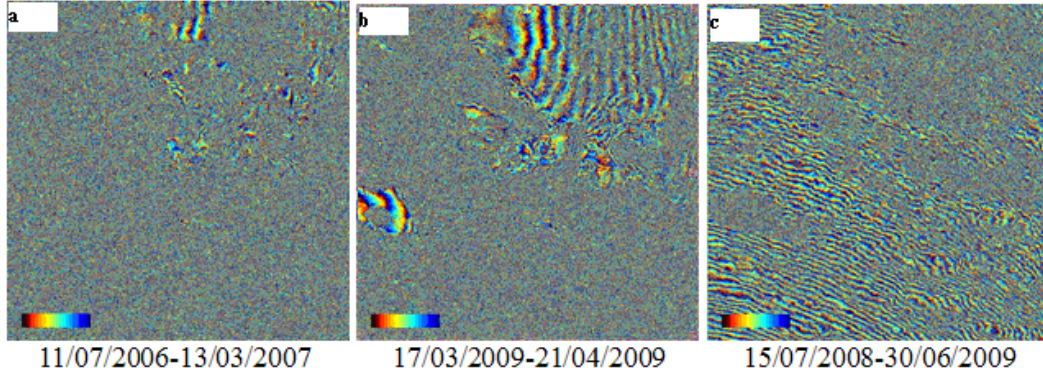
Şekil 4.1: Net bir sonuç göstermeyen interferogramlar

Şekil 4.2’de ise atmosferik etkiden kaynaklanan interferogram sonuçları görülmektedir. İlk interferogramda (a) çalışma alanının neredeyse tamamının atmosferik etki altında kaldığı görülmekte, ikinci interferogramda (b) Karadağ ve civarında atmosferik etkiden kaynaklanan 1 adet örgeğin olduğu açıkça anlaşılmakta ve son interferogramda da (c) yine ilk interferograma göre daha az da olsa görüntünün atmosferik etkiye maruz kaldığı görülmektedir.



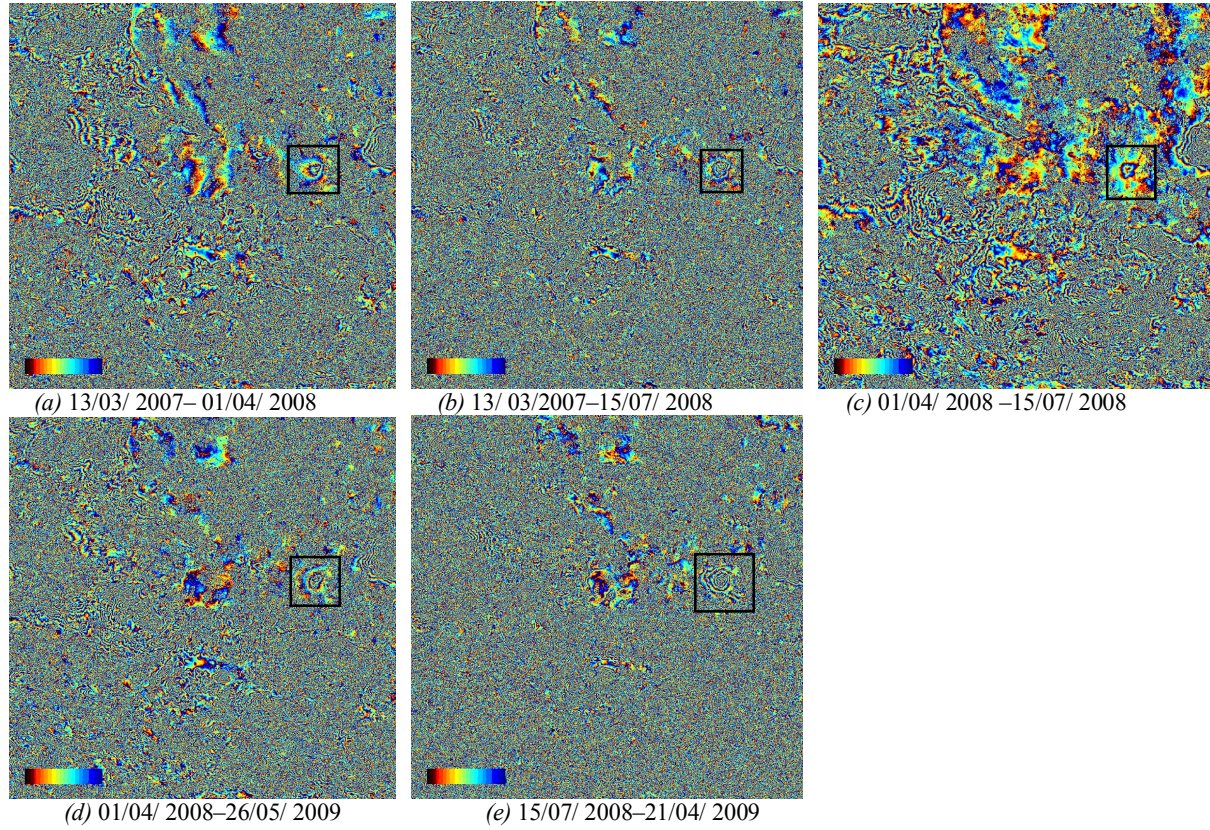
Şekil 4.2: Atmosferik etki sonucu oluşan interferogramlar

