

## VOLKANİK SAHALARIN İNCELENMESİ VE İZLENMESİNDE RADAR TEKNOLOJİLERİ

Ayşe DAĞLIYAR\*

Günümüzde özellikle yer bilimlerinde oldukça yaygın olarak kullanılan, açılımı “radyo dalgaları ile algılama ve menzil tayini” (Radio Detecting And Ranging) olan RADAR, radyo sinyalleriyle cisimlere ait konum ve yükseklik bilgilerini mesafeye bağımlı ancak meteorolojik şartlardan bağımsız olarak gece - gündüz elde edebilen bir sistemdir. Bunun yanında radar, hem bir görüntüleme ve ölçme tekniği hem de bir algılama aracı olarak tanımlanmaktadır (Hanssen, 2001).

İlk olarak 1930’lu yıllarda Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri’nde PPI (Plan Mevki Göstergesi / Plan Position Indicator) Radarı’nın kullanılması ile hayatımıza girmiştir.

PPI Radarı günümüzde hava alanları, uçak ve gemilerde kullanılmaktadır. Bu yöntemde hedef bilgiler parlaklık modülasyonu ile görüntülenmektedir. İlk uzay radarı ise, okyanus topoğrafyasını elde etmek amacıyla 1978 yılında ABD tarafından fırlatılan SeaSAT uydusudur. Günümüzde kullanılan SAR uyduları ve özellikleri çizelge 1’de verilmiştir.

Sadeleştirilmiş anlamda radar görüntüsü en ve boy aralığında tanımlanmış birçok noktasal resim elemanından oluşan bir kompozisyonudur. Her resim elemanı (piksel) yüzey üzerindeki karşılığına denk düşen geri yansımının sayısal kod değerlerinin bir ifadesidir (Durna, 2014).

Radarin keşfedilmesinde, yarasaların rolü olduğu da belirtilmektedir (URL-1, 2016). Görme yeteneği çok az ancak buna karşın ses ve dokunma duyuları oldukça gelişmiş olan yarasaların, insanların duyma yeteneği dışında kalan ultrasonik frekans boyutunda ses dalgaları yayınladıkları ve bu ses dalgalarının cisimlere çarparak yansması neticesinde hedeflerini tes-

Çizelge 1 - SAR Uyduları ve teknik özellikleri (Lu., Dzurisin., 2014).

Uydu	Operatör / Ülke	Dalgaboyu	Operasyon Tarihleri
US Seasat	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)	L-band ë = 23,5 cm	Haziran – Ekim 1978
European Remote Sensing Satellite 1 (ERS-1)	Avrupa Uzay Ajansı (ESA)	C-band ë = 5,66 cm	1991 – 2000
Japanese Earth Resources Satellite 1 (JERS-1)	Japon Uzay Araştırma Ajansı (JAXA)	L-band ë = 23,5 cm	1992 – 1998
European Remote Sensing Satellite 2 (ERS-2)	Avrupa Uzay Ajansı (ESA)	C-band ë = 5,66 cm	1995 – 2011
Canadian Radar Satellite 1 (Radarsat – 1)	Kanada Uzay Ajansı (CSA)	C-band ë = 5,66 cm	1995 – 2013
European Environmental Satellite (Envisat)	Avrupa Uzay Ajansı (ESA)	C-band ë = 5,63 cm	2002 – 2012
Japanese Advanced Land Observing Satellite (ALOS)	Japon Uzay Araştırma Ajansı (JAXA)	L-band ë = 23,6 cm	2007 -
Canadian Radar Satellite 2 (Radarsat – 2)	Kanada Uzay Ajansı (CSA)	C-band ë = 5,55 cm	2007 -
TerraSAR-X	Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR)	X-band ë = 3,1 cm	2007 -
COSMO-SkyMed constellation	İtalya Uzay Ajansı (ASI)	X-band ë = 3,1 cm	2007 -
TerraSAR Add-on for Digital Elevation Measurements (TanDEM-X)	Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR)	X-band ë = 3,1 cm	2010 -

\* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.

