

## Düzlemsel Olmayan Yapılarda Frekans Seçici Yüzey Tasarımı

Akın Dalkılıç, Lale Alatan\*, Can Barış Top  
ASELSAN  
Radar, Elektronik Harp Sistemleri Sektör Başkanlığı  
Ankara  
adalkilic@aselsan.com.tr, cbtop@aselsan.com.tr

\*Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Ankara  
lalatan@metu.edu.tr

**Özet:** *Frekans seçici yüzeyler (FSY) radomlarda antenin kullanıldığı bant dışında anten kaynaklı radar kesit alanının (RKA) düşürülmesi amacı ile kullanılmaktadır. Burun tipi radomlarda yüzey eğimli olduğundan FSY uygulamaları düzlemsel uygulamalara göre zorluk içermektedir. Bu makalede Ku Bantı'na eğimli yüzeye sahip bir radom için gerçekleştirilen FSY geliştirme çalışmaları sunulmaktadır.*

**Abstract:** *Frequency selective surfaces are used on radomes in order to reduce the antenna radar cross-section (RCS). Due to the curved surface of nose type radomes, FSS applications on those surfaces have significant difficulties with respect to its planar counterparts. In this study, the analysis and design procedures followed for a curved FSS radome at Ku-band are presented.*

### 1. Giriş

Frekans seçici yüzeyler (FSY) radar ve telekomünikasyon sistemlerinde radar kesit alanı (RKA) azaltımı veya çift bantta çalışmayı sağlayabilmek amacıyla kullanılan yüzey yapılarıdır. Bu yapılar üzerlerine gelen elektromanyetik yayını filtrelemekte ve bu sayede RKA azaltımı, açılal/frekansa bağımlılığın azaltımı ve bant geçirme/durdurma davranışı kontrolü gibi yetenekler elde edilmektedir. FSY yapılarının birçok alanda uygulamaları bulunmaktadır [1]. FSY'ler genelde dar bantlı ve iki boyutta periyodik yapılardan oluşmaktadır. FSY tasarımında, klasik filtre tasarımından farklı olarak daha fazla değişken bulunmaktadır. Bunlar; eleman tipleri, eleman şekil ve boyutları, elemanlar arası mesafe ve oryantasyon şeklinde sıralanabilir. Değişken sayısının çok olması, tasarım sırasında göz önünde bulundurulması gereken ve FSY performansını etkileyen çok sayıda etmen ortaya çıkarmaktadır.

Çalışma kapsamında Ku-bantta çalışan, eğimli yüzeylere uygulanabilecek hibrit FSY tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan FSY yapısı tek yönde eğimli (silindirik) modellere uygulanarak benzetimleri yapılmış ve performansı gözlemlenmiştir. Makalede tasarım süreci ile ilgili çalışmalar anlatılmıştır. Çalışma ile elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirilmesi son bölümde bulunmaktadır.

### 2. Analiz ve Tasarım

Düzlemsel bir FSY yapısının performansı sonsuz dizi varsayımı birim hücre yaklaşımı ile elektromanyetik benzetim yazılımları (HFSS, CST, vb.) kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu modellemede periyodik sınırlar arası faz farkı tanımlayarak farklı geliş açlarındaki FSY karakteristiğinin değişimini gözlemlemek de mümkün olmaktadır. Bu tip periyodik çözümler FSY radom tasarım sürecinde birçok kolaylık sağlamaktadır, ancak; nihai FSY radom performansının tespiti için sonlu yapı analizi gerekmektedir. Sonlu yapıların analizinde kenar eleman etkileri de hesaba katılmakta ve bu durum düzlemsel sonsuz birim hücre analiz sonuçlarına göre farklı karakteristikler gözlenmesine sebep olabilmektedir. Bununla birlikte, sonlu yapıların analizi genellikle çok yüksek boyutlu problemlerin çözümünü gerektirdiği için yaklaşım verimsiz olmakta ve uzun zaman almaktadır. Böyle durumlarda yarı-sonlu analiz gibi alternatif bir teknik ile problem etkin bir şekilde çözülebilmektedir.