Şekil 4.3’de gösterilen interferogramlar, topoğrafya ve yörüngesel etkiler içermektedir. İnterferogramlar *a* ve *b*’de yörüngesel etkinin büyük bir kısmının ortadan kaldırılmasıyla ortaya çıkan topoğrafik örgeleri göstermektedir. Karadağ ve civarında eşyükseklik eğrilerine benzer renk dalgaları ile de ifade edilebilen örgeler (*a*) ve (*b*)’de görülmektedir. (*b*)’de aynı zamanda sağ üst kısımlarda yörüngesel bir etkiye maruz kalmış, kapanmayan ve birbirini takip eden örgeler de dikkati çekmektedir. Aynı durum (*c*)’de hemen hemen çalışma alanının tamamında mevcuttur.



Şekil 4.3: Yörüngesel ve topoğrafik örgelerden oluşan interferogramlar

Bu proje için en çok önem teşkil eden sonuçlar Şekil 4.4’de verilen interferogramlarda görülmektedir. Bu görüntü çiftleri yukarıda bahsedilen bozucu etkenlere en az maruz kalmış, Şekil 4.6’da da bir örneği gösterilen yüksek benzeşime sahip interferogramlardan oluşan ve beklenen örgeleri veren net sonuçları içermektedir.



Şekil 4.4: Uygun tarihli görüntü çiftlerinden elde edilen interferogramlar

Şekil 4.4 (a) , 13 Mart 2007 tarihli birinci (master) görüntü ve 1 Nisan 2008 tarihli ikinci (slave) görüntünün çakıştırılmasıyla oluşan ve sonuç olarak radarın bakış yönünde 2 örgelik yani yaklaşık 57 mm’lik çökmeyi gösteren bir interferogramı göstermektedir. Deformasyon Karadağ’ın güney kesiminde ve yaklaşık bir yıllık bir süreçte meydana gelmiştir. Şekil 4.4 (b) ise yine birinci (master) görüntü olarak 13 Mart 2007 tarihinde elde edilen görüntü kullanılmış ancak bu sefer ikinci (slave) görüntü için 15 Temmuz 2008 tarihinde elde edilen görüntü tercih edilerek yeni bir interferogram oluşturulmuştur. Şekilden de görüleceği gibi ikinci interferogramda 3 örgelik (2.83x3) yani yaklaşık 85mm’lik bir yer

değiştirme gözlenmektedir. Bu iki görüntünün oluşturulma tarihleri arasındaki fark kıyaslandığında 1 Nisan 2008 ve 15 Temmuz 2008 tarihleri arasında geçen yaklaşık iki buçuk aylık zaman diliminde 1 örgelik yani 28 mm'lik bir çökmenin gerçekleştiği açıkça görülmektedir.