pit edebildikleri belirlenmiştir. Radarın çalışma prensibinde yer alan radyo dalgalarının, cisimlere çarparak yansıyan dalganın kaydedilmesinin keşfiyle birlikte bu teknoloji günümüzde çok farklı alanlarda kullanılır hale gelmiştir. Radar teknolojisi askeriye, havacılık, meteoroloji, şehir planlama, jeodezi, madencilik, uzaktan algılama, petrol arama, yer bilimleri ve yüzeyi gözle görülemeyen gezegenlerin haritalanmasında kullanılmaktadır. Radar verileri yer bilimlerinde özellikle Sayısal Arazi Modeli (SAM) ile Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmasında, doğal afetlerden sonra hasar tespit çalışmalarında ve zamana bağlı gerçekleşen yüzey deformasyonlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Radar görüntüsünün çözünürlüğü, görüntüleme yapmak amacıyla kullanılan hava aracı ya da uyduya yerleştirilen anten özelliklerine (uzunluk, genişlik ve geliş açısı), uydu yüksekliğine ve radar sinyal süresine bağlı olarak değişmektedir. Kısa sinyal süresi yüksek çözünürlük sağlarken uygun sinyal / gürültü oranı (SNR) üretmeyebilir (Lusch, 1999; Çakır, 2003; Gürmen, 2003).

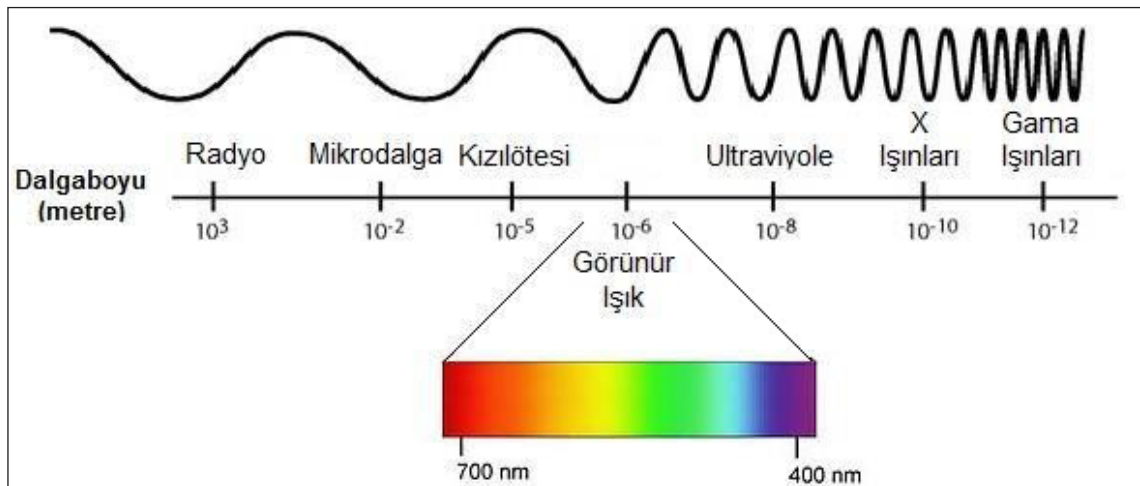
Sentetik Aralıklı Radar (SAR - Synthetic Aperture Radar) ise insanlı ve insansız hava sistemleri tarafından, havadan görüntüleme ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla askeri ve sivil uygulamalarda kullanılabilen yüksek çözünürlüklü yeryüzü görüntüleme sistemidir. SAR sistemleri mikrodalga frekanslarında çalışıp, her türlü hava koşulunda, aydınlatma kaynağını kendi sağladığı için gece ve gündüz yüzeyin geometrik ve elektriksel özelliklerini gösteren

görüntüler sağlamaktadır (Rosen, vd., 2000). Elektromanyetik spektrumda mikrodalga bölgesi, 1 – 1000 GHz aralığında yer alan bölgeyi temsil etmektedir (Şekil 1) (URL~2, 2016). SAR sistemleri, hedeflenen bölge üzerinde yüksek çözünürlükte veri elde etmek amacıyla hareket yeteneğine sahip radar anteni kullanarak elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinden veri kaydetmektedir.

