

# Yapay Açıklıklı Radar Ham Veri Simülatörü

Ozan Doğan(1,2) Mesut Kartal (1) Sedef Kent(1)  
odogan@be.itu.edu.tr mkartal@ehb.itu.edu.tr kent@ehb.itu.edu.tr

(1)İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Maslak İstanbul  
(2)MilSOFT, ODTU Teknokent ODTU, Balgat, Ankara

**Özet:** Bu çalışmada yapay açıklıklı radar (YAR) ham veri simülatörü sunulmuştur. Bu simülatör üç boyutlu (3B) yüzey modeli ve radar parametrelerini kullanarak, çalışılan sahanın geri saçılan alan karakteristiklerini şerit boyunca modellemekte ve YAR ham verisi üretmektedir. Üretilen ham veri üzerinde, kutupsal format algoritması kullanılarak menzil göçmesi (range migration) uygulanmakta ve ters Fourier dönüşümü ile YAR görüntüsü elde edilmektedir. Fiziksel yüzeyin modellenmesi amacıyla sayısal yükseklik haritası (SYH) üçgenlere ayrılarak radar kesit alanı hesaplanmakta ve radar eşitliği kullanılarak yüzeyin yansıtma katkısı hesaplanarak YAR ham verisi elde edilmektedir. Referans olarak alınan algılayıcı pozisyonu ve algılayıcının ışıttığı alan özellikle gölge alanlarının ve radar kesit alanlarının hesaplama yoğunluğunu azaltmak amacıyla küresel koordinat sisteminde, şerit boyunca uçuş geometrisi ve menzil göçmesi ise silindirik koordinat sisteminde modellenmiştir.

## 1. Giriş

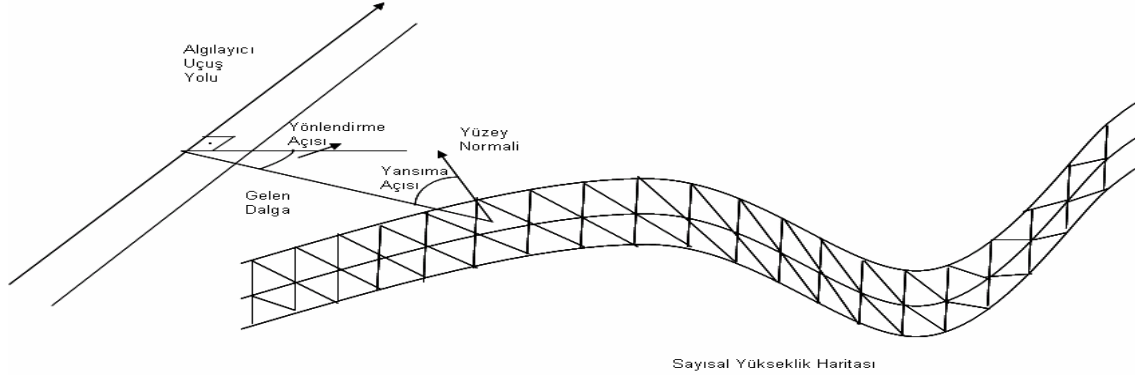
Günümüzde, YAR algılayıcı tasarımı, YAR görev planlaması ve SYH doğruluğunu artırma uygulamalarında kullanılmak üzere bir çok YAR simülatörü geliştirilmiştir. YAR algılayıcı tasarımı örnekleri bir çok ülkede öncelikle hedeflenen uygulamaya yönelik olarak algılayıcının simülasyon ortamının kurulmasını içerir. Bundan sonraki adım tasarlanan bu YAR algılayıcısı için görev planlaması yapılmasıdır. Bu planlama da YAR simülatörlerince gerçekleştirilir. Ülkemizin SYH doğruluğunun ve çözünürlüklerinin artırılması da YAR simülatörleri kullanılarak yapılabilmektedir.

Bugüne kadar geliştirilen YAR simülatörleri hedeflenen uygulamaya bağlı olarak iki ana eksende ilerlemiştir: YAR ham veri simülatörleri [1] ve YAR görüntü simülatörleri [2-3]. YAR algılayıcı tasarımı amacıyla gerçekleştirilen YAR ham veri simülatörleri ilk etapta yüzeyin fiziksel modelini elde eder. YAR görüntülerinin temel karakteristikği olan benek gürültüsünü modellemek amacıyla fiziksel model, nokta saçıcı modeline uygun bir fonksiyonla (genelde bu fonksiyon sinc'tir) konvolüsyona sokulur veya fiziksel modelin aynı menzil ve yanca mesafesindeki toplamsal katkısı hesaplanır. Bu çalışmada YAR algılayıcısının veri toplama mantığı dikkate alınarak ikinci yaklaşımın benek gürültüsünü daha doğru modellediği düşünülmüş ve bu model kullanılmıştır. Sonrasında YAR anten parametreleri kullanılarak YAR ham verisi oluşturulur. YAR simülatörüne gereksinim duyan diğer uygulamalar ise görev planlaması ve SYH doğruluğunun artırılmasıdır. Bu uygulamalar hesaplama yoğunluğunu azaltmak amacıyla YAR ham veri oluşturma safhasını atlayarak doğrudan algılayıcı geometrisini kullanan ve YAR görüntüsü oluşturan YAR görüntü simülatörüne ihtiyaç duyar.

Bu makalede hedeflenen uygulama, YAR algılayıcı tasarımı amacıyla YAR simülatörü geliştirmektir. Bu amaçla YAR ham veri simülatörü elde edilmiştir. Doğruluk analizi yapabilmek amacıyla YAR görüntüsü de elde edilmiş ve varolan Türkiye SYH'lerine uygulanmıştır. YAR simülatörlerindeki en önemli problem hesaplama yoğunluğudur. Bu çalışma fiziksel yüzeyi küresel koordinatlarda modelleyerek gölge alanların bulunması için kullanılan ışın izleme algoritmasını gürbüzleştirmiştir. YAR görüntülerinin oluşturulması için gerekli olan bir çok ara işlemi atlayarak yeni bir YAR görüntü geometrisi tanımlamış ve radar eşitliği ile elde ettiği yüzey geri saçılma katkısını bu geometriye ağırlıklandırarak dönüştürmüş ve böylece hesaplama yoğunluğunu azaltmıştır. Ancak elde edilen hesaplama yoğunluğu, yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesi amaçlandığında zaman kısıtlı uygulamalar için hala yeterli değildir.

## 2. YAR Simülasyonu Sistem Gereksinimleri

YAR ham verisi yüzeyden yansıyan dalgaların algılayıcı geometrisi ile birleştirilmesi sonucu oluşur. Yüzeyden yansıyan verinin modellenmesi amacıyla bir çok yöntem önerilmiştir[1]. Bu çalışmada yüzeyin modeli için öncelikle varolan SYH üçgenlere ayrılmış ve yüzey normalleri elde edilmiştir. Daha sonra gelen dalga ile yüzey normali arasındaki yansıma açısı bulunmuştur (Şekil 1). Literatürde Radar Kesit Alanı (RKA) bulunması ile ilgili bir çok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada RKA, bulunan bu açının kosinüsü olarak modellenmiştir[3]. Böylece gelen dalga ile yansıyan dalga arasındaki açı azaldıkça daha yüksek bir saçılma garantisi edilmektedir. RKA'ya diğer bir katkı da YAR bakışındaki üçgen alanlarından gelmektedir. Eşitlik.1 de radar geri yansıması verilmektedir.



**Şekil 1. YAR Algılayıcı Geometrisi**

Bu modelde RKA'ya ek olarak; direkt olarak değil de yüzeyin farklı noktalarından yansıyarak YAR radarına ulaşan dalgaları modellemek amacıyla bir faz terimi, menzil mesafesi ile karesel olarak gerilim düşümünü modelleyen ters orantılı bir menzil terimi ve YAR'ın görüşünde olmayan veya yansıma açısı 90 dereceden büyük olduğu için katkı alınmayan bölgeleri modellemek üzere bir gölge terimi bulunmaktadır. Gölge alanların tespiti amacıyla küresel koordinatlarda ışın izi sürülmüş ve gelen dalga'nın eğimi arttığı sürece ve yansıma açısı 90 dereceden küçük olduğu sürece ilgilenilen yüzeyden yansıma alındığı varsayılmıştır. Bu sebeple küresel koordinatlarda yönlendirme açısı boyunca ilerlerken üzerinden geçilen noktaların eğimlerine bakılması yeterli olmuştur.

$$\gamma(x, R) = \frac{A \exp(j\theta) RKA}{4\pi R^2} * g \text{ölg}e \quad (1)$$

### 3. YAR Ham Veri Eldesi

Bu çalışmada silindirik koordinatlarda tanımlanan YAR geometrisinde aynı menzil ve çapraz menzil mesafesindeki YAR katkılarının karmaşık olarak toplanması sonucu YAR görüntüsü elde edilmiştir. Literatürde daha çok güç bilgilerinin eş zamanlı toplanması daha sonra bu görüntüye YAR görüntülerine has benek gürültüsünün eklenmesine rastlanır. Oysa benek gürültüsü aynı menzil mesafesindeki birden fazla saçıcının farklı faz bilgilerinde yansımalarının toplanmasından kaynaklanır. Bu toplama sonucu fazlarından ötürü saçıcılar birbirini güçlendirebilir veya sönmüldirebilir.