Oluşturulan bir diğer görüntü çifti ise 1 Nisan 2008 ve 15 Temmuz 2008 tarihlerinde elde edilen görüntülerin proses edilmesi sonucunda meydana gelen interferogramdır. Bu interferogram bir önceki görüntü çiftleri arasındaki bağlantıyı destekler niteliktedir ve şekilden de görüldüğü gibi (Şekil 4.4 (c)) 28 mm'lik bir çökme burada da aynı şekilde tespit edilmiştir.

Bir sonraki görüntü çifti ise Şekil 4.4 (d)'de görülen, 1 Nisan 2008 ve 26 Mayıs 2009 tarihlerinde elde edilmiş görüntülerden oluşan bir interferogramı göstermektedir. Buradaki çökme miktarı yaklaşık 57 mm'dir. Bu çökme 13 ayda gerçekleşmiş ve 1 Nisan 2008 – 15 Temmuz 2008 tarihleri arasında meydana gelen çökme ile kıyaslandığında 15 Temmuz 2008 ve 26 Mayıs 2009 tarihleri arasında geçen 10 aylık bir zaman diliminde yine 28 mm'lik bir çökme gözlenmiştir.

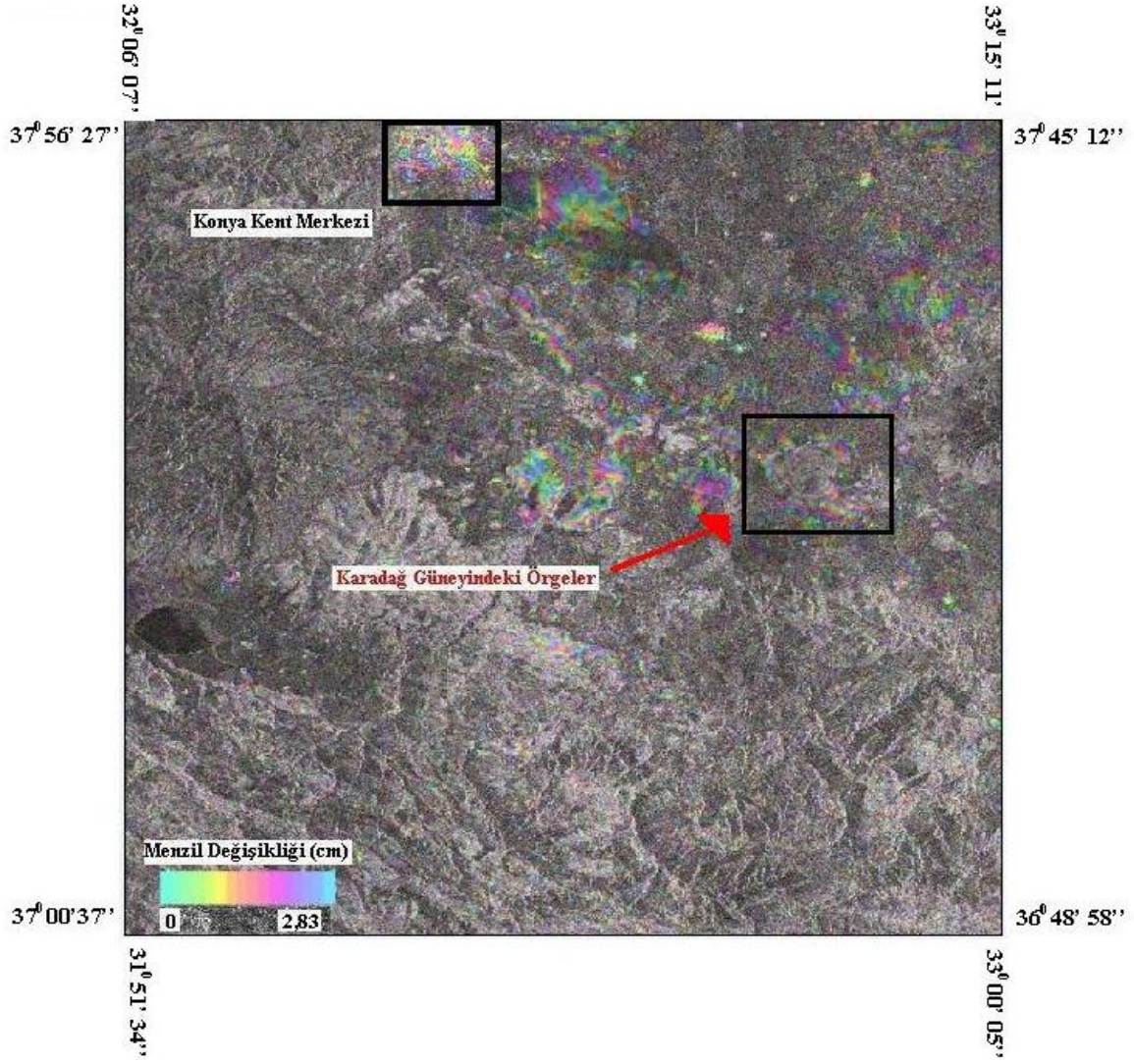
Son olarak Şekil 4.4 (e)'de verilen, 7 Temmuz 2008 ve 21 Nisan 2009 tarihlerinde elde edilmiş görüntülerden oluşan interferogram incelendiğinde, burada meydana gelen çökmenin yaklaşık 100 mm'ye (3-4 öрге) ulaştığı görülmektedir. Burada oluşan düşey yönlü deformasyon her ne kadar 9-10 aylık bir zaman diliminde gerçekleşmiş görünse de aslında yüzeyde meydana gelen çökme genel olarak 2006-2009 yılları arasında bir bütün olarak gerçekleşmiştir. Ancak 2006 ve 2009 yıllarında elde edilen görüntü çiftlerinden oluşan interferogramlar daha önce de bahsedilen bozucu etkenler dolayısıyla net sonuç vermemiş ve bu tarihler arasında gerçekleşen deformasyon bir bütün olarak diğer interferogramlar yorumlanarak ortaya çıkarılmıştır.

Şekil 4.4'de gösterilen interferogramlara ait, interferometrik bilgiler ve deformasyon miktarları Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Birinci (Master) Görüntü Tarihi	İkinci (Slave) Görüntü Tarihi	Dik baz Uzunlukları (m)	Zaman Farkı (Gün)	Örge Sayısı (1 Örge=2,83cm)	Deformasyon Miktarı (mm)
13/03/2007	01/04/2008	101	385	2	~57
13/03/2007	15/07/2008	331	490	3	~85
01/04/2008	15/07/2008	230	105	1	~28
01/04/2008	26/05/2009	263	420	2	~57
15/07/2008	21/04/2009	495	280	3-4	~100

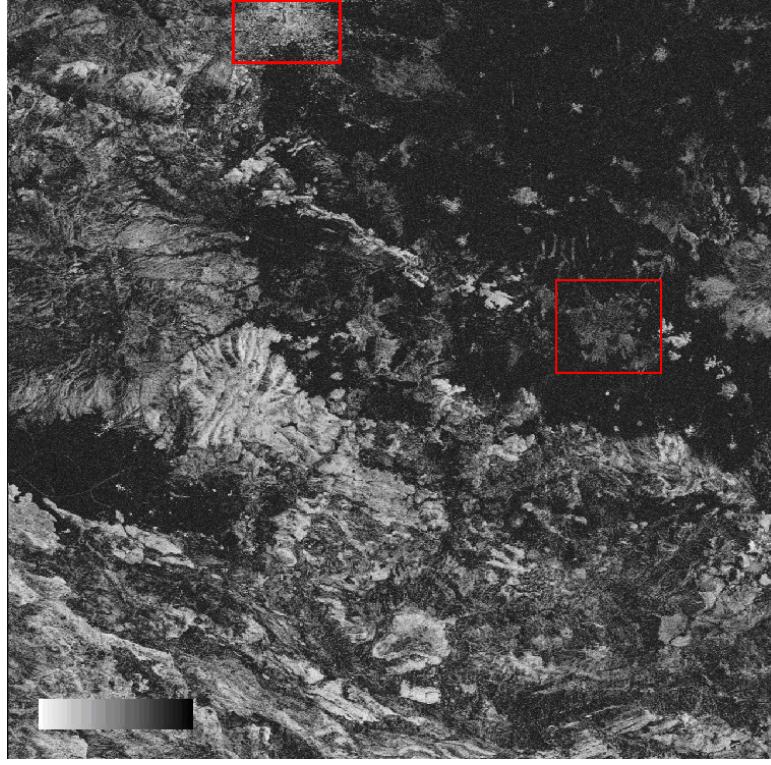
Çizelge 4.1: İnterferogramlara ait interferometrik özellikler ve deformasyon miktarları

Şekil 4.5 ise son interferograma ait (7 Temmuz 2008 - 21 Nisan 2009) faz ve genlik bileşenlerinin bir arada gösterimini sunmaktadır.



Şekil 4.5: 15/07/ 2008–21/04/ 2009 çiftinden oluşturulan filitrelenmiş diferansiyel interferogramın faz ve genlik bileşenlerinin bir arada gösterimi

Şekil 4.6 yine son interferograma ait benzeşim haritasını göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi açık renkli yerler yüksek benzeşime sahiptir ve Şekil 4.15 ile karşılaştırıldığında örgelerin, benzeşim haritasındaki açık gri renkli yerlerde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6: 15/07/ 2008–21/04/ 2009 çiftinden oluşturulan benzeşim (koherans) haritası

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Konya Kapalı Havzasında interferometrik yapay açıklıklı radar tekniğiyle belirlenen düşey yönlü deformasyonlar, daha önce GPS çalışmasıyla elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Konya Kapalı Havzasında yer altı suyu çekilmesine bağlı olduğu varsayılan düşey yönlü yüzey deformasyonlarını belirlemek için SAR görüntüleri (SLC formatında) yardımıyla interferogramlar oluşturulmuş ve 16 interferogramın beşinde zemin çökmeleri açıkça belirlenmiştir. Diğer 11 çiftin 5'inde benzeşimin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülen interferogramlar ortaya çıkmış ve deformasyonlar hakkında net bir sonuç gözlenememiştir. Görüntülerde herhangi bir belirgin yüzey değişiminin görülmemesinin, farklı bozucu etkenlerin bir arada olması nedeniyle gerçekleştiği varsayılmaktadır. Deformasyonun gözlenemediği diğer 6 interferogram ise yörüngesel, topoğrafik ve atmosferik etkilere maruz kaldığı için net sonuç vermemektedir. Ancak anlamlı olarak seçilen ve değişik zaman aralıklarına sahip 5 interferogram arasında zamana bağlı değişimler birbirleriyle tutarlı görünmektedir.

İnterferogramlarda bozucu atmosferik etkiler ve benzeşim düşüklüğü gibi nedenler hakim olmasına rağmen Konya kent merkezinin güney kesimi ve tarımsal sulmanın yoğun olduğu Çumra bölgesi ile Karadağ'ın güneybatı kesiminde anlamlı çökmeler gözlenmiştir. Bunlar arasında en dikkat çekici olanı dar bir alanda başka bir deyişle yüksek gradyana sahip çökme belirtisi gözlemlenen Karadağ'ın güney batısında meydana gelen 4 örgelik bir çökmedir. İnterferogramda tespit edilen örgelerin görüldüğü alanların engebesiz olduğu göz önüne alınırsa sonuçların topoğrafik bozucu etkilerden uzak kaldığı düşünülebilir.