Yeryüzüne ait deformasyonlar radar / SAR görüntüleri ile 3 farklı yöntemle izlenebilmektedir. Bunlar;

- InSAR (İnterferometrik Yapay Aralıklı Radar / Interferometric Synthetic Aperture Radar),
  - PS InSAR (Sabit Saçılımlı InSAR - Permanent Scatterers InSAR),
  - SBAS (Small Baseline InSAR)
- teknikleridir.

Yapay Aralıklı Radar İnterferometrisi (InSAR), ilk olarak Ay'ın topoğrafik rölyefini ölçmek üzere yere konumlandırılmış radarlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Shapiro, vd. 1972). Radar interferometrisi, birbirine çok yakın görüntüleme geometrileriyle elde edilmiş iki farklı radar görüntüsü arasında oluşan faz farkını hesaplayan bir tekniktir (Massonnet, ve Feigl, 1998; Hanssen, 2001; Burgmann, vd., 2000; Rosen, vd., 2000; Gens ve Van Gendren, 1996). Bu teknik ile yer yüzünün geniş bir bölümünde meydana gelen deformasyonlar ve değişimler tespit edilebilmekte ve böylece potansiyel risk içeren bölgeler belirlenerek önlem



Şekil 1- Elektromanyetik spektrum (URL-2, 2016).

mekanizmalarının zamanında hayata geçirilmesi sağlanabilmektedir.

InSAR tekniğinde sadece bir görüntü çifti ile sonuç elde edilebilirken diğer yöntemlerde 10 veya daha fazla SAR verisine ihtiyaç vardır. SAR görüntülerini kullanan InSAR tekniği ile yüksek çözünürlükte ve doğrulukta SYM ve yeryüzü deformasyonu yüksek hassasiyet derecesinde belirlenebilmektedir. InSAR tekniğinde kullanılan mikrodalga enerjideki sinyalin genliği, hedefin yansıtma özelliğini ortaya koyarken, faz; hedefe olan mesafeye bağlı bir değerdir. İnterferometrik SAR tekniği, iki SAR görüntüsünde birbirine karşılık gelen piksellerin fazlarının farkını kullanarak yükseklik bilgisi elde eder (Irak, 2009). InSAR yöntemindeki en önemli özellik, hedeften geri yansıyan sinyalin genliğinin yanı sıra faz bilgisini de kullanarak hedefin üçüncü boyutunu da ölçme imkanı sağlamasıdır. 1993 yılında, SAR uydu sistemlerini kullanarak InSAR'ın yer yüzü deformasyonunu ölçme algoritmasını ilk olarak Massonet ve arkadaşları geliştirmişlerdir (Massonet vd., 1993).

InSAR, yüzey deformasyonunun ölçülmesinde etkili bir yöntem olarak kabul edilse de uygulanabilirliği radar sinyalinin korelasyonu ve atmosferik etkilerle sınırlıdır. Bu nedenle, uzun sürede ve yavaş hızla oluşan yüzey hareketlerinin geleneksel InSAR yöntemleri kullanılarak ölçülmesi son derece zor olabilir (Akarvardar, 2009).

Sürekli yansıtıcılara dayalı InSAR (PS InSAR - Permanent Scatterers InSAR), farklı zamanlarda alınmış SAR verilerinin zaman serisi analizi yardımıyla gerçekleştirilen en yeni InSAR analiz tekniklerinden bir tanesidir (Ferretti vd., 2000; Ferretti vd., 2001). Bu yöntemde, uydu verisi alınan her zaman diliminde, sürekli yüksek yansıtıcı özelliği gösteren noktaların (permanent scatterer: PS) tespit edilip, milimetrik duyarlılıkta izlenmesi ve bağlı topoğrafik yüksekliklerin / deformasyonların kestirilmesi amaçlanmaktadır. Uzman tarafından belirlenen bir referans noktaya göre, her bir PS ölçümünün konumu yüksek duyarlılıkla elde edilebilmekte ancak gerçek ölçüm değerindeki doğruluk; radar sinyalindeki gecikmeler, aletsel problemler, uydu yörüngesindeki belirsizlikler ve saçıcı noktanın merkez belirsizliği gibi problemler meydana geldiğinde düşük olabilmektedir. Bunun yanında, PSInSAR, heyelan, çökme, volkanik aktiviteler ve tasman gibi yüzey

deformasyonlarının saptanmasında ve zaman içinde izlenmesinde kullanılan güçlü bir methodur.

