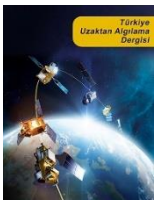
Turkish Journal of Remote Sensing

Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi

https://dergipark.org.tr/tr/pub/tuzal

ISSN 2687-4997



Yapay açıklıklı radar görüntüleme algoritmalarının karşılaştırılması

Enes Yiğit[1*]

[1]*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karaman*

Anahtar Kelimeler:
Uzaktan Algılama
Yer-Bazlı YAR
Uyumlanmış Filtre Algoritması
Geriye İzdüşüm Algoritması
w-k algoritması

ÖZ

Bu çalışmada yapay açıklıklı radar görüntülerinin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerden, Uyumlanmış Filtre, Geriye-İzdüşüm ve w-k algoritmalarının görüntü oluşturmadaki performansları karşılaştırılmıştır. Kıyaslamada çözünürlük, işlem süresi, sinyal-gürültü oranı, sinyal-karışıklık oranı ve tümleşik yan lop oranı gibi parametreler dikkate alınmıştır. Algoritmalar hem benzetim verilerine hem de 14- 18 GHz bandında ölçülen gerçek yer-bazlı yapay açıklıklı radar verilerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, hangi tekniğin amaçlanan hedef için daha yararlı olduğu konusunda karşılaştırmalı veriler sağlamaktadır.

Comparison of the synthetic aperture radar imaging algorithms

Keywords:
Remote sensing
Ground-Based SAR
Matched Filter Algorithm
Back projection Algorithm
w-k algorithm

ABSTRACT

In this study, the performances of the matched filter, back-projection and w-k algorithms used in the reconstruction of the synthetic aperture radar images are compared. In the comparison, the parameters such as resolution, processing time, signal-to-noise ratio, signal-to-clutter ratio and integrated side lobe ratio are considered. The reconstruction algorithms are applied to both simulation data and real ground-based synthetic aperture radar data measured in 14-18 GHz band. The obtained results provide comparative data on which technique is more useful for the desired purpose.

***Sorumlu Yazar**

*(enesyigit@kmu.edu.tr) ORCID ID: 0000-0002-0960-5335

Kaynak Göster (APA);

YİĞİT, E . (2019). Yapay açıklıklı radar görüntüleme algoritmalarının karşılaştırılması. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi* , 1 (1) , 1-7 .
Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/tuzal/issue/50531/644282