Yapılan çalışma sonucunda uygun geometri (yörüngeler arasındaki dik uzaklık), uygun sayısal yükseklik verisi ve uygun atmosferik koşullarda oluşturulacak interferogramların düşey yönlü yüzey deformasyonlarının izlenmesinde kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca böylesi yüzey deformasyon çalışmalarını tespit etmede ENVISAT ASAR verileri ile elde edilen interferogramların doğru tarama alanı modu (swath genişliği) seçildiğinde çok net sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Bu çalışma gerçekleştirilirken, tarama alanı olarak IS2 modu seçilmiş, en uygun baz uzunluklarının doğru bir şekilde seçimine özen gösterilmiş ve görüntü çiftleri arasındaki zaman farkına dikkat edilmiştir.

Yapılan çalışmada sayısal yükseklik modeli olarak SRTM verisi kullanılmış ve beklenen sonuçlar elde edildiği için de SYM olarak başka bir görüntü çifti kullanılmaya ihtiyaç duyulmamıştır.

Çalışmanın daha da netleştirilebilmesi için atmosferik etkilerin daha az olduğu radar görüntüleri temin edilerek oluşturulacak yeni interferogramlarla bulgular daha da iyileştirilebilir. Ayrıca yeryüzü deformasyonlarının daha net incelenebilmesi ve radar interferometrisi ile elde edilen sonuçların işlenmesi ile ortaya çıkan haritalarda kullanılan PSInSAR (Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar) yönteminin de kullanılmasıyla Konya Kapalı Havzası'na ait daha ayrıntılı haritalar oluşturulabilir.

Sonuç olarak, yılda yaklaşık 3-4 cm'ye karşılık gelen düşey yönlü deformasyonların şehir merkezine ve özellikle Konya Kapalı Havzasında önemli tarım alanlarına yakın yerlerde gözlenmesi bölgede yaşayanlar için ciddi tehditler oluşturmaktadır. Yıllık çökme miktarı 10 yıllık bir zaman dilimi ile oranlanırsa, bu deformasyonun bina ve diğer yapılara verebileceği hasarın göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Goldstein, R. M. ve Werner. C. L. (1998) Radar interferogram filtering for geophysical applications, *Geophysical Research Letters* 25: 4035-4038.
- Göçmez, G, Genç, A, Karakoca, A. (2008) Konya Kapalı Havzasında yeraltı suyu seviye değişiminin istatistiksel değerlendirmesi, *Konya Kapalı Havzası Yer altı Suyu ve Kuraklık Konferansı*, S.98-107, 2008.
- Göçmez, G, İşçioğlu A. (2004) Konya Kapalı Havzası'nda yer altı suyu seviye değişimleri, *Yeraltısuları Ulusal Sempozyumu*, S.9-19.
- İşçioğlu, A.ve Hamarat Ö. (2004) Konya Çumra Karapınar ovasının su potansiyeli ve kullanımı, *Jeoteknik Hiz. VeYAS semineri, DSİ Fethiye*
- Massonnet, D. ve Feigl, K.L. (1998) Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Review of Geophysics*. 36: 441-500.
- Rosen, P., C. Werner, E. Fielding, S. Hensley, S. Buckley ve P. Vincent (1998) Aseismic creep along the San Andreas fault northwest of Parkfield, California, measured by radar interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 825–828.
- Üstün, A., Tuşat E., Yalvaç S. (2008) Konya Kapalı Havzası'nda zemin çökmelerinin GPS yardımıyla belirlenmesi, *Konya Kapalı Havzası Yer altı Suyu ve Kuraklık Konferansı, Bildiri Kitabı*, S.116-124.
- Üstün, A., Tuşat E., Yalvaç S. (2010) Preliminary results of land subsidence monitoring project in Konya Closed Basin between 2006–2009 by means of GNSS observations, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 1151–1157.