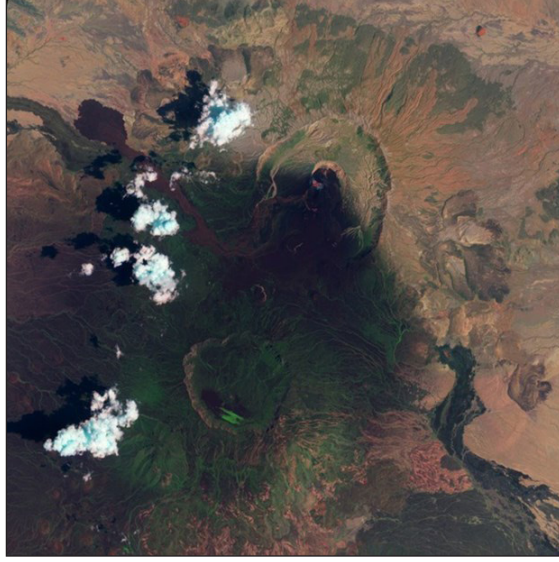
SBAS (Small Baseline) yöntemi, hedeften yansıyan saçınımların, Gauss dağılımı ile alıcılar tarafından kaydedilen pikseller için optimize edilerek uygun hale getirilmesidir.

Günümüzde yüzey deformasyonlarının ve yüzey hareketlerinin izlenmesinde, periyodik ölçümlerin yapıldığı GPS alıcıları da kullanılmaktadır. GPS için yatay bileşenlerin belirlenmesinde doğruluk yüksek iken InSAR tekniğinde düşey bileşenin belirlenmesindeki doğruluk yüksektir (Hanssen, 2001).

Bilim insanlarının yoğun olarak çalıştıkları volkanik alanlardaki zemin hareketlerinin detaylı ve hassas tespitinin yapılabilmesi, mikrodalga bölgeden görüntü alabilme yeteneğine sahip olan SAR görüntüleri ile mümkün olmuştur.

Dünyada, InSAR, PSInSAR ve SBAS yöntemleri kullanılarak volkanik sahalar izlenmekte ve incelenmektedir. Örneğin, Eritre ve Etiyopya sınırında yer alan Danakil Çölü'ndeki Nabro Yanardağı için (Şekil 2) (URL~3, 2016), 7 Ekim 1997 ile 26 Eylül 2000 tarihli ERS-2 SAR görüntü çiftine InSAR yöntemi uygulanarak, atmosferik gecikme anomalilerinin etkileri kısa dalga boyu bölgesinde incelenmiştir. Bununla birlikte, Nabro kalderasına ait topoğrafik rölyef görüntüsü de "yalancı renk / False Color" kompoziti ile oluşturulmuştur (Şekil 3) (URL~4, 2016). SAR görüntüleri kullanılarak elde edilen deformasyon görüntülerinde her bir renk halkası, o yüzeye ait değişimi ve değerini belirtir.

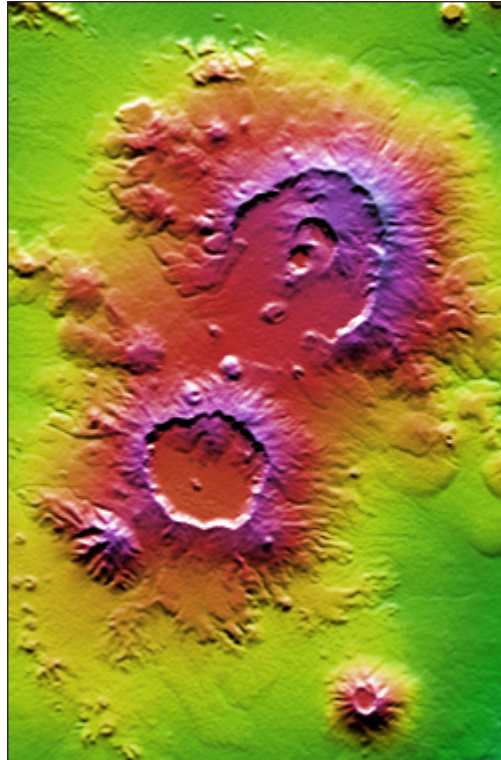
Bunun yanında, Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency/ESA), Temmuz 2001 yılında Etna yanardağını, devam eden patlamaları, küçük yer deformasyonlarını, sıcaklık ve gaz emisyonlarını ERS-2 SAR verileri ile incelemiştir (Şekil 4) (URL~5, 2016). Sayısal yükseklik modeli kullanılarak ERS-1 ve ERS-2 interferometrik görüntü çiftleri birleştirilerek yüzey deformasyon görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 5) (URL~5, 2016). InSAR tekniğini kullanarak, 1993 yılında olan patlama da dahil olmak üzere 10 yıllık periyotta Etna yanardağ hareketleri, yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri ile izlenmiştir. Gelecekte, Avrupa Uzay Ajansı'nın özellikle çevre ve doğal afetlerin takibi için üretilen ENVISAT ile Etna yanardağının gözlenmeye devam edileceğini açıklamışlardır.