Araştırma Makalesi
DOI: XXXXXXXXXXXX

Geliş Tarihi: 08/11/2019; Kabul Tarihi: 07/12/2019

1. GİRİŞ

Yapay Açıklıklı Radar (YAR), son 70 yıldır genellikle hava veya uzay-tabanlı sistemler ile yeryüzü veya yeraltı hedeflerinin yüksek çözünürlüklü elektromanyetik (EM) görüntülerinin oluşturulmasında kullanılan bir sinyal işleme tekniğidir (Bennet ve Cumming, 1979). Kullanılan dalga boyu, anten açıklığı ve görüntülenecek hedefin genişliğine bağlı olarak uzak alan ve yakın alan YAR görüntüleme uygulamaları yapılmıştır. Uzak alan uygulamalarında kullanılan uydu ve uçak temelli YAR sistemleri oldukça karmaşık yapıya sahip olup maliyetli platform gereksinimlerinden dolayı genel olarak karmaşık ve pahalı sistemlerdir (Bennet ve Cumming, 1979). Diğer yandan son yıllarda uygulanmaya başlanan düşük maliyetli ve pratik Yer-bazlı YAR (YB-YAR) sistemleri ile mağara girişi, tünel, köprü, su kanalı, otoyol, yer-altı mayını, bitkisel örtü gibi küçük ölçekli yapılara ait radar görüntüleri başarıyla elde edilmiştir (Leva ve ark., 2003; Zhou ve ark., 2004, Yigit ve ark., 2012). YB-YAR sistemleri geleneksel YAR sistemlerine oldukça benzemekle beraber, görüntü ve sinyal işleme tekniklerinde değişiklikler olmaktadır. Genellikle YAR, hedeften yansıyan sinyalleri iki boyutlu (2B) uzamsal-zaman bölgesinde toplar. Ancak, aynı menzilde fakat farklı yanca da bulunan hedeflerden alınan yansımalar da aynı yanca frekansında toplanır. Bunun sonucunda odaklanmamış ham YAR verisi elde edilir. Literatürde ham YAR verisinden odaklanmış görüntü elde etmek için birçok çalışma yapılmıştır. Range Doppler Algoritması (RDA) (Bennet ve Cumming, 1979) en temel odaklama algoritması olup kırk yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. RDA aynı yanca frekansında toplanmış hedefleri birbirinden ayırmak için Menzil Hücre Göçü Doğrulaması (RMCM) kullanır. RCMC hem menzil hem de yanca bölgesinde gerçekleştirilen bir çeşit interpolasyondur. RDA algoritmasındaki interpolasyon basamağında bazı değişiklikler yapılarak odaklama kalitesi arttırılmış ve radar anteninin farklı bakış açıları için algoritma genişletilmiştir (Jin ve Wu, 1984; Smith, 1991). Takip eden yıllarda RDA'daki interpolasyon basamağındaki işlem yükünden kaçınmak için, yeni algoritmalar geliştirilmiştir. Chirp Scaling Algoritması (CSA) herhangi bir interpolasyon adımına ihtiyaç duymadan, sadece ölçeklendirme faktörü çarpımlarıyla menzil göçünü telafi etmiştir (Cumming ve ark., 1992; Raney ve ark., 1994). Hem RDA hem de CSA lineer frekans modülasyon (LFM) dalga formu ile üretilen YAR sinyallerini odaklamaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte, vektör network analizörler (VNA) pratik radar uygulamaları için kullanılabilir hale gelmiş ve adım frekanslı sürekli dalga (SFCW) radarlar birçok YB-YAR sistemlerinde kullanılmaya başlamıştır (Yigit ve ark., 2011; Yigit ve ark., 2012; Yigit ve ark., 2013a). Ancak RDA ve CSA gibi popüler teknikler SFCW radar verisinde kullanılamadığı için Uyumlanmış Filtre Algoritması (MFA) [Yigit ve ark. 2011], Geriye-İzdüşüm Algoritması (BPA) [Yigit ve ark. 2013b], ve w-k algoritması (WKA) (Yigit ve ark., 2013a) gibi farklı teknikler SFCW yapıları için uygulanmıştır. Bu üç teknik, uzaktan algılama prensiplerinin ve YAR tekniğinin kavranması noktasında birçok araştırmacı için faydalı birer odaklama aracı olmuştur. Her bir tekniğin diğerlerine göre avantaj ve dezavantajları olmasına rağmen bu üç algoritmanın performansları şimdiye kadar karşılaştırılmamıştır. Bu çalışmada MFA, BPA ve WKA'nın YB-YAR verilerindeki performansları kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama yapılırken, Çözünürlük, İşlem süresi, Sinyal-Gürültü oranı (SNR), Sinyal-Karışıklık Oranı (SCR) ve Tümleşik Yan lop Oranı (ISLR) gibi parametrelerden yararlanılmıştır. MFA, BPA ve WKA literatürde sıklıkla kullanılan ve ayrıntıları verilen (Yigit ve ark. 2013a, Yigit ve ark., 2011) yöntemler olduğu için bu çalışmada bu algoritmaların sinyal işleme adımları literatüre havale edilerek performans karşılaştırma parametreleri ikinci bölümde verilmiş ve benzetim sonuçları üçüncü bölümde sunulmuştur. 4. bölümde deneysel sonuçlar ve kıyaslamaları verilirken sonuç bölümünde makale özetlenmiştir ve bulgular değerlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. YB-YAR performans göstergeleri: Çözünürlük

Radar terminolojisinde iki çeşit çözünürlükten bahsedilebilir. Bunlar menzil ve çapraz menzil (azimut) çözünürlükleridir. Menzil çözünürlüğü; aynı azimut açısında bulunan ancak farklı menzillerde yer alan iki veya daha fazla hedefin birbirinden ayırt edilebilme yeteneği iken, Azimut çözünürlüğü ise, aynı menzilde fakat farklı azimut açısında bulunana iki ya da daha fazla hedefin ayırt edilebilme yeteneğidir. Menzil çözünürlüğünü belirleyen en önemli ekten LFM sinyalde gönderilen darbenin genişliğidir. SFCW radarda ise bant genişliğidir. Buna göre menzil çözünürlüğü şu şekilde tanımlanır;

$$\delta_y = \frac{c}{2B} \quad (1)$$

Burada "c" ışık hızı iken, "B" bant genişliğini ifade etmektedir. Menzil çözünürlüğü tek bir faktör olan bant genişliğine bağlı iken, Azimut çözünürlüğü birkaç parametreye birden bağlıdır. Bunlar radarın hedefe olan mesafesi, kullanılan frekansın dalga boyu ve yapay açıklık mesafesidir. Buna göre kullanılan antenlerin demet genişliğinin taranılan bölge üzerindeki izdüşümü değişecek ve azimut çözünürlüğü artacaktır. YAR uygulamalarında radar anteni belirli bir hat boyunca ilerlerken, anten demet açısı içeresinde kalan hedeflerden alınan geri yansımaları toplamaktadır. Buna göre genel bir ifade

ile azimut çözünürlüğü, hedeflerin, antenin demet genişliğinde kalma süresiyle artacak veya azalacaktır. Buna göre azimut çözünürlüğü şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\delta_x = R_0 \frac{\lambda_c}{2L_{synt}} \quad (2)$$

Burada "R_0" antenlerin hedefe olan mesafesi, "λ_c" dalga boyu ve "L_{synt}" yapay açıklık mesafesidir. Şekil 1'e göre anten tarafından aydınlatılan bölgenin çapı

$$\Delta\theta = R_0\alpha \quad (3)$$

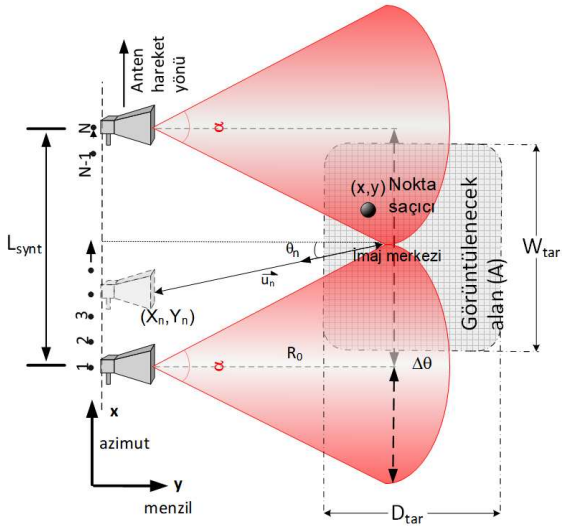
şeklindedir. Çapı "D" olan bir antenin demet genişliği "α" yaklaşık olarak şu şekilde ifade edilebilir.

$$\alpha = \frac{\lambda_c}{D} \quad (4)$$

Şekil 1 de görüldüğü gibi $\Delta\theta = L_{synt}$ olduğu zaman, denklem (2), (3) ve (4) kullanılarak, azimut çözünürlük formülü aşağıdaki şekilde yeniden tanımlanabilir.

$$\delta_x = R_0 \frac{\lambda_c}{2R_0\alpha} = R_0 \frac{\lambda_c}{2R_0\frac{\lambda_c}{D}} = \frac{D}{2} \quad (5)$$

Bu durumda azimut çözünürlüğü antenin çapının yarısına eşit olmaktadır. Yüksek azimut çözünürlüğü için küçük çaplı antenlere ihtiyaç duyulacağından milimetre dalga boyutlarında ölçüm yapılması gerekmektedir.



Şekil 1. İki Boyutlu YAR veri toplama şeması

2.2. Örnekleme Kriteri

YAR görüntülemede kullanılan parametrelerden biriside örnekleme aralığıdır. Radardan belirli bir menzil mesafesinde bulunan iki farklı hedeften alınan geri yansıma sinyallerinin, birbiriyle örtüşmemesi için örnekleme oranını yüksek tutulması gerekmektedir. Bu durumda menzil yönündeki frekans bölgesindeki gerekli örnekleme sayısı "Δy" ile, azimuttaki hedeflerden alınan yansımaların karışmaması için yapay açıklık boyunca alınması gerekli olan minimum örnekleme sayısı da "Δx" aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\Delta y = M\frac{c}{2B} \quad (6)$$

$$\Delta x = N\frac{\lambda_c}{2L_{synt}} \quad (7)$$

burada "M" SFCWR ın adım frekasn sayısını ifade ederken, "N" ise yapay açıklıktaki örnekleme sayısını göstermektedir.

2.3. Uzak Alan Kriteri

Bir diğer önemli parametre ise Uzak-Alan kriteridir. Uzak alan mesafesinde yayılan dalga için birçok yaklaşım yapılabilmektedir. Bu mesafe için yayılan dalganın fazı ve genliği menzil ve açıdan bağımsız olarak düzlemsel dalga yaklaşımlarının tamamı geçerlidir. Ancak yakın alanda düzelmesel dalga yaklaşımları geçerli olmadığından, yakın alan radar denklemlerinin çözümü zorlaşmaktadır. Şekil 1 de gösterildiği gibi, W_{tar} çapraz menzil genişliğine ve D_{tar} menzil derinliğine sahip bir bölgenin elektromanyetik dalga ile aydınlatılması durumunda, antenin bu bölgeye olan uzaklığı aşağıdaki şartları sağladığı taktirde uzak alan yaklaşımları geçerli olacaktır. Aksi takdirde yakın alan denklemleriyle görüntüleme yapılması gerekmektedir.

$$R_0 \geq \frac{2W_{tar}}{\lambda_c} \quad (8)$$

$$R_0 \approx 8.7D_{tar} \quad (9)$$

2.4. Sinyal-Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio (SNR))

Radar uygulamalarında en önemli sorunlardan biri gürültüdür. İletilen ve sonra toplanan bilgi sinyali ile bu sinyalin üzerindeki gürültü bileşenleri arasındaki orana sinyal gürültü oranı (SNR) denilir. Tüm YAR odaklama algoritmaları SNR yi yükseltmek için farklı sinyal işleme teknikleri kullanmaktadır. MFA SNR'yi frekans bölgesi çarpımlarıyla yükseltirken, BPA aynı sonuca menzil profillerinin eşevreli (coherent) toplamalarıyla ulaşmaktadır. WKA ise bunu frekans bölgesi sinyalini (k_x, w) bölgesinden (k_x, k_y) bölgesine interpole ederek yapmaktadır. Bu algoritmalar SNR yi maksimum edebilme kabiliyetine göre kıyaslandığı taktirde yaklaşık aynı sonucu verdikleri görülmektedir (A. Matthew, 2008) .

2.5. Sinyal-Karışıklık Oranı (Signal to Clutter Ratio)

SCR; hedeften alınan radar sinyal gücünün alınan karışıklık gücüne oranı olarak tanımlanmaktadır (Barton, 1988). YB-YAR

uygulamalarında yerden alınan yansımanın bastırılması önem arz ettiğinden SCR yi yüksek veren algoritma üstünlük göstermektedir. Bu çalışmada yapılan uygulamada, odaklama algoritmalarının SCR performanslarını kıyaslayabilmek için iki farklı tarama yapılmıştır. İlk tarama hedefler olmadan sadece arka plan yansımasının elde edilmesi için yapılırken ikinci tarama da hedefler konularak yapılmıştır. Böylelikle hedeflerin olduğu verinin maksimum genliği, arka plan yansımasının maksimum genliğine logaritmik olarak oranlanarak SCR hesaplanmıştır.

$$\mathrm{SCR} = 20\log_{10}\left(\frac{\mathrm{A_{tar}}}{\mathrm{A_{bck}}}\right) \quad (10)$$

Burada $\mathrm{A_{tar}}$ ve $\mathrm{A_{bck}}$ sırasıyla hedeften elde edilen sinyal ile arka plandan elde edilen sinyalin maksimum genliğini ifade etmektedir.

2.6. Tümleşik Yan lop Oranı (Integrated Side lobe Ratio (ISLR))

Birçok YAR algoritmasının görüntüleme kalitesinin değerlendirilmesinde rol alan diğer bir etken de ISLR'dir. ISLR kısaca, yan lopları bastırabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir ve şu şekilde formüle edilir;

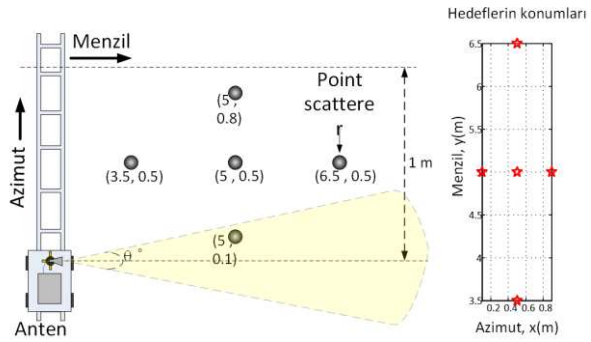
$$\mathrm{ISLR} = 10\log_{10}\left(\frac{\mathrm{E_{total}} - \mathrm{E_{main}}}{\mathrm{E_{main}}}\right) \quad (11)$$

burada $\mathrm{E_{total}}$ ve $\mathrm{E_{main}}$ sırasıyla sinyalin toplam enerjisi ve ana lopunun enerjisi olarak verilmektedir. Bir odaklama algoritması ISLR değeri ne kadar yüksekse, o derecede de görüntü kirliliği düşük olacaktır. Zira iki boyutlu bir radar görüntüsünde bulunan her hedefin yan lopları görüntüye parazit olarak eklenmektedir.

3. BULGULAR

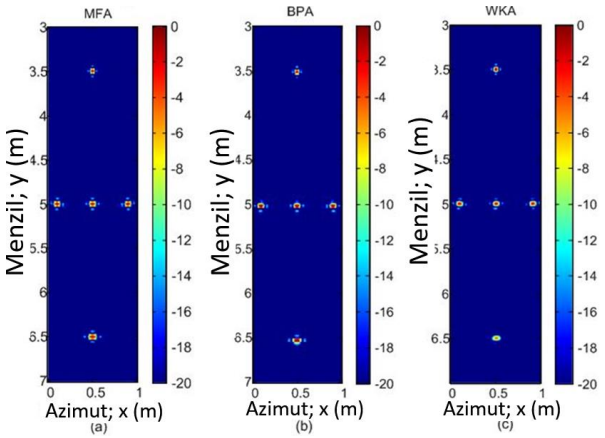
3.1. Benzetim sonuçları

Bu çalışmada sunulan tüm algoritmalar ve benzetim sonuçları MATLAB yazılımında gerçekleştirilmiştir. Konumları Şekil 2'de verilen 4 adet noktasal saçıcı hedef için geri saçılma sinyali $x = 0\,m$ den $x = 1\,m$' ye kadar toplam 201 eşit aralıkta toplanmıştır. Radar anteni olarak 16 GHz merkez frekansında monopol boynuz tipi anten simüle edilmiştir. Her bir yapay açıklık noktasında frekans 14 GHz ile 18 GHz arasında 201 kesikli adımda değiştirilirmiştir. Böylelikle ideal noktasal hedeflerin elektromanyetik benzetimi sonrası 201x201' lik 2-B uzamsal frekans B-Tarama YB-YAR verisi elde edilmiştir.

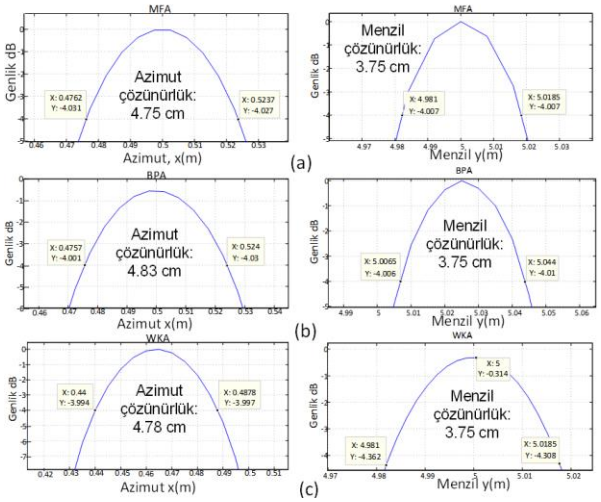


Şekil 2. Benzetim için YAR görüntüleme sistem geometrisi

Bu veriler ışığında denklem (8) ve (9) a göre yakın alan bölgesi doğrulanmaktadır. Ayrıca menzil ve azimut çözünürlükleri (1). ve (2). denklem yardımıyla 0.0375 m ve 0.0466 m olarak bulunmuştur. Karşılaştırma olarak MFA, BPA ve WKA sonuçları Şekil 3'de verilmektedir. Şekil 3'de verildiği gibi 3 algoritmanın da odaklama performansları oldukça başarılı görülmektedir. Her birisinde de hedefler doğru yerlerinde ve mükemmel olarak odaklanmıştır. Her algoritmanın göreceli çözünürlük performanslarını kıyaslamak için, hedeflerin birer kesitlerinin $(\mathrm{x} = 0.5\,\mathrm{m}, \mathrm{y} = 5\,\mathrm{m})$ incelenmesi gerekmektedir. 1. ve 2. Denklemle verilen formüller -4 db. çözünürlük formülleri olduğu için hedeflerin kesitlerinin Şekil 4' de verilen -4 dB 'lik genişlikleri ölçülerek, gerçek çözünürlük değerleri hesaplanabilir. Tüm çözünürlükler ve odaklamanın gerçekleşmesi için geçen süre Tablo 1' de verilmiştir.



Şekil 3. Simülasyon sonuçları (a) MFA, (b) BPA, (c) WKA



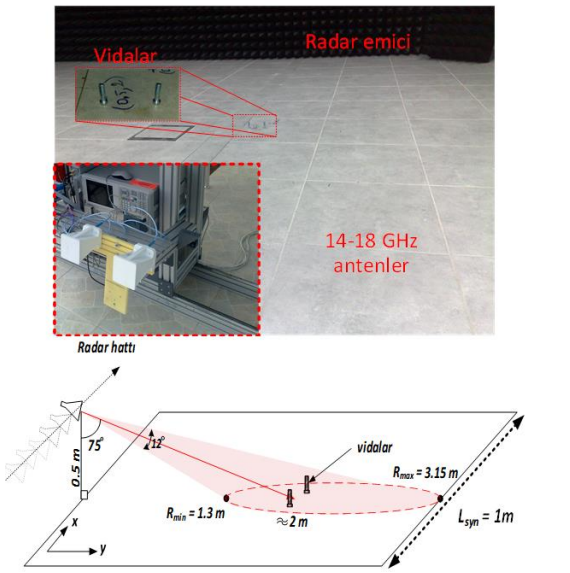
Şekil 4. Hedeflerin çevresindeki kesitler ($x = 0.5\ m, y = 5\ m$) (a) MFA, (b) BPA and (c) ω-kA

TABLO 1: Algoritmalar için teorik ve ölçüm çözünürlük değerleri ve işlem süreleri

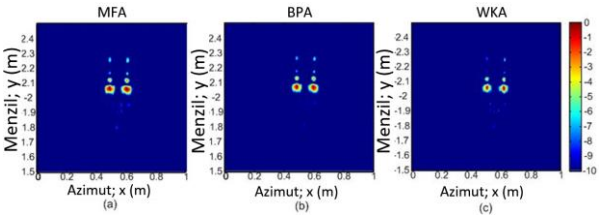
X-bant Benzetimi	Teori	Ölçüm		
		MFA	BPA	WKA
Azimut Çözünürlüğü (-4 dB)	4.66 cm	4.75 cm	4.83 cm	4.78 cm
Menzil Çözünürlüğü (-4 dB)	3.75 cm	3.75 cm	3.75 cm	3.75 cm
İşlem süresi		59.52 s	1.72 s	0.15 s

3.2. Ölçüm sonuçları

Deneysel veriler TUBITAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü İleri Teknoloji Laboratuvarında üretilen YB-YAR platformu yardımıyla elde edilmiştir. Ölçümde, 2 adet özdeş 10 cm çaplı X-Bant boynuz tipi anten kullanılmıştır (bak şekil 5(a)). 2 adet 2cm uzunluğunda ve 0. 5 cm çapında metal vida yaklaşık $x = 0.5$ m ve $y = 2$ m pozisyonuna yerleştirilmiştir. Anten yerden 50 cm yukarıya konuşlanmış ve yaklaşık 75 derecelik bakış açısıyla yer yüzeyine yönlendirilmiştir (şekil 5(b)). Yapay açıklık 1m olacak şekilde toplam 201 eşit noktada veri toplanmıştır. Frekans 14 GHz ile 18 GHz arasında 201 adımda değiştirilmiştir. Bu verilere göre teorik olarak menzil ve azimut çözünürlükleri 3.75 cm ve 5 cm olarak hesaplanmıştır. Şekil 6 da üç adet algoritma sonucu elde edilmiş görüntüler verilirken Tablo 2'de ise, işlem süreleri ve çözünürlükler verilmektedir.



Şekil 5. (a) X-Bant boynuz tipi antenler ve metal vidalar (b) Deneyin geometrik gösterimi

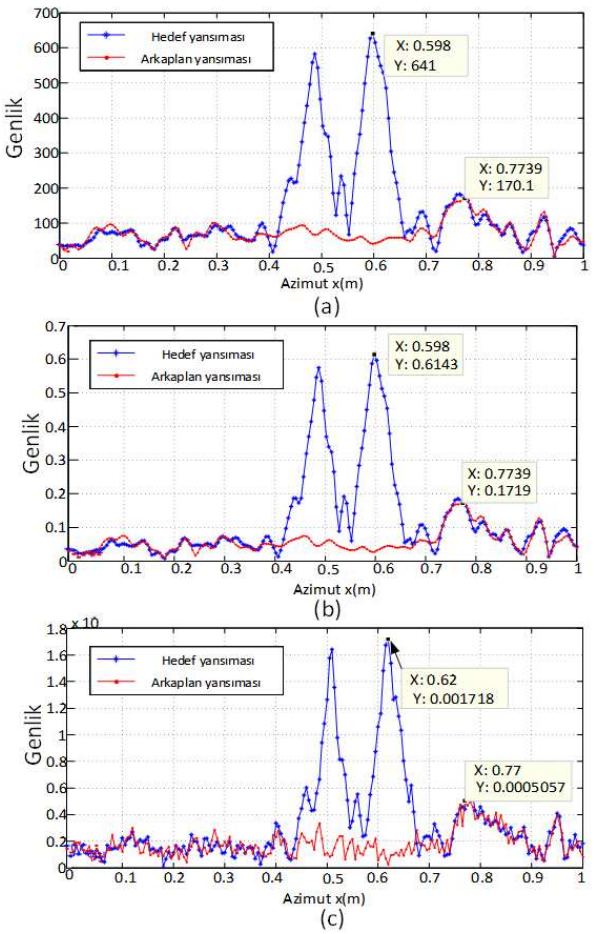


Şekil 6. Çeşitli odaklama algoritmalarıyla görüntülenmiş hedefler (a) MFA (b) BPA, (c) WKA

Her bir algoritmanın SCR ve ISLR değerleri hedeflerin bulunduğu noktalara ait kesitlerin çiziminden elde edilmektedir. Şekil 7'de 3 algoritma için hedeflerin bulunduğu noktalardan alınmış kesitler verilirken Tablo 2'de ise SCR ve ISLR değerleri verilmiştir.

TABLO 2: Algoritmaların karşılaştırılması

	X Bant Ölçüm Sonuçları		
	MFA	BPA	WKA
Azimut Çözünürlüğü	5.4 cm	5.2 cm	4.01 cm
Menzil Çözünürlüğü	4.3 cm	4.5 cm	4.4 cm
ISLR (dB)	-13.57 dB	-10.17 dB	-7.45 dB
SCR (dB)	11.53 dB	11.06 dB	10.62 dB
İşlem süresi	57.15 s	2.11 s	0.64 s
Yakın Alana Uyarlana bilirliği	Uygun	Uygun	Uygun
Eğik Mod adaptasyonu	Kolay	Kolay	Zor
Gerçek zamanlı /paralel işlem	Uygun değil	Uygun	Uygun değil



Şekil 7. Hedeflerin olduğu noktalardan alınan kesitler (a) MFA (b)BPA (c) WKA

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada 3 farklı YB-YAR algoritmasının performansları kıyaslanmıştır. MFA en yüksek doğruluğa sahip algoritma olmasına rağmen, işlem süresi değerlendirildiğinde oldukça yüksek işlem hacmine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte MFA diğer algoritmaların performanslarının kıyaslanması için bir referans algoritma olarak kullanılabilir. Bu nedenle BPA ve WKA kıyaslanırken referans olarak alınmıştır. Tablo 2' ye bakıldığında WKA'nın gerek menzil gerekse azimut çözünürlüğünün BPA dan daha yüksek olduğu görülmektedir. İşlem süresi bakımından da WKA, BPA'dan daha hızlıdır. Ancak BPA'nın, SCR ve ISLR sonuçları WKA'nın sonuçlarından daha yüksektir. Ayrıca BPA'nın WKA' ya nazaran başka üstünlükleri de mevcuttur. Eğik mod YB-YAR uygulamalarında hem MFA'nın hem de BPA' nın adaptasyonu çok kolay olmakta ve işlem süresine bir yük bindirmemektedir (Yigit ve ark. 2011). Bunun için sadece antenlerin koordinat sistemi eğik mod açısına göre yeniden ayarlanmalıdır. Ancak WKA'nın eğik mod için adaptasyonu çok daha fazla matematiksel denklem içermekte ve ayrıca algoritmanın işlemine ek yük bindirmektedir (Fortuny and L. Sanchez, 2001; Nguyen 2011). WKA blok işlem yaptığı için, tüm verinin toplanması gerekmektedir, ayrıca blok olarak interpolasyon yaptığı için, yapay açıklık boyunca eşit aralıklarla verilen toplanması çok önemlidir. Bu nedenle WKA gerçek zamanlı işleme müsait değildir. BPA ise her bir menzil profilini ayrı ayrı işlediği için, eşit aralıklı veri toplama zorunluluğu olmamakla birlikte gerçek zamanlı işleme de müsaade etmektedir. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalarla BPA'nın performansı arttırılarak işlem süresi azaltılmış böylelikle kullanım alanı artmıştır (Basu ve Bresler, 2000; Shu ve ark., 2000). Bu sonuçlar ışığında, amaca yönelik olarak farklı algoritmalar kullanılabilir ve geliştirilen yöntemler referans odaklama algoritması olan MFA ile karşılaştırılabilir.

Teşekkür

Yazar YB-YAR ölçümüne olanak sunan TUBITAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü İleri Teknoloji Laboratuvarına ve deneylerde yardımcı olan Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR ile Dr. Şevket Demirci 'ye teşekkürlerini sunar.

KAYNAKÇA

A. Matthew T. (2008). A Detailed Look at the Omega-K Algorithm for Processing Synthetic Aperture Radar Data. A thesis Master of Science, Dep. of Elec. and Comp. Eng. Brigham Young University.

Bennett, J. R. and Cumming I.G. (1979). A digital processor for the production of Seasat synthetic aperture radar imagery. Proc. SURGE Workshop, Frascati, ESA-SP-154.

Barton D. K. (1988). Modern Radar System Analysis. Artech House, 1988

Cumming, I., Wong, F. and Raney, K. (1992). A SAR processing algorithm with no interpolation. Proc. IGARSS '92, Houston, 376-379.

Fortuny, J. and Lopez-Sanchez, J. M. (2001). Extension of the 3-D range migration algorithm to cylindrical and spherical scanning geometries. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 49, no. 10, pp. 1434-1444.

Jin, M. Y. and C. Wu, "A SAR correlation algorithm which accommodates large range migration," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. GE-22, pp. 592-597, 1984.

Leva D. , Nico G., Tarchi D., Fortuny-Guasch J., and Sieber A. J. (2003). Temporal analysis of a landslide by means of a ground-based SAR interferometer. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, (41), 745–752.

Nguyen M. P. (2011). Omega-K Algorithm – A Generalization for Highly Squinted Spotlight SAR Imaging with Dechirp-on-Receive. Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar, Seoul, Korea, 137-140.

Raney R.K., Runge H., Bamler R., Cumming I.G., Wong F.H. (1994). Precision SAR Processing Using ChirpScaling. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 32(4), 786-799.

Basu, S. and Bresler, Y. (2000). O(N2 log2N) filtered backprojection reconstruction algorithm for tomography. IEEE Transactions on Image Processing, 9(10), 1760-1773.

Smith, A. M. (1991). A new approach to range-Doppler SAR processing. Int. J. Remote Sensing, vol. 12, 235-251.

Shu X., Munson, D. C., Basu, S. and Bresler, Y. (2000). An N2 log2N back-projection algorithm for SAR image formation. The Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA, vol. 1, 3-7.

Yigit E., Demirci Ş., Özdemir C., Tekbaş M. (2013a). Short range ground based synthetic aperture radar imaging performance comparison between frequency wavenumber migration and back projection algorithms. Journal of Applied Remote Sensing, 7(1), 1-15.

Yigit E., Demirci Ş., Ünal A., Özdemir C., Vertiy A. (2012). Millimeter wave Ground based Synthetic Aperture Radar Imaging for Foreign Object Debris Detection Experimental Studies at Short Ranges. Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 33(12), 1227-1238.

Yigit E., Demirci S., Yilmaz B., Ozdemir C. (2013b). Short range Ground based SAR Imaging Experiments Application of Back projection Algorithm. PIERS Proceedings, 872-875.

Yigit E., Unal A., Demirci S., Vertiy A., Ozdemir C. (2011). An adapted matched filter algorithm for millimeter wave ground based squint mode SAR applications. IEEE, 2011 International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves.

Zhou Z. S., Boerner V., Sato M. (2004). Development of a Ground-Based Polarimetric Broadband SAR System for Non- Invasive Ground-truth Validation in Vegetation Monitoring. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 42(9), 1803-1810.