YAR sistemin Şekil 1'deki gibi x yönünde sabit bir hızla h yüksekliğinde ilerlediğini düşünelim. YAR sistemi t anlarında doğrusal frekans modülasyonlu dalgalar gönderirse dalga formu şu şekilde olacaktır[1]:

$$\exp[j\omega(t-t_n) + j\frac{\alpha}{2}(t-t_n)^2] \quad (2)$$

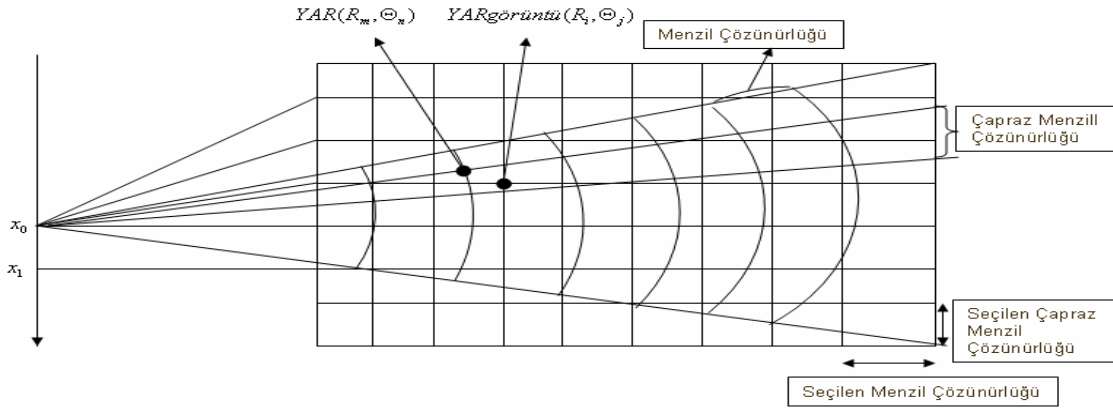
$\alpha\tau=2\pi Af$ ,  $Af$  darbenin bant genişliği,  $\tau$  darbe süresidir. Bu dalga kullanılarak elde edilecek olan radar verisi ise:

$$YAR(x, R) = \int \gamma(x' - x, R' - R) \exp(j\phi) dx' dR' \quad (3)$$

biçiminde olup burada

$$\phi = -\frac{4\pi}{\lambda} \left\{ (R + \Delta R) + \frac{\Delta f}{c\tau} (R + \Delta R)^2 \right\} \quad (4)$$

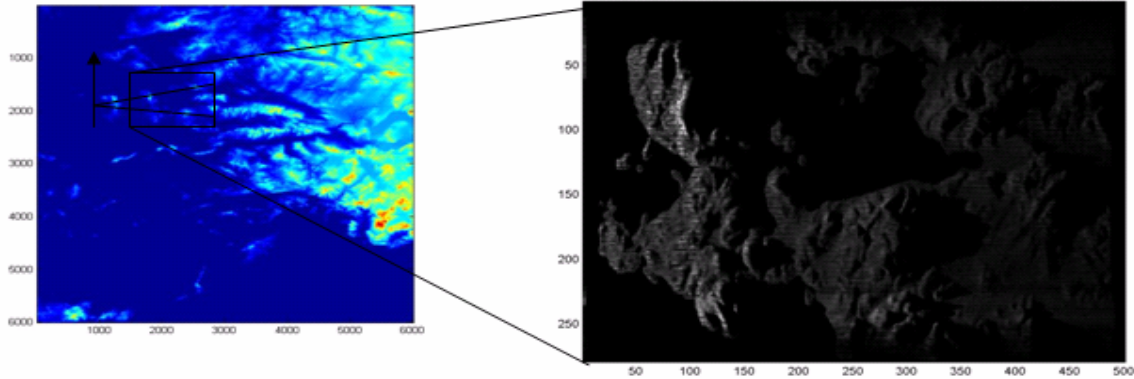
dir. Eşitlik 4'te,  $\Delta R$  YAR geometrisinde ilgilenilen menzil mesafesi ile bu mesafeye katkıda bulunan radar geri yansımasının menzil mesafesi arasındaki farktır. Eşitlik 3 YAR ham veri simülatörlerinin hepsinde yer alan temel fonksiyondur. Bu fonksiyon mevcut haliyle YAR'ın yerdeki izini değil de tüm yüzeyi içermektedir. Bu sebeple integralin sınırları sadece YAR'ın izini içerecek şekilde belirlenmiştir. Şekil 2'de bu çalışmada gerçekleştirilen YAR görüntü geometrisi görülmektedir. YAR verisi algılayıcının pozisyonu ve menzilin bir fonksiyonudur. Menzil terimi YAR'ın menzil çözünürlüğünün katlarıncaya artarken algılayıcı pozisyonunun şerit boyunca çapraz menzil çözünürlüğüne arttığı varsayılmıştır. Bu veri daha sonra kullanıcının belirlediği çözünürlükte oluşturulan YAR görüntü fonksiyonuna ağırlıklandırılarak örneklendirilmiştir.



Şekil 2. YAR Görüntü Geometrisi

#### 4. Benzetim Sonuçları

İlk olarak SYH çözünürlüğü YAR menzil ve çapraz menzil çözünürlüklerine ara değerlendirme ile getirilmelidir. Ancak hesaplama yoğunluğunu azaltmak üzere bu işlem yapılmamış ve elde edilecek olan YAR görüntüsü ile SYH görüntüsü aynı çözünürlükte ele alınmıştır. Simülasyonda kullanılan YAR sistemi verisinin özellikleri ve SYH kullanılarak elde edilen İzmir şehrine ait YAR görüntüsü iki boyutlu ters Fourier dönüşümü ile elde edilmiş ve Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. SRTM'den elde edilen SYH ve İzmir yöresine ait YAR görüntüsü (Frekans: 5GHz, Darbe Bant Genişliği: 70MHz, Darbe Süresi: 55  $\mu$ s, Yükseklik: 4.5km, MenzilÇözünürlüğü:90m, Çapraz Menzil Açısıl Çözünürlüğü:3°, İz uzunluğu: 31.5 km, Bakış Açısı: 74°)

Bu YAR simülatöründe deniz yüzeyleri ayrıca modellenmediğinden deniz bölgelerinden yansıma alınmadığı varsayılmıştır. Şekil 3'ten de görüldüğü gibi YAR simülatörü yüzey topografyasını oldukça iyi modellemektedir. Görüntüye ayrıca bir benek gürültüsü elde edilmesine gerek yoktur.

#### 5. Sonuçlar

Bu çalışmada şerit modda bir YAR ham veri simülatörü geliştirilmiştir. Çalışma bir çok uygulamanın aksine benek gürültüsünü YAR algılayıcısının veri toplama mantığının doğal bir sonucu olarak modellemekte ve bu gürültünün istatistiksel modelinin elde edilen YAR görüntüsüne eklenmesi gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Çalışmadaki diğer katkılar ise günümüzde kullanılan YAR simülatörlerinin en önemli sorunu olan hesaplama yoğunluğu problemine gölge alanlarının tespiti için önerdiği ışın izleme algoritması ve hızlı YAR görüntüsü elde edilmesi amacıyla algılayıcı uçuş yoluna bağlı bir görüntü düzlemine YAR verisini örnekleme ve ara adımları atlamasıdır. Çalışmada hala hesaplama yoğunluğu ciddi bir problemdir. Bir diğer zayıf nokta ise deniz yüzeylerinin modellenmemiş olmasıdır.

#### 6. Teşekkür

Yazarlar tartışmalarıyla çalışmamıza destek veren Bilkent Üniversitesinden Prof. Dr. Orhan Arkan'a teşekkür eder.

#### Kaynaklar

- [1]. Franceschetti G., Migliaccio M., Riccio D., Schirinzì G., " SARAS: A Synthetic Aperture Radar (SAR) Raw Signal Simulator," IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing, s: 30, no:1, Ocak 1992.
- [2]. Gelautz M., Frick H., Raggam J., Burgstaller J., Leberl F., " SAR Simulation and Analysis of Alpine Terrain," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 53 (1998) 17-38
- [3]. Liu H., Zao Z., Jezek K.C., "Correction of Positional Errors and Geometric Distortions in Topographic Maps and DEMs Using Rigorous SAR Simulation Technique," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, s:70, no. 9 Eylül 2004