Şekil 2- Nablo yanardağı (EO-1, 28 Eylül 2011)  
(URL-3, 2016).

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Koordinatörlüğü'nde SAR verileri kullanılarak aktif volkan sahalarına ait yüzey deformasyon bölgelerinin tespiti, çökme ve heyelanların izlenmesi, dep-

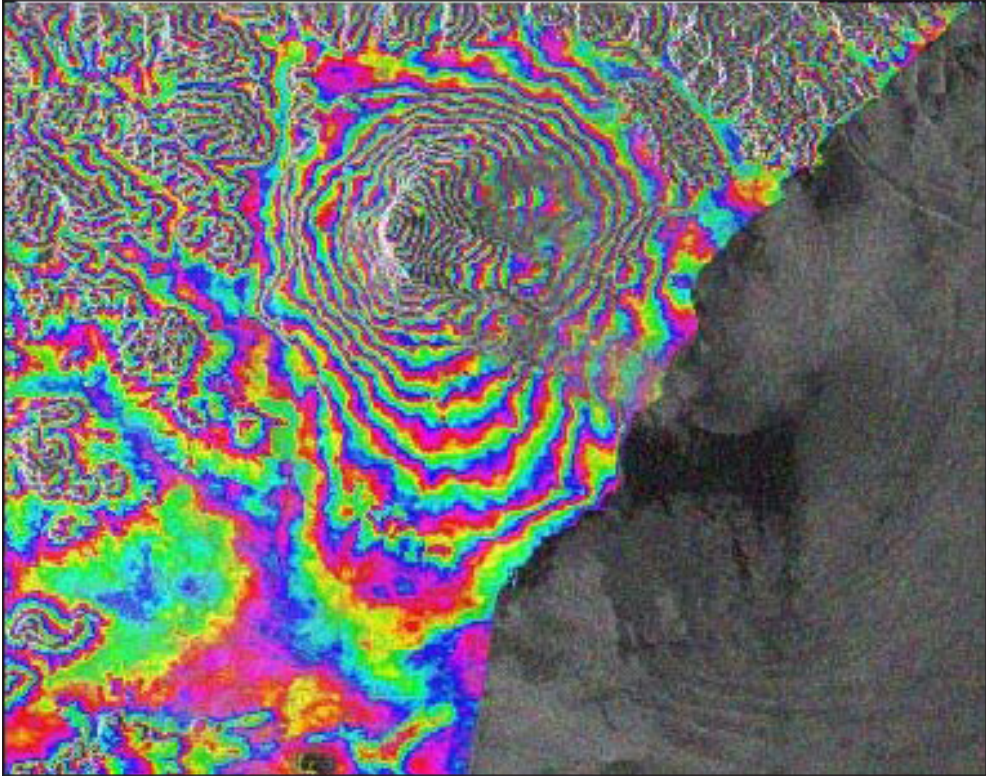
rem öncesi ve sonrası ile deprem esnasında kabuk deformasyonlarının saptanması ve değişimlerin yüksek hassasiyetle belirlenmesine yönelik teknik analizler yapılarak modellenmektedir.



Şekil 3- Nablo yanardağına ait rölyef görüntüsü  
(URL-4, 2016).



Şekil 4- SAR görüntüsü ile Etna yanardağı sayısal yükseklik modeli (URL-5, 2016).



