

Deniz Yüzeyi ve Çevresindeki Saçıcıların Bistatik Saçılma Katsayısının Kutuplanma ve Saçılma Açısına Bağımlılığının İncelenmesi

Kamil Yavuz Kapusuz¹, Yaser Dalveren¹, Ali Kara^{1,2}

¹Atılım Üniversitesi
Elektronik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara

kapusuz.kyavuz@student.atilim.edu.tr, ydalveren@atilim.edu.tr, akara@atilim.edu.tr

²İLTAREN
BILGEM, TÜBİTAK
Ankara

ali.kara@tubitak.gov.tr

Özet: Yazarların bir diğer çalışmalarının devamı olarak gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, deniz yüzeyi ve çevresindeki yansıtıcıların bistatik saçılma katsayılarının (Bistatic Scattering Coefficient-BSC) saçılma açısı ve kutuplanmaya göre değişimleri incelenmektedir. Başta radar uygulamaları olmak üzere, farklı pasif konumlama sistemleri için sanal sensör olarak kullanılacak yansıma noktası/yansıtıcı yüzey tespitine yönelik kriter ve şartların incelenmesine ışık tutulacağı düşünülmektedir. Bu amaçla, pasif konumlamada hedeflenen X , W , K_a , K_u bantlarında, Bistatik saçılma katsayısının ilgili parametreler ile değişimi, farklı kaynaklardaki ölçüm sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, belirlenen yansıma açısı aralığındaki BSC değişimlerinin tespiti ile yansıma noktasının daha doğru bir şekilde kestirilmesi amaçlanmaktadır.

1. Giriş

Bir radar sisteminin tahmini performansı, sadece hedefin ve radar modellenmesine bağlı değil aynı zamanda arka plandaki sinyallerde bağlıdır. Denizde ve karadaki uzaktan algılama sistemlerinde, pürüzlü yüzeylerdeki yansıma çok önemlidir. Deniz çevresindeki ve deniz yüzeyine yakın elektromanyetik sistemlerde bistatik link için, denizden kaynaklanan ve sinyalin bozulmasına neden olan çokyollu sönümlenme(multipath fading) ile başa çıkılması gerekmektedir. Bu nedenle doğal yüzeylerdeki yansımanın nedenleri anlamak mutlak zorunluluktur [2].

Bistatik radar, verici ve alıcı radar antenlerinin farklı konumlara yerleştirildiği durumdur. Bistatik radar kesit alanı ve bistatik yansıma katsayısı arasındaki ilişki literatürde [1]-[10] verilmektedir. Geçen seneler içinde, monostatik radarlarda veya geri saçılımlarda doğal arazi yüzeylerini (parazitleri) karakterize etmek için bir dizi teorik ve deneysel çalışma yapılmıştır, ancak bistatik radarlar, monostatik radarlar kadar ilgi görmemektedir. Literatürde en fazla veritabanının bulunduğu çalışmalar monostatik veya geri saçılım olması durumundaki nesneler içindir [1]. Halbuki, bistatik radarlarda bistatik parazitlenme, hedef takibi [5], uzaktan algılama [1]-[8] ve kablosuz haberleşme sistemlerinde potansiyel girişim (interference) kaynağıdır [4].

Bu çalışma, deniz yüzeyinde ve etrafındaki emisyon kaynaklarının tespit edilmesinde kullanılmak amacıyla yürütülmektedir. Bu nedenle, çalışmada elde edilen bulguların, muhtemel yansıtıcı nesneler ve/veya arazi profillerinin sınıflandırması amacıyla kullanılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda, özellikle çoklu yansımalarda (multipath), yansıma noktasının tespiti için kullanılması mümkündür. Buna yönelik sınıflandırma süreci yazarların bir diğer çalışmasında [1] sunulmaktadır. Bu çalışmanın diğerinden [1] farkı, sınıflandırmadan ziyade, bistatik radar kesit alanının gözlem ve verici konumlarına bağlı olarak açısallı bağımlılığının yanında vericinin kutuplanmasına bağımlılığının incelenmesidir. Bu amaçla, bölüm 2 de, öncelikle, bistatik kesit alanı ve geometrisi verilmekte, bölüm 3 ve 4’de ise açı ve kutuplanmanın radar kesit alanına etkisi ilgili literatür üzerinden incelenmekte ve son olarak sonuçlar sunulmaktadır.

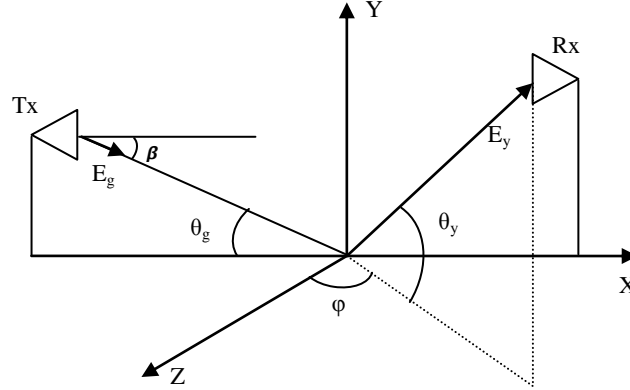
2. Bistatik Yansıma Geometrisi

Radar kesit alanı; bir nesnenin veya platformun radardaki görünürlüğünü veya radar sinyalinin, elektromanyetik sinyalleri, nesne veya platformda yaptığı yansımanın seviyesini tanımlamaktadır. Radar kesit alanı nesnenin; kaplandığı materyale, geometrisine, frekansa, açının etkisine ve kutuplanmaya bağımlıdır. Bistatik Radar Kesit Alanı (BRKA),

$$\sigma_0 = 4\pi d^2 \frac{S^s}{S^g} \quad d \rightarrow \infty$$

şeklinde tanımlanabilir. Bu eşitlikte, d uzaklığı, S^g ve S^s ise, sırasıyla, nesneye gelen ve nesneden saçılan EM dalgaların gücünü temsil etmektedirler. Güç değerleri, gönderilen/yansıyan elektrik/manyetik alanların kareleri ile de orantılı olduğundan, BRKA alanlar cinsinden de ifade edilebilmektedir..

Muhtemel bitki örtüleri ile yapılaşma ve/veya yüzeysel pürüzlerin bistatik yansıma katsayılarının değerlerinin bilinmesi, pasif olarak konumlama amaçlı sistemlerde yansımaların kullanılmasında, yansıtıcıların(yansıma noktası) sınıflandırılması aşamasında önemli olabilir. Böyle bir durumda, tek bir noktadan yansıma yerine saçılma merkezi kavramı daha doğru olacaktır (düzlemsel olmayan eğimli ve pürüzlü bir yüzey daha pratik olduğundan). Bistatik yansıma katsayısı değerinin ölçülmesinde kullanılan tipik bir geometri şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Bistatik yansıma katsayısı ölçümünde kullanılan geometri

Literatürde bulunan ölçülmüş bistatik yansıma katsayısı değerlerinin açısal bağımlılığını daha iyi anlayabilmek açısından şekil 1 önemlidir. Burada Tx ve Rx, sırasıyla, verici ve alıcı noktalarını göstermek üzere, bistatik yansıma katsayısı ölçümü yapılacak nesnenin koordinat merkezine yerleştirildiği varsayılırsa, θ_g , θ_y , ϕ , β sırasıyla geliş açısını, yansıma açısını, gözlem açısını ve sıyırma açısını göstermektedir. E_g gelen işaretin elektrik alanını E_y ise yansıyan işaretin elektrik alanını ifade etmektedir. Hava platformu ölçümlerinde kritik olan alçalış (depression) açısı, yeryüzünün eğimi ihmal edildiğinde (plane earth), sıyırma açısına eşit olur. Ayrıca BRKA ölçüm terminolojisinde sıkça kullanılan ileri saçılma (forward scattering) ve geri saçılma (backscattering) durumları alıcı (Rx) pozisyonunun ve dolayısıyla gözlem noktasının düzlem dışı açısı değeri (ϕ) değişimi ile gösterilebilir.

3. Açının Etkisi

Açının σ_0 üzerindeki etkisi daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi [1],[17] oldukça fazladır. Bu etkiler geliş ve yansıma açıları baz alındığında daha iyi irdelenebilir. Söz gelimi, [6]'da da vurgulandığı gibi dikey eksenindeki σ_0 değişimi saçılma örüntüsünün şeklinin bağımlılığı, gelen açısı üzerinde sadece θ_g normal gelişe yakın olduğu için önemlidir. Fakat $\theta_g = 20^\circ$ ve 40° olduğunda bistatik saçılma katsayısı pürüzlü yüzeyler için oldukça azdır. Çalışmalarda ayrıca; pürüzsüz yüzeylerde, gelen açıların tümü için σ_0 eğrisinin tepe değerler sergilediği görülmektedir. Bu nedenle, dikey eksenindeki yansımalar, geliş açısının farklı değerlerdeki etkisini, $\theta_g = \theta_y$ noktasında maksimum saçılma gücünün pozisyonunun, kayması ile gözlemlenebilir.

Yatay eksenindeki farklı geliş açıları için σ_0 etkileri Tablo 1'de gösterilmiştir. Aynı zamanda, aynı arazi çeşitleri ve geliş açısı için farklı gözlem noktasına göre σ_0 değişimleri de gözlenmektedir. Örneğin, yumuşak toprak için 60° ve 80° de gelen açısına göre σ_0 değişimi ifade edilmiştir. Geliş açısı, sıyırma açısına ($\beta = 80^\circ$) yaklaştığı için yan saçılmalar daha düşüktür. Bu durum yüzeyin pürüzlülüğüne ve geliş açısının sıyırma açısına yaklaşmasına göre değişmektedir.

4. Kutuplanma Etkisi

Bistatik Radar Kesit Alanı (BRKA)'nı etkileyen bir diğer önemli parametre ise dalganın ve/veya alıcı/vericinin kutuplanmasıdır. Burada kutuplanma etkisi olarak adlandırılan durum, sistemin, sırasıyla, alıcı ve vericilerinde kullanılan antenlerin kutuplanmalarıdır. Bu çalışmada, verici ve alıcı antenlerin kutuplanması: Dikey-Dikey (DD), Dikey-Yatay (DY), Yatay-Dikey (YD) ve Yatay-Yatay (YY) şeklinde ifade edilecektir. Literatürdeki ölçüm sonuçlarına göre, kutuplanma etkisinin σ_0 üzerindeki sonuçları Tablo 1'den açıkça gözlemlenebilir. Sonuçlardan anlaşılacağı üzere; ileri yönde yatay ekseninde kutuplanmış işaret, dikey ekseninde kutuplanmış işareten daha güçlüdür. Ancak, bu ilişki kenar yönlerde tam terstir. Sonuç olarak, yatay ekseninde kutuplanma (YY) sonuçları, hem dikey hemde çarpaz kutuplanmadan (YD-DY) daha yönseldir. Çarpaz kutuplanma için beklenen σ_0 , ileri yönde çok

düşüktür fakat kenar yönlerde büyüklük olarak karşılaştırılabilir. Eğer yüksek olmazsa bu değer kesinlikle YY veya DD kutuplanmaya aittir.

Çapraz kutuplanmanın ilgi çekici özelliği yine Tablo 1’den görülebilir. Tabloda farklı arazi koşulları için (örneğin; ormanlık tepeler, yumuşak ve kaba toprak, farklı çeşitli türlerde ekilmiş toprak çeşitleri gibi), σ_0 sonuçları verilmiştir. Bu ölçümlerde, bistatik yansıma katsayılarının dinamik aralığı, aynı kutuplanmaya sahip alıcı ve verici antenleri ile karşılaştırıldığında çok düşüktür. Bunun sebebi, antenler arasında çapraz kutuplanmış doğrudan bağlaşımlı elemanlar olabilir.

Verici yatay ekseninde kutuplandığı zaman σ_0 ölçülmüştür ve etkileri Tablo 1’de gösterilmiştir. Yatay kutuplanmış antenler ile ölçülen yankı alanı, θ_y aralığının çoğunda, dikey kutuplanmış antenlerden daha büyüktür. Bistatik yansıma katsayıları değerlerinde yatay kutuplanma etkisi değeri, dikey kutuplanma etkisinden ortalama 18 dB, çapraz kutuplanma etkisinden ise 20 dB daha büyüktür. Bu durum, özellikle pürüzsüz yüzeylerde spekül açılarda daha net gözlemlenmektedir [6].

5. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı yeryüzü profilleri ve arazi koşulları için bistatik radar kesit alanı (yansıma özellikleri) değerleri literatürde oluşturulmuş ölçümlerden derlenmektedir. Kapsamlı ölçüm sonuçları bir tablo halinde, kolayca karşılaştırılabilecek şekilde sunulmakta ve muhtemel bir sınıflandırma ve pasif konumlama sisteminde kullanımına yönelik çıkarımlar verilmektedir. Bu ifadelerden faydalanılarak BRKA’nın açısal bağımlılığı, bazı dikkate değer çıkarımlar ile sunulmaktadır. İlgili bantlarda teori ile uyumlu bir sonuç, BRKA’nın, YY ve DD kutuplanmalarda, YD ve DY çapraz kutuplanmadaki değerlerinden her zaman büyük olduğudur.

Kaynaklar

- [1]. Dalveren, Y., ve A. Kara, “Classification of Objects Over and Around Sea Surface for Passive Geolocation,” 12th Mediteranean Microwave Symposium, Eylül 2012, İstanbul, Türkiye.
- [2]. Matkin B. L., Mullins J. H., Ferster T. J., ve Vanderford P. J., “Bistatic Reflectivity Measurements on Various Terrains at X, Ku, Ka and W-Band Frequencies,” Proceedings IEEE Radar Conference, 2002, s.266-271.
- [3]. Awada A., Khenchaf A., ve A. Coatanhay, “Frequency Impact on the Bistatic Radar Scattering From an Ocean Surface,” IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, Temmuz 2007, s.4459-4462.
- [4]. Sowa M.J., ve McLaughlin D.J., “Experiments in Bistatic Scattering Phenomenology,” IEEE Radar Conference, Mayıs 1997, s.154-159
- [5]. Awada A., Khenchaf A., ve A. Coatanhay, “Bistatic Radar Scattering From Ocean Surface at L-Band,” IEEE Radar Conference, Nisan 2006.
- [6]. S.T Cost, Measurements of the Bistatic Echo Area of Terrain at X-Band, Yüksek Lisans Tezi, Ohio State University, Ohio, A.B.D., 1965.
- [7]. Hsu Y. S., ve D.C. Lort, “Spaceborne bistatic radar an overview,” IEE Proceedings F Communications, Radar and Signal Processing, 133(7), s. 642-648, 1986.
- [8]. Wurman J., Randall M., Frush C.L., Loew E., ve C.L. Holloway, “Design of a dual doppler radar for retrieving vector winds using one transmitter and a remote low gain passive receiver,” IEEE Proceeding, 82(12), s.1861-1872, 1994.
- [9]. Fante R.L., ve J.A. Torres, “Cancellation of diffuse jammer multipath by an adaptive radar,” IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 31(2), s.805-820, 1995.
- [10]. Y. Dalveren, Localization of Emitters Over Around Sea Surface, Yüksek Lisans Tezi, Atılım Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [11]. DeRoo, Y. Kuga, M. C. Dobson, ve F. T. Ulaby, “Bistatic Radar Scattering From Organic Debris of a Forest Floor”, Geoscience and Remote Sensing Symposium, Haziran 1991, s.15-18.
- [12]. Larson R.W., Maffett A.L., Heimiller R.C., Fromm A.F., Johansen E.L., Rawson R.F. ve F.L. Smith, “Bistatic Clutter Measurements”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 26(6), s.801-804, 1978.
- [13]. Larson R.W, “Bistatic Clutter Data Measurements Data Program”, Teknik Rapor, November 1977.
- [14]. Vander Schuur R.E., ve P.G. Tomlinson, “Bistatic Clutter Analysis,” Teknik Rapor, April 1979.
- [15]. P. Liang, L.E. Pierce, ve M. Moghaddam, “Radiative Transfer Model for Microwave Bistatic Scattering from Forest Canopies”, IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, , 43(11), s. 2470-2483, 2005.
- [16]. Ulaby F.T., Van Deventer T.E., East J.R., Haddock T.F., ve M.E. Coluzzi, “Millimeter-wave bistatic scattering from ground and vegetation targets,” IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, 26(3), s.229-243, 1988.
- [17]. Nashashibi A. Y., ve F. T. Ulaby, “Millimeter-Wave Polarimetric Bistatic Radar Scattering from Rough Soil Surfaces,” IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing, 2, s.788-790, 2003.

Tablo 1. Farklı Arazi Çeşitleri İçin Gerekli Olan Bantlarda Kutuplanma ve Açılı Etkisinin Bistatik Yansıma Katsayısı Değerleri

Referans no	Bant	Kutuplanma	σ_0 (dB)	φ	θ_g	θ_v	Arazi Çeşidi
[2]	Ka	DD	-3,6	-	-	-	Kum
			-12,7				Çakıl
			-17,1				Çim
	Ku		-2,7				Kum
			-9,4				Çakıl
			-16,9				Çim
	X		-2,6				Kum
			-5,5				Çakıl
			-15,4				Çim
[11]	X	DD	-18,9	-	45°	-40°-70°	Çıplak Kum
		YY	-13,8				Çam Kaplı Kum
		DD	-11,8				
		YY	-8,3				
[12],[13]	X	YY	-7,6	0°-180°	75°	80°	Uzun boylu otlar ve kuru çalı ağaçları
			-10,8		80°		
		YD	-10,2		75°		
		YY	-13,6	0°-105°	80°	85°	Düz çim
[15]	X	DD	-24,2	120°	30°	10°-70°	Kavak
		YY	-17,9				
		DY	-17,9				
[16]	Ka	DD	-14,3	0°-180°	66°	66°	Pürüzsüz Kum
		YY	-16,3		60°	60°	
		YY	-11				
		YD	-17,4				
		YY	-11,6				Pürüzlü Kum
		YD	-17,3				
		YY	-6,7				Çakıl
		YD	-8,6				
[17]		DD	-7,9	0°	20°	0°-70°	Pürüzlü Toprak
		YY	-6,6				
		YD	-14,7				
		DY	-14,3				
[14]		YY	-18,4	0°-180°	60°	80°	Meyveli Ağaç
		YD	-20,4				
[6]	X	YY	-21,4	0°-140°	60°	60°	Pürüzsüz Kum
			-26,7		70°	70°	
			-23,2		80°	80°	
			-29,4		85°	85°	
			-18,2		60°	60°	Toprak
			-15,9		70°	70°	
			-20		80°	80°	
			-20,7		85°	85°	
			-15,4		60°	60°	Soya Ekili Toprak
			-18,3		70°	70°	
			-23,1		80°	80°	
			31,9		85°	85°	
		YD	-20,5		60°	60°	Pürüzsüz Kum
			-19,7				Soya Ekili Toprak
		DD	-26		70°	70°	Pürüzsüz Kum
			-14,7				Toprak
			-15,9				Soya Ekili Toprak