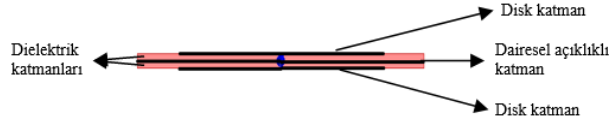
FSY yapılarının tasarım sürecinin verimli ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle FSY yapısı birim hücre analizi ile düzlemsel sonsuz model yaklaşımına göre tasarlanmaktadır. Optimum tasarım parametreleri

belirlendikten sonra, düzlemsel olmayan FSY yapısının yarı-sonsuz model yaklaşımı ile analizi yapılmaktadır. Bu yaklaşımda FSY yapısı sonsuz bir yarı silindir üzerine konform etmektedir.

Tasarım kriteri olarak dar bantlı (%2.4) ve yüksek seçicilik karakteristiği olan bir FSY yapısı hedeflenmiştir. Tasarım istekleri aşağıda sıralanmıştır.

- Yüksek seçicilik
- Antenin frekans bandında düşük araya girme kaybı
- Dar bant
- Farklı geliş açılara karşı değişmeyen karakteristik
- Polarizasyona bağlı olmama
- Düzlemsel olmayan yüzeylere uygulanabilme

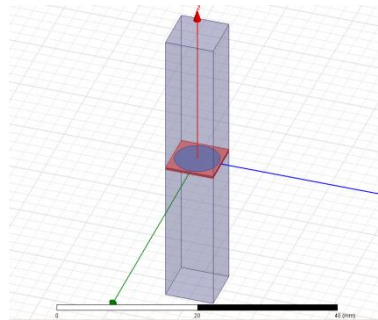
Polarizasyondan bağımsız olma ve eğimli yüzeylere uygulanabilme gereklerinden ötürü çembersel (veya disk) FSY elemanları tercih edilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği gibi iki dielektrik ve üç metal katmandan oluşan hibrit bir FSY modeli seçilmiştir. Üst ve alt yüzeylerdeki disk şeklindeki FSY'ler orta katmandaki dairesel açıklık sayesinde birbiriyle etkileşime girerek bant geçiren yapıda bir performans ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 1. Hibrit FSY katmanları

Bu tip FSY'lere ilk olarak Pous ve Pozar'ın çalışmalarında karşılaşılmaktadır [2]. Bu çalışmalarda dikdörtgenel yama ve açıklıklar kullanılarak dar bantlı ve seçiciliği yüksek olan FSY'ler tasarlanmıştır. Pous ve Pozar'a göre yapının rezonans frekansını belirlemede ana etmen yama boyutlarıdır. Bununla birlikte orta katmandaki açıklığın genişliği de yamalar arasındaki etkileşimin miktarını belirlediği için kritik bir öneme sahiptir. Açıklığın genişliği arttıkça etkileşim artmakta ve eğer tamamen geçirgenlik için gerekli olan kritik değer aşılsa alt bantta ikinci bir rezonans frekansı oluşmaktadır. Bant genişliği ise kullanılan malzemenin kalınlığının artırılması veya dielektrik katsayısının azaltılmasıyla artmaktadır. Ancak yamalar arası etkileşim miktarı bu eğilimle ters orantılı olarak değişmektedir. Bu tip FSY'lerin eğimli yüzeylere, disk şeklinde model kullanılan bir uygulaması Hang Zhou tarafından konik FSY radom için yapılmıştır [3]. Bu çalışmada tasarım için seçilen FSY modeli, Hang Zhou tarafından kullanılan, Pous ve Pozar'ın sunduğu dikdörtgenel yama ve açıklıklı modelin dairesel şekilde uygulandığı yapıdır.

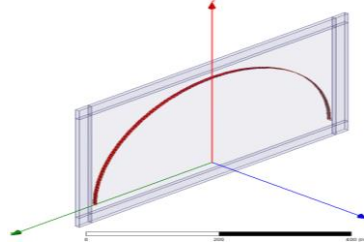
Model belirlendikten sonra parametre taraması ve optimizasyon ile istenilen performansı sağlayacak optimum yama ve açıklık çapları, FSY eleman periyodu ve malzeme kalınlığı düzlemsel birim hücre modeli kullanılarak tespit edilmiştir. Şekil 2'de sunulan birim hücre FSY modelinin tasarımda hedeflenen çalışma frekans bant genişliğini sağladığı gözlemlenmiştir (bkz. Şekil 4).



Şekil 2. Hibrit FSY düzlemsel birim hücre modeli

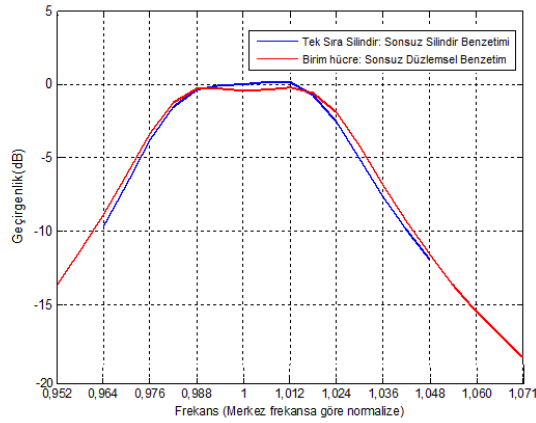
Sonlu ve eğimli yüzeyli yapıdaki kenar elemanların etkileşimi ve eğimli yapıdan kaynaklanan dizilim etkileri düzlemsel birim hücre çözümünde ihmal edilmektedir. Bununla birlikte birim hücre kullanılarak yalnız düzlemsel ve iki yönde sonsuz bir dizinin davranışı tespit edilebildiği için modelin eğimli yüzey üzerinde de benzetiminin yapılması ve yapının doğrulanması gerekmektedir. Bu sebeple yapının tamamı veya geometrinin eğimli olduğu ekseninde sonlu, diğer yönde sonsuz dizi şeklinde benzetimler yapılmalıdır. Silindirik yapının benzetimi Şekil 3'te gösterilen tek yönde eğimli diğer yönde düzlemsel ve periyodik sınır koşulları kullanılan

birim hücre ile yapılmıştır. Bu benzetimde yayın kaynağı olarak tek sıra şeklinde sonlu düzlem boyunca dizilmiş ve polarizasyonu da aynı yönde olan 31 elemanlı Hertz dipol dizisi kullanılmıştır. Elemanlar 20 dB Taylor dağılımı sağlayacak şekilde uyarılmıştır.



Şekil 3. Tek yönde periyodik yarım silindir FSY birim hücresi

Bu çözümde FSY performansının gözlemlenebilmesi için farklı frekanslarda radomlu ve radomsuz durumlardaki uzak alandaki elektrik alan şiddetleri karşılaştırılmaktadır. Ufuk noktasında ( $\theta=0^\circ$ ) uzak alan örüntüsünün radomlu ve radomsuz benzetimlerdeki farkları kullanılarak bastırma performansı hesaplanmıştır. Hesaplanan bastırma performansının düzlemsel birim hücre benzetim sonucu ile karşılaştırması Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre tek sıra periyodik yarım silindir FSY benzetim sonuçları ile düzlemsel tek eleman birim hücre benzetimi sonuçları birbirleriyle uyusmaktadır.



Şekil 4. Hibrit FSY eleman birim hücresi ve yarım silindir birim hücresi bastırma performansları karşılaştırması

### 3. Sonuç

Bu çalışma ile düzlemsel olmayan FSY yapılarının etkin bir biçimde analiz ve tasarım süreçlerinin yapılabilmesi için sonsuz birim hücre ve yarı-sonsuz modeller kullanılmıştır. Sonsuz düzlemsel birim hücre modelinde tasarım parametreleri belirlenmiş ve bu parametrelerle oluşturulan silindirik FSY modelinin yarı-sonsuz birim hücre analizi ile benzetimi yapılmıştır. Çalışmada Ku-bantta eğimli yüzeylere uygulanabilecek hibrit konformal FSY tasarımı gerçekleştirilmiştir.

### Kaynaklar

- [1]. B. A. Munk, "Frequency Selective Surfaces: Theory and Design", Wiley, 2000.
- [2]. R. Pous ve D. M. Pozar, "A frequency-selective surface using coupled microstrip patches," IEEE Trans. Antennas Propag., cilt.39, no.12, s.1763–1769, 1991.
- [3]. H. Zhou, S. Qu, B. Lin, J. Wang, H. Ma, Z. Xu, W. Peng, ve P. Bai, "Filter-Antenna Consisting of Conical FSS Radome and Monopole Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, cilt.60, no.6, Haziran 2012.