Şekil 5- Etna yanardağının sayısal yükseklik modeli üzerinde ERS-1 ve ERS-2 SAR görüntülerinin birleştirilmesi sonucu elde edilen yüzey deformasyon görüntüsü (URL-5, 2016).

## DEĞİNİLEN BELGELER

Akarvardar, S., Örmeci C., Feigl, K. L. 2009. Uzun sürede ve sabit hızda oluşan yer hareketlerinin uydu radar interferometrisiyle ölçülmesi: Avcılar örneği, İTÜ Dergisi/d Mühendislik Cilt:8, Sayı:3, 131-141 Haziran.

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.

- Dođru, A., 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, CDRÖM
- Durna, S. 2014. "Denizlerdeki Yađ Tabakasının Tespitinde Radar Görüntülerinin Kullanımı", T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleřme Bakanlığı, Deniz ve İşsular Düzenleme Genel Müdürlüğü, Denizcilik Uzmanlık Tezi.
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2000. Non-linear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38, 5, 2202- 2212 .
- Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. 2001. Permanent Scatterers in SAR Interferometry, IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 39, 1, 8-20 .
- Gens, R., van Genderen, J.L. 1996. SAR interferometry: Issues, Techniques, Applications, International Journal of Remote Sensing, 17, 1803–1835.
- Gürmen, G. 2003. "Yapay Açıklıklı Radar (SAR) ile Görüntü Oluřturma", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleřme Mühendisliđi Anabilim Dalı, İstanbul, 109 s., Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış).
- Hanssen, R. F. 2001. "Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis". Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 327 p.
- Irak, H. 2009. "SAR Sistem ve Teknolojileri", Elektrik Mühendisliđi, Sayı: 437, pp. 86-90.
- Lu, Z., Dzurisin, D. 2014. "InSAR Imaging of Aleutian Volcanoes – Monitoring a Volcanic Arc from Space", Springer Praxis Books, Geophysical Sciences, New York.
- Lusch D. P. 1999. "Introduction to Microwave Remote Sensing", Center for Remote Sensing and GIS, Michigan State University, Michigan, USA, 84 p.
- Massonet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K., Rabaute, T. 1993. "The Displacement Field of the Landers Earthquake Mapped by Radar Interferometry", Nature, 364,138-142.
- Massonet, D., Feigl, K.L. 1998, "Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface", Reviews of Geophysics, 36, 4, 441-500.
- Rosen, P., Hensley, S., Joughin, I., Li, Fi., Madsen, N., Rodriguez, E., Goldstein, R. 2000, "Synthetic Aperture Radar Interferometry", Proceedings of the IEEE, Vol. 88, No. 3, pp. 333-382.
- Shapiro, I. I., Zisk, S. H., Rogers, A. E. E., Slade, M. A., Thompson, T. W. 1972. "Lunar Topography: Global Determination by Radar". Science, 178, pp. 939 - 948.
- URL-1:[http://www.bilgilerdunyasi.net/completed/hayvanlarindunyasi\\_sayfalar/dogateknoloji\\_sayfalar/radaryarasa.html](http://www.bilgilerdunyasi.net/completed/hayvanlarindunyasi_sayfalar/dogateknoloji_sayfalar/radaryarasa.html) (Eriřim Tarihi: 09.01.2016)
- URL-2:<http://www.acikbilim.com/wp-content/uploads/2014/01/sddff.jpg> (Eriřim Tarihi: 12.01.2016)
- URL-3:<http://www.ntv.com.tr/galeri/teknoloji/uzaydan-cekilen-buyuleyici-goruntuler,--XGYu-76GESQicwOXYAhbg/MJ1wkIX7q0CycEifU-h2Ix> (Eriřim Tarihi: 10.01.2016)
- URL-4:[https://en.wikipedia.org/wiki/Nabro\\_Volcano](https://en.wikipedia.org/wiki/Nabro_Volcano) ( Eriřim Tarihi: 12.01.2016).
- URL-5:[https://earth.esa.int/ers/article\\_archive/\\_images/etna\\_interf.jpg](https://earth.esa.int/ers/article_archive/_images/etna_interf.jpg) (Eriřim Tarihi: 11.01.2016)