

# Denizaltı Çevresel İsterlerine Uygun 2-18GHz Radom Geliştirme Çalışmaları

Kadir İŞERİ, Ahmet Muaz ATEŞ  
ASELSAN Elektronik Sav. San. A.Ş.  
Ankara

[kadiriseri@aselsan.com.tr](mailto:kadiriseri@aselsan.com.tr), [mates@aselsan.com.tr](mailto:mates@aselsan.com.tr)

**Özet:** Bu çalışmada 2-18 GHz bandında çalışan, denizaltı çevresel koşullarına dayanan kompozit radom tasarımı, üretimi ve ölçümü yer almaktadır. Tasarım çalışmaları kapsamında farklı tip radom yapıları incelenmiş ve geniş çalışma frekans bandında isterleri sağlayabileceği düşünülen radom yapıları elektriksel ve mekanik yönden incelenmiştir. Tasarım aşamasında radom içinde kullanılması düşünülen çevresel dayanımı yüksek dielektrik malzemelerin elektriksel karakterizasyonu ve elektromanyetik modellemesi yapılmıştır. Elektromanyetik analizler ile optimum radom yapısı (katman sayısı, malzeme çeşidi, vb.) belirlenmiştir. Belirlenen radom yapısı kullanılarak üç boyutlu mekanik model oluşturulmuş, denizaltı ortamına göre dayanım analizleri ile incelenmiştir. Tasarım çalışmalarının ardından radom üretilerek, elektriksel ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

## 1. Giriş

Antenler sistemin ortam ile etkileşiminde kullanılan önemli yapılardır. Bu durum göz önüne alındığında antenleri çalıştığı ortamın koşullarından etkilenmeksizin elektriksel performansını en az şekilde bozucu yapılar yardımıyla korumak gerekmektedir. Bu bağlamda radomlar antenler için koruyucu pencereler olarak kullanılmaktadır.

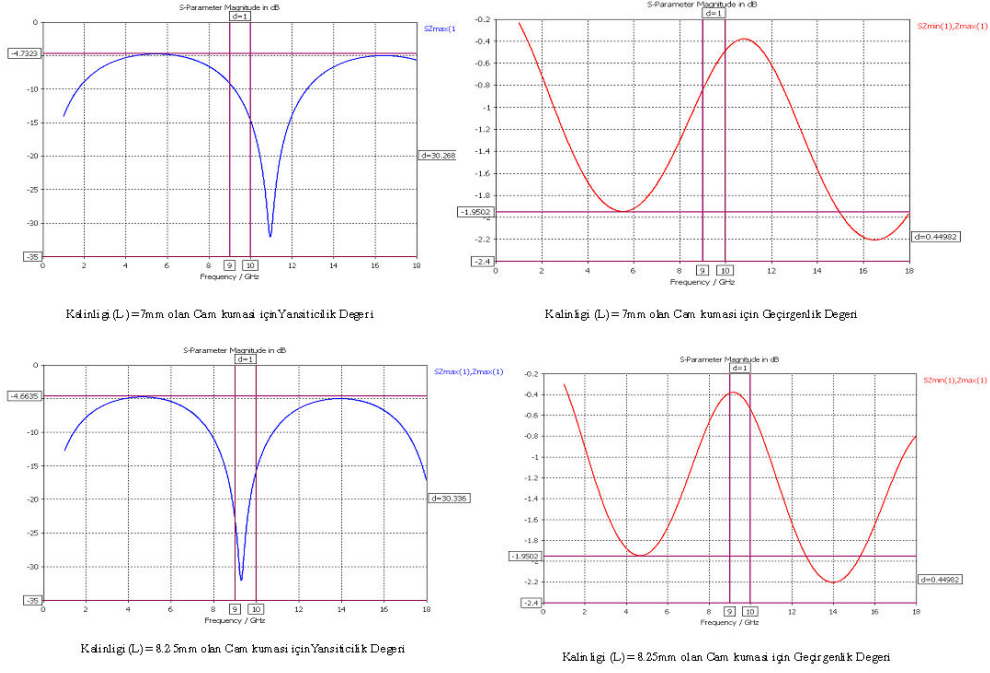
Radom tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus kullanılan malzemenin dielektrik katsayısının olabildiğince küçük olmasıdır. Dielektrik katsayısı düşük olan malzemeler radom içinde yansımaları azaltır ve sonuç olarak radomun geçirgenliği artar ve radomun antenin örüntüsüne olan etkisi azalır [1]. Bu durumda mekanik isterler göz önüne alınarak kullanılabilecek geçirgenliği en iyi olan malzemelerin tasarım aşamasında seçilmesi önem arz etmektedir.

Denizaltı sistemlerindeki radom yapıları, antenleri başta yüksek basınç olmak üzere çevresel koşullara karşı koruma amacıyla kullanılır. Denizaltı sistem geliştirme çalışmaları kapsamında 2-18GHz frekans aralığında çalışan, yüksek basınca dayanıklı radom tasarımı yapılması amaçlanmaktadır. Tasarım sürecinde farklı geniş bant radom yapıları incelenmiştir. 2-18GHz bandı için en uygun yapı belirlenip elektromanyetik analizleri yapılmıştır. Analizi yapılan radom plaka yapıları üretilmiştir ve benzetim sonuçları ile karşılaştırılmak üzere test edilmiştir. Doğrulanması yapılan radomlar Denizaltı sistemi için tasarlanan antenin radomu olacak şekilde mekanik olarak modellenip üretilmiştir. Üretilen radom, anten ile birlikte ölçülüp radom anten etkileşimleri incelenmiştir. Aşağıda, yapılan çalışmalar sonuçları ile birlikte yer almaktadır.

## 2. Geniş Bant Radom Tasarımı

Radom tasarımı sırasında göz önünde tutulması gereken en önemli nokta uygun malzeme seçimidir. Çevresel koşullar göz önünde bulundurularak kullanılacağı ortamda öngörülen süre boyunca dayanıklı kalacak malzemeler seçilmelidir. Denizaltı sistemleri geliştirme projesi kapsamında tasarlanacak olan radom öncelikle yüksek basınca (~60Bar) dayanacak ve deniz suyundan etkilenmeyecek bir malzemedan yapılmalıdır. Malzeme belirlendikten sonra bu malzeme ile gereken elektriksel özelliklerin sağlanması gerekmektedir.

Radom üretimi için öncelikle yalnızca cam kumaşı kullanılması öngörülmüştür. Hedeflenen mukavemet değerleri uygun güvenlik katsayılarıyla yükseltilmiş ve bu değerleri sağlayabilecek minimum cam kumaşı kalınlığı belirlenmiştir. Bu bağlamda 7mm ve 8.25mm et kalınlığına sahip cam kumaşı ve katı lamine malzemeler elektriksel olarak incelenmiştir. Benzetim sırasında radom düzlemsel ve sonsuz uzunlukta varsayılmıştır. Analiz sırasında kullanılan dielektrik sabiti ve  $\tan\delta$  değerleri 8-12GHz frekans bandında serbest uzay ölçüm yöntemi ile ölçülmüştür. Tüm frekans bandı için bu değerlerin değişmediği, sabit kaldığı varsayılmıştır. Yapılan analizlere ait sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir.

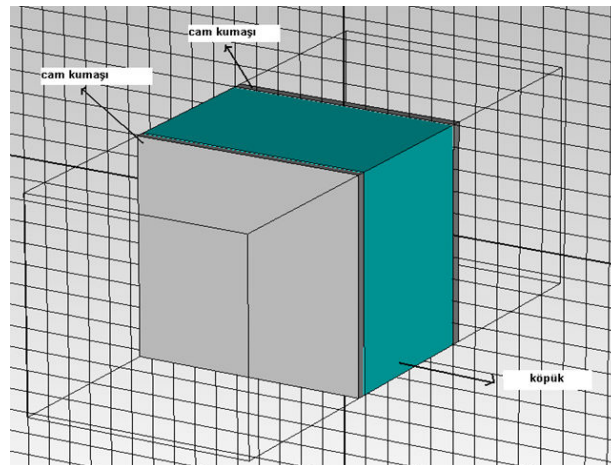


**Şekil 1** Cam Kumaşı için Yansıtıcılık ve Geçirgenlik Analiz Sonuçları

Şekil 1’de görüldüğü üzere radom için yalnızca cam kumaşı kullanıldığı durumda geçirgenlik değeri -2dB’ye kadar düşmekte, yansıtıcılık değeri ise -5dB olmaktadır. Bu değerler hedeflenen yansıtıcılık ve geçirgenlik değerlerinden (<-10dB, >-1dB) çok uzak olduğu için uygun bulunmamıştır.

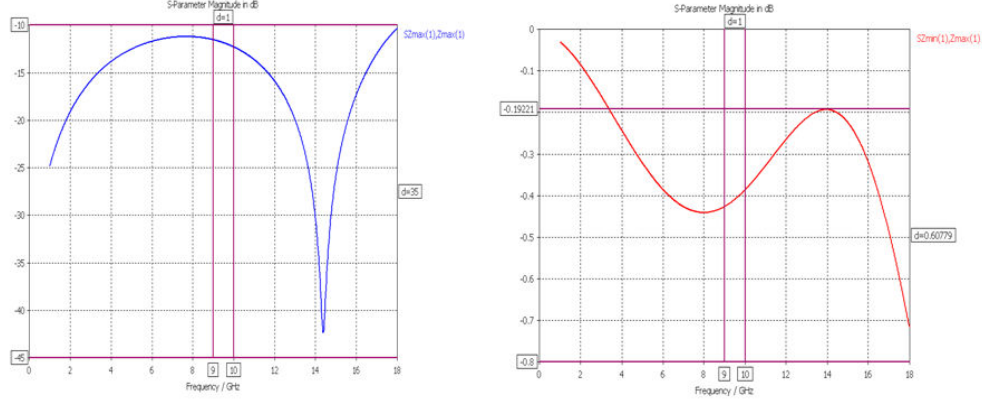
Bunun üzerine sandviç yapıda kompozit bir radom tasarımı yapılmasına karar verilmiştir. Bu tasarım kapsamında, geniş frekans bandında performans elde edilebilmesi için A-tipi sandviç yapı kullanılmıştır. A-tipi sandviç radom üç katman halinde dielektrik malzemenin arka arkaya yerleştirilmesi sonucu oluşur. Bu oluşumda dış kenarlarda kalan dielektrik malzemeler aynı kalınlıkta olan aynı malzeme seçilir ve bu malzemelerin dielektrik sabitleri aradaki malzemeye göre daha yüksek seçilir. Üç malzeme kullanılarak radom katmanları arasındaki yansımalar dielektrik malzemelerin kalınlıkları ve dielektrik sabitleri ayarlanarak azaltılabilir ve anten örüntüsüne olan etkisi en az seviyede tutulmaya çalışılır [2]. Bu şekildeki sandviç yapı hem geniş bant isterleri hem de dayanıklılık sağlar.

Tasarımı yapılacak radomun basınca dayanıklılığının sağlanması için A-tipi sandviç radomun orta kısmına basınca dayanıklı köpük ve köpüğün iki tarafına cam kumaşı kullanılması kararlaştırılmıştır. Farklı kalınlıklarda basınca dayanıklı köpük ve cam kumaşı kombinasyonları için yansıtıcılık ve geçirgenlik analizleri yapılmıştır. Tasarlanan radomun 2-18 GHz bandında dik geliş açısında yansıtıcılığının -10dB’den küçük, geçirgenliğinin ise tipik olarak -0.5dB, bant sonunda -1dB’den yüksek olması hedeflenmiştir. Radom yapısının geometrisi Şekil 2’de gösterilmiştir. Cam elyafı ve basınca dayanıklı köpüğün dielektrik sabiti ve  $\tan\delta$  değerleri 8-12 GHz frekans bandında serbest uzay ölçüm yöntemi ile ölçülmüştür. Analiz sırasında frekans bandı boyunca bu değerlerin değişmediği, sabit kaldığı varsayılmıştır.



**Şekil 2** Radom Yapısının Geometrisi

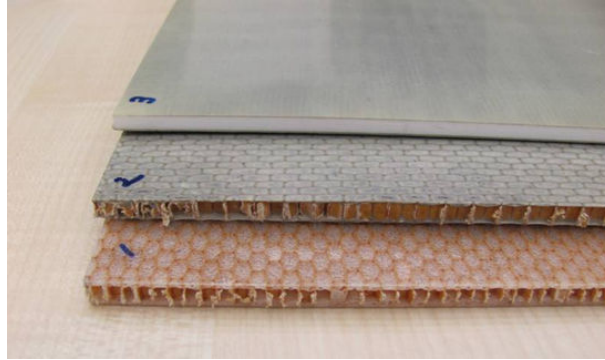
Şekil 2’de gösterilen radom yapısına göre elektriksel analizler yapılmış ve istenilen yansıtıcılık ve geçirgenlik değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu değerleri sağlamak için hem cam kumaşının hem de basınca dayanıklı köpüğün farklı kalınlıkları test edilmiştir. İstenilen yansıtıcılık ve geçirgenlik değerlerini sağlayan farklı kombinasyonlar bulunmuştur. Elektriksel olarak uygun görülen A-tipi sandviç radomlara basınç analizi yapılmıştır. Farklı kombinasyonlar için basınca dayanan sandviç yapının yansıtıcılık ve geçirgenlik değerleri Şekil 3’te gösterilmektedir.



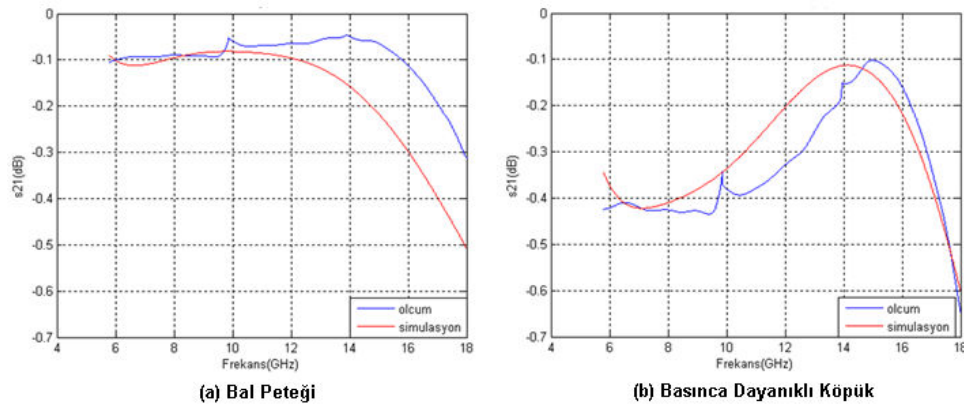
Şekil 3 Basınca Dayanıklı Olarak Tasarlanan Radom için Yansıtıcılık ve Geçirgenlik Değerleri

### 3. Sandviç Radom Plaka Üretimi ve Testleri

Radom tasarımları sırasında belirlenen iki farklı kompozit radom plaka yapısı belirlenmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla A-tipi sandviç radomlar, bal peteği kullanılarak ve basınca dayanıklı köpük kullanılarak Şekil 4’te görüldüğü gibi üretilmiştir. Üretimin yapılmasından sonra bu plakalar serbest uzay ölçüm yöntemi ile parametre ölçüm cihazında araya giriş kayıpları ölçülmüştür. Üretilen plakