

SAR SİSTEM ve TEKNOLOJİLERİ

Halise Irak
Sistem Mühendisi-STM AŞ

Radarlarda uçuş yönünde yüksek çözünürlük elde etmek için pratikte mümkün olmayan uzunlukta anten kullanmak gerekmektedir. Sentetik açıklık radar (SAR) tekniği daha küçük anten uzunluğuyla platformun uçuş yönünde daha yüksek çözünürlükte görüntü elde etmek için kullanılan yöntemdir. Radar anteni istenilen açıklık boyunca hareket ettirilerek belirli zaman aralıklarında ölçümler alır ve bu verileri eş zamanlı toplayarak sentetik açıklık oluşturur. Böylece gerçek fiziksel açıklığa eş büyük bir yapay açıklık oluşturulmuş olur. Bu teknik 1950'den bu yana hava ve uzay platformlarında yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bu doküman içerisinde öncelikle SAR sistemi, çalışma esasları, görüntü oluşturmada karşılaşılan temel sorunlar ve çözümleri anlatılmaktadır. Ayrıca Polarimetrik SAR, Interferometrik SAR tekniklerinden de kısaca bahsedilmiştir. Son olarak, dünyada kullanılan ve öne çıkan SAR teknolojileri ile ilgili bilgiler verilmiş, Türkiye'de yürütülen SAR sistemi projeleri tanıtılmıştır.

1. GİRİŞ

Standart açıklık radarlarında hava platformu uçuş rotası üzerinde ilerlerken görüntülenecek alanı sürekli aydınlatarak ve geri gelen her bir yankıyı tek başına işleyerek görüntü oluşturur. Menzil yönündeki çözünürlük verici sinyalin bant genişliği ile orantılıdır; sinyalin bant genişliği ne kadar geniş olursa menzil yönündeki çözünürlük o kadar iyi olur. Yanca yönündeki çözünürlük ise radar antenin boyuna bağlıdır; daha uzun bir anten yanca yönünde daha iyi çözünürlük de-

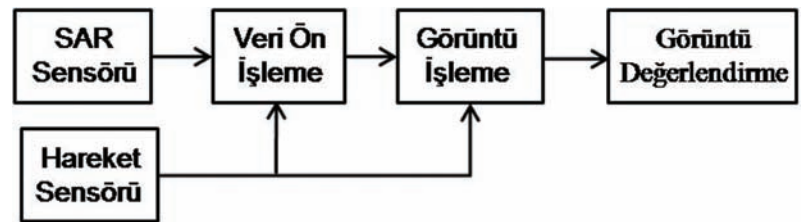
mektir. Çünkü daha uzun bir antenle daha dar hüzmeler elde edilebilir ve dar hüzmelerle görüntü almak çözünürlüğü artırır. Dolayısıyla daha iyi bir yanca çözünürlüğü için pratikte taşınması mümkün olmayan büyüklükte bir anten kullanmak gerekebilmektedir. Öte yandan sentetik açıklık yöntemiyle Şekil 1'de gösterildiği gibi hava platformu arzulanan uzunluğu veri toplayarak kat edip sanki tek bir fiziksel uzunluktaki antenden gelmiş gibi işleyerek beklenen yüksek çözünürlüğü elde edilebilmektedir. İşte SAR tekniğiyle birkaç açıklık için elde edilen ham verinin sinyal işleme teknikleriyle tek bir açıklıktan elde edilmiş gibi sentezlenmesi mümkün kılınmaktadır. Bu da beraberinde uygun büyüklükteki anten açıklıklarıyla yanca yönünde yüksek çözünürlük elde etmeyi sağlamaktadır.

2. SAR SİSTEMİ ÇALIŞMA ESASLARI

Genel SAR sistem mimarisi Şekil 2'de görüldüğü gibi özetlenebilir. SAR sensöründen elde edilen ham SAR verisi hareket sensöründen elde edilen verilerle birlikte veri ön işleme birimine gönderilir. Burada görüntü oluşturulmadan önce ham veri üzerinde birincil seviye sarsıntı telafisi yapılır. Daha sonra ön işlemeyen geçen veri odaklanmış SAR görüntüsünün elde edilebilmesi için görüntü işleme ünitesine aktarılır. Görüntü işleme birimi arta kalan sarsıntı telafisinin yapıldığı, elde edilen ham görüntünün daha iyi odaklandığı, görüntü azaltma işlemlerinin yapıldığı ve görüntünün hedef tespit ve tasnife hazır hale getirildiği birimdir. Son olarak görüntü değerlendirme birimi, hedef tespit ve tasnifinin



Şekil 1. Sentetik açıklık radarlarda sentetik açıklığın oluşturulması.



Şekil 2. Genel SAR sistem mimarisi blok diagramı.

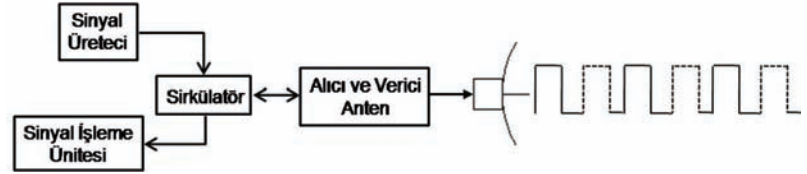
yapıldığı, uygulamaya yönelik bilgilerin kullanıcıya aktarıldığı birimdir.

2.1. SAR Sensörü

SAR sensörü sinyalin üretildiği, hedefe gönderildiği ve hedeften geri yansıyan yankıların alındığı yerdir. SAR sensörü aslında bir darbe radardır. Genel anlamda darbe radardan tek farkı, tek bir yankının işlenmesi yerine sentetik açıklık boyunca elde edilen sinyallerin toplanarak işlenmesidir. Şekil 3'te görüldüğü gibi sinyal üreticinde frekans modülasyonlu üretilen sinyal sirkülatör aracılığıyla hem alıcı hem verici olarak kullanılan antene gönderilir. Burada sirkülatörün işlevi, antenin alıcı ve verici alt sistemleri arasında anahtarlama sağlamaktır. Sirkülatör, verici açıkken alıcıyı, alıcı açıkken de vericiyi kapatarak alıcının, vericinin yüksek gücünden etkilenmesini engeller. Şekil 3'te de görüldüğü gibi geri yansımalar sadece gönderilen darbeler arasında alınarak, yine sirkülatör aracılığıyla sinyal işleme ünitesine gönderilir.

2.2. Hareket Sensörü

Sentetik açıklık tekniğinde görüntünün radarın uçuş rotası üzerinde bir sentetik açıklık boyunca farklı konuşlanmalarından elde edilen sinyallerin tek seferde işlenmesi nedeniyle atmosferik türbülans gibi hava koşullarının ve yapılan manevraların hava platformunun hızına ve oryantasyonuna etkisi göz ardı edilemeyecek durumdadır. Bu nedenle, SAR sistemlerinde anten faz merkezi (Antenna Phase Center, APC) hareketinin hassas ölçümü oldukça önemlidir. Bu amaçla hareket sensörü Şekil 4'te görüldüğü gibi, radar antenine takılan IMU (Inertial Measurement Unit), hava platformunun ağırlık merkezine monte edilen INS (Inertial Navigation System) ve bu iki cihaza konum düzeltme bilgisi sağlayan GPS (Global Positioning System) olmak üzere üç temel donanımdan oluşmaktadır. INS hava platformunun istenen rotadan sapmadan yol almasına yardımcı olurken, IMU radar anten faz merkezi pozisyonunun düzeltilmesini sağlar.



Şekil 3. Sentetik açıklık radarların blok şeması.

Öte yandan hareket sensörünün hava platformunun sarsıntı ve rota sapmalarını mekanik olarak telafi etmesi, tek başına SAR görüntülerinin istenilen odaklanmaya ulaşmasında yeterli değildir. Arta kalan milimetrik seviyedeki sapmalar ham veriden görüntü oluşturma aşamasında sinyal işleme algoritmalarıyla telafi edilmelidir. Aksi takdirde telafi edilmemiş arta kalan küçük sapmalar SAR görüntüsünün yeterince odaklanamamasına sebep olur.

2.3. Veri Ön İşleme

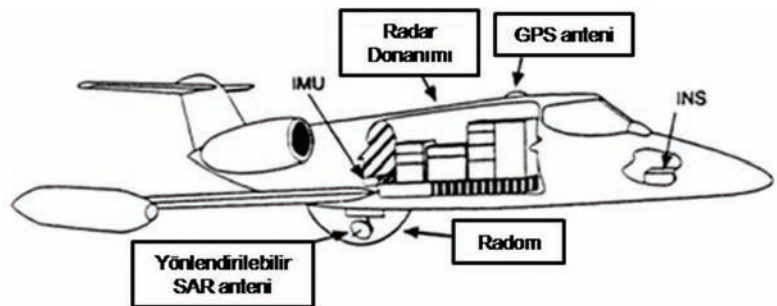
Veri ön işleme birimi Şekil 2'deki SAR sisteminde, SAR sensöründen gelen ham verinin hareket sensöründen gelen bilgiler doğrultusunda düzeltildiği birimdir. Öncelikle hareket sensöründen gelen INS, IMU ve GPS verileri burada SAR sinyalini düzeltme parametrelerine çevrilir. Daha sonra da SAR sinyalindeki platform sarsıntılarında kalan hataların birincil seviyede düzeltilmesi için kullanılır. Ayrıca bu birimde, daha sonraki işlem yükünü azaltmak amacıyla örnekleme, filtreleme, data formatlama vb. sinyal ön işleme işlemleri de yapılır.

2.4. Görüntü İşleme

Şekil 2'deki görüntü işleme birimi ise ön işlemeden geçmiş veriyi sinyal işleme algoritmaları kullanarak ham görüntü oluşturan birimdir. Bu aşamada veri ön işleme biriminde gerçekleştirilen mekanik sarsıntı telafisinden arta kalan hataların düzeltilmesi de gerçekleştirilmektedir. Ancak elde edilen bu görüntü hedef tespit ve tasnifi açısından kullanılabilecek kalitede yeterince odaklanmış değildir. Bu amaçla otomatik odaklama (autofocus) ve ardından benek gürültü (speckle) azaltma işlemleri de bu birimde yapılır. Bu aşamada hareket sensöründen elde edilen verilerden faydalanmak söz konusu olabilmektedir.

2.4.1. Benek Gürültüsü (Speckle)

SAR tekniği ile yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek mümkündür. Fakat elde edilen görüntülerde SAR görüntülerine has bir problem olan benek gürültüsü olmaktadır. Bunun nedeni, elde edilen ham verinin kompleks olması (yani genliği ve fazı-



Şekil 4. Hareket sensörü altyapısı.

nın olması) ve bu verinin eş evreli (yani ham verideki faz bilgisinin korunması) olarak işlenmesidir.

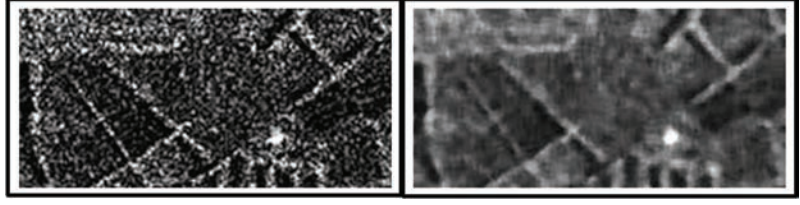
Her bir çözünürlük hücresi birden fazla yansıtıcı cisim ya da hedef içerdiği için her bir yansıtıcıdan kaynaklanan fazlar rastgele dağılım gösterir. Bu da saçıcıların birbirlerinin yansımalarını dağılıma göre zayıflatmasına ya da güçlendirmesine neden olabilir. Bu yansıtıcılar arasındaki istatistiksel girişim, SAR görüntüsüne Şekil 5'te görüldüğü gibi benekli bir görünüm katar ve hedef tespit ve tasnifini zorlaştırır. Bu girişimlerin SAR görüntüsü üzerindeki etkisi de gözlenebilir. Her ne kadar görüntünün çözünürlüğü azalsa da ancak benek gürültüsü azaltıldıktan sonra güvenilir hedef tespit ve tasnifi yapılabilir.

2.5. Görüntü Değerlendirme

Şekil 2'deki SAR sistem mimarisinin son bloğu olan görüntü değerlendirme biriminde ise hedef tespit ve tasnif işlemleri gerçekleştirilir. Etkili ve verimli şekilde görüntünün değerlendirilip en kısa sürede kullanıcının ihtiyaçlarına cevap vermesi için gerekli işlemler burada gerçekleştirilir.

3. SAR RADAR UYGULAMA ALANLARI

SAR sistemleri sağladıkları yüksek çözünürlük sayesinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle her türlü hava koşulunda ve gece/gündüz yer tespiti ve yer gözetleme gibi durumlarda oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Arazi profiline çıkarılması, yer araçlarının tespit ve takibi gibi yüksek çözünürlük gerektiren durumlarda tercih edilen bir sistemdir. Diğer bir kullanım alanı olarak da ileride oluşabilecek bir probleme karşı önceden önlem almak adına tarım, orman ve buzul alanlarının gözlemlenmesi gösterilebilir. Son olarak, Interferometrik SAR teknolojisiyle üç boyutlu arazi profili çıkarmak da mümkündür.



Şekil 5. Uzaysal süzgeçleme yöntemiyle benek gürültüsü azaltılması. Solda benek gürültüsü azaltılmadan önce, sağda ise benek gürültüsü azaltıldıktan sonra.

3.1. Polarimetrik SAR

Polarizasyon elektromanyetik dalganın elektrik alan vektör yönünü belirtmek için kullanılan bir kavramdır. Elektrik alan vektör yönü yatay (horizontal, H) ya da dikey (vertical, V) olabilir. Radar alıcı ve verici antenlerinin dizaynı da bu doğrultuda yapılır. Bu yüzden radar polarizasyonu alıcı ve verici antenin polarizasyonları doğrultusunda belirlenir. Buna göre HH, HV, VV ve VH olmak üzere dört farklı radar polarizasyonu mevcut olabilir. Örneğin, polarizasyonu VH olan bir radarın verici antenin dikey polarizasyonlu elektromanyetik dalga üretirken, alıcı antenin yatay polarizasyonlu elektromanyetik dalgayı algıladığı anlaşılabilir. Bir radar tek bir polarizasyona sahip olabileceği gibi birkaç polarizasyonu bir arada bulundurma özelliğine de sahip olabilir. Böyle radarlara çoklu polarizasyon radar denir. Genellikle araştırma radarları çoklu polarizasyona sahiptir.

Bir radar herhangi bir cisme veya yüzeye belli bir polarizasyonda elektromanyetik dalga gönderdiği zaman yüzeyden saçılan dalganın polarizasyonu ve yoğunluğu yüzeyin özelliklerine göre değişim gösterebilir. Bu değişim radar görüntüsünü de etkileyeceği için görüntüden yüzeyin özelliklerini anlamak mümkündür. Cisimlerin bu özellikleri polarizasyon imzası olarak tanımlanır. Polarizasyon imzası belli bir polarizasyona sahip olan bir elektromanyetik dalga ile aydınlatılan bir cisimden geri yansıyan yankıların yoğunluk, polarizasyon gibi değişen özelliklerini gösteren bir kavramdır.

Her cisimim kendine özgü tek bir polarizasyon imzası vardır. Polarizasyon imzası, radar frekansı ve bakış açısı, gönderilen dalganın düşme açısı ve polarizasyonuna bağlı olarak değişir. Ayrıca cismin geometrik yapısına, yönüne, geri yansıtma özelliğine (reflectivity) ve atmosferik özelliklere göre de değişmektedir. Bu sayede elde edilen radar görüntüsünün tanımlanması ve sınıflandırılması (image classification) mümkün olmaktadır.

3.2. İnterferometrik SAR

Sinyalin genliği hedefin geri yansıtma özelliğini ortaya koyarken, faz bilgisi hedefe olan uzaklığa göre belirlenen bir değerdir. İnterferometrik SAR iki SAR görüntüsünde birbirine karşılık gelen piksellerin fazlarının farkını kullanarak yükseklik bilgisi elde eder. Şekil 6'da İnterferometrik SAR tekniğinin çalışma prensibi gösterilirken, Şekil 7'de elde edilen faz farkına karşılık gelen yükseklik bilgisi gösterilmiştir. Bu yüzden bir görüntünün sahip olduğu faz tek başına anlamsızdır. Klasik SAR metodlarından farklı olarak İnterferometrik SAR tekniği hedeften geri yansıyan sinyalin genliğinin yanı sıra faz bilgisini de kullanarak hedefin üçüncü boyutunu da ölçme imkanı sağlar. Bu nedenle çoğunlukla yeryüzü topografyasının haritasını çıkarmak ya da belli bir bölgede meydana gelen topografik değişiklikleri gözlemlemek amacıyla kullanılır. Bu sistemler çoğunlukla uzay platformlarına monte edilir.

İnterferometrik SAR tekniğinde faz bilgisi aynı bölgeden elde edilmiş iki farklı görüntünün karşılaştırılmasıyla elde

edilir. Farklı görüntüler elde etmenin iki farklı yolu vardır. Bunlardan birincisi bir uzay platformunun aynı topografya bölgesinden iki farklı zamanda geçerek elde ettiği görüntülerin kıyaslanmasıdır ve buna tekrar geçişli (repeat-pass) interferometri tekniği denir. Bu teknikte, iki farklı görüntü alımı arasında geçen zaman aralığında bölgede önemsenerek büyüklükte bir değişimin olmadığı varsayılır. İkincisi ise iki farklı uzay platformunun birbirlerine göre belli bir mesafede konuşlanarak farklı bakış açılarından eş zamanlı elde ettikleri görüntülerin kıyaslanmasıdır ve buna tek geçişli (single-pass) interferometri tekniği denir.

4. SAR TEKNOLOJİLERİ

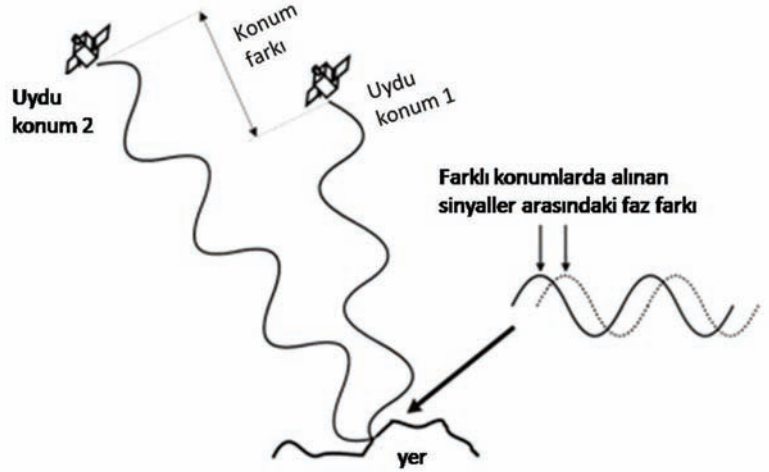
Bu bölümde geçmişten günümüze kullanılmış ve gelecekte kullanımı planlanan uydu ve uçak platformlarında kullanılan SAR sistemlerinin teknik özellikleri ve uygulama alanları özetlenmiştir.

4.1. Uydu Platformlarında SAR

SAR sistemleri ilk olarak uydu platformlarında kullanılmaya başlanmıştır. 1978 yılında fırlatılan ilk uydu SAR platformu SeaSAT-A uydusudur. Dünyadaki okyanus topografyasını çıkarmak amacıyla fırlatılan bu uydu L bandında (1-2 GHz) çalışmaktadır. SeaSAT'tan günümüze kadar askeri ve sivil amaçlı birçok uydu SAR sistemi geliştirilmiş ve fırlatılmıştır. Bunlardan teknik özellikleri açısından ön plana çıkan uydu SAR sistemleri hem polarimetrik hem de interferometrik yapıya sahip olan SIR-C/X-SAR, SRTM, Radarsat 1 ve Radarsat 2 uyduları gösterilebilir.

4.1.1. SIR-C/X-SAR

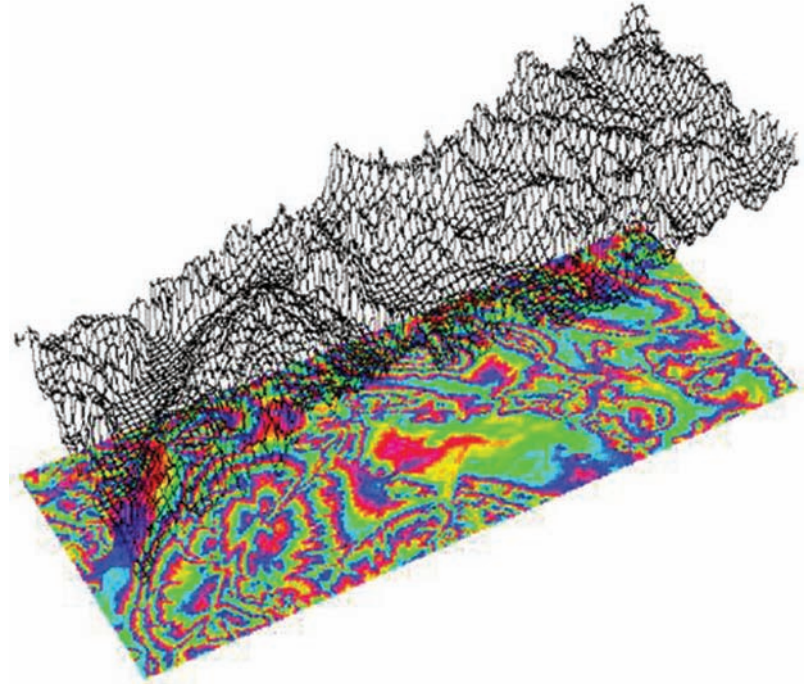
ABD, Almanya ve İtalya ortak yapımı olan SIR-C/X-SAR (Spaceborne Imaging Radar C/X band SAR) uydusu dünyadaki insan kaynaklı iklim değişikliklerini gözlemlemek için Nisan 1994 ve Eylül 1994 tarihlerinde iki kere uzay



Şekil 6. Interferometrik SAR tekniğinin çalışma prensibi.

mekiği Endeavour üzerinde fırlatılmıştır. SIR-C (Amerika) kısmı L ve C bantta çalışabilmektedir. Her iki frekansta tüm yatay ve dikey polarizasyonlu dalgaları (VV, VH, HV, HH) gönderme ve algılama kabiliyetine sahiptir. Radar anteni faz dizili bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla radar hüzmesi elektronik olarak yönlendirilebilmektedir. X-SAR (Almanya ve İtalya) kısmı ise X bantta tek po-

larizasyonlu (VV), yani sadece dikey polarizasyonlu dalgaları gönderip algılayabilir. X-SAR anteni dilimli dalga kılavuzu yapısına sahiptir ve mekanik hareketlerle L ve C bant hüzmelerine göre X bant hüzmeyi hizaya sokar. Aynı anda farklı dalga boylarında ve polarizasyonlarda görüntü alabilen ilk tekrar geçişli interferometrik uydu SAR sistemidir.

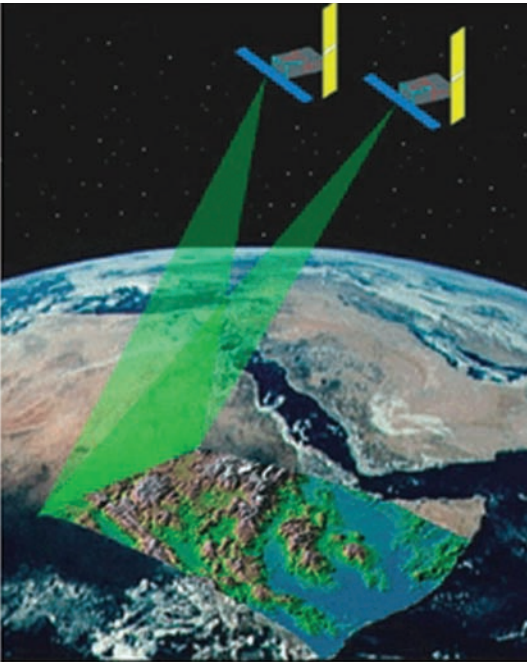


Şekil 7. Faz bilgisinden yükseklik bilgisinin elde edilmesi.

4.1.2. SRTM

SRTM uzay SAR uydusu yine ABD, Almanya ve İtalya ortak yapımı yeryüzünün yüzde 80'ninden fazla bölgesinin yüksek çözünürlükte dijital yükseklik haritasını çıkarmak amacıyla Şubat 2000 tarihinde iki defa uzay mekiği Endeavour ile fırlatılmış bir uydudur. Bu uydunun içerisinde iki tane SAR radarı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi C bantta ve HV polarizasyonda çalışan ABD'nin sorumluluğundaki C-radar, diğeri ise X bantta ve VV polarizasyonda çalışan Almanya ve İtalya'nın sorumluluğundaki X-radar'dır.

Her iki interferometrik sistem SIR-C/X-SAR platformundaki sistemler üzerinde yapılan küçük değişikliklerle kullanılmıştır. SIR-C/X-SAR uydusundan farklı olarak tek geçişli interferometri elde etmek için, bu uydudaki gönderme ve almaya olan her bir radara ek olarak 60 m mesafede konuşlandırılmış bir almacı eklenmiştir. Bunun nedeni mevcut sistemlerde gözlenen tekrar geçişli interferometri radarlarıyla yüksek kalitede veri elde edilememesidir. Ayrıca C-bant ve X-bant radarın aynı anda çalışabilmesi, verilerin karşılaştırılarak birbirini karşılıklı olarak doğrulama imkanı sağlamaktadır.



4.1.3. Radarsat

Radarsat uydusu Radarsat 1 ve Radarsat 2 olmak üzere Kanada'nın ilk seri uydusudur. Radarsat 1 uydusu, 5 yıl yörüngede kalması planlanarak Kasım 1994'te fırlatılmıştır. Sağ bakışlı bir SAR radarıdır, diğer bir deyişle uydunun yörüngesinin sağında kalan yönde hüzmeye aydınlatma yapar. Tek polarizasyonlu (HH) ve tek frekansta (C-bant, 5.3 GHz) çalışmasına rağmen yedi farklı hüzmeye tarama moduyla farklı çözünürlüklerde görüntü elde etmek mümkündür. Radarsat 1'i diğerlerinden ayıran en önemli özelliği ise güneş enerjisi ile çalışıyor olmasıdır. Bununla birlikte frekans ve faz kararlığına sahip bir SAR sistemi olduğu için tekrar geçişli SAR interferometrisine uygun bir sistemdir.

Radarsat 2 uydusu Aralık 2007'de fırlatılmıştır ve planlanan görev süresi 7 yıldır. Radarsat 1'in devamı olan bu uydudan farklı olarak tam polarimetrik (VV, VH, HV, HH), sağ bakışın yanı sıra sol bakışa da sahiptir. Ek olarak, 10 farklı hüzmeye yapıyla 3m'den 100m'ye değişen çözünürlükte farklı polarizasyonlarda görüntü elde etmek mümkündür.

Radarsat 1 ve 2'nin her ikisi de deniz buz haritalarının çıkarılması, gemi rotalarının belirlenmesi, buz dağı tespiti, tarımsal alanların izleme altında tutulması, hava kirliliği, gemiler için gözetim ve hedef tespit ve takibi ile son olarak topografik harita çıkarılması amacıyla kullanılmaktadır. Yeryüzünde meydana gelen çevresel değişimleri gözlemlemek, doğal felaketlerin önceden kestirilebilmesi ve doğal kaynakların muhafaza edilmesini desteklemek amacıyla geliştirilmiştir.

5. GENEL DEĞERLENDİRMELER ve SONUÇ

SAR sistemleri standart radarların pratikte sağlayamadığı yanca yönünde yüksek çözünürlüğü uyguladıkları veri toplama yöntemi ve veri işleme

algoritmalarıyla sağlayabilmektedirler. Ayrıca kullandığı sentetik açıklık yöntemi nedeniyle platform sarsıntısının elde edilen görüntünün odaklanabilmesi açısından telafi edilmesi şarttır. Son olarak, SAR sistemleri askeri ve sivil alanda sağladığı yüksek çözünürlük avantajı sayesinde oldukça geniş kullanım alanı bulmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Soumekh M., Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB algorithms, John Wiley & Sons Inc., New York, 1999.
2. Carrara W.G., Goodman R.S., Majewski R.M., Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms, Artech House, Inc., Boston, London 1995.
3. Stimson G.W., Introduction to Airborne Radar, SciTech Publishing, Inc., New Jersey, 1998.
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_aperture_radar
5. <http://southport.jpl.nasa.gov/desc/imagingradarv3.html>
6. <http://www.sandia.gov/radar/whatis.html>
7. Franceschetti G., Lanari R., Synthetic Aperture Radar Processing, CRC Press, New York, 1999.
8. http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/chapter3/06_e.php
9. http://www.tiger.esa.int/training/SAR_LA1_th.pdf
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Interferometric_synthetic_aperture_radar
11. http://fogarty.org/tim/sir-c_fact_sheet_jan94.html
12. http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_paper.pdf
13. http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/radar/spaceborne/radarsat1/index_e.php
14. <http://www.radarsat2.info/about/mission.asp>
15. http://tr.wikipedia.org/wiki/Global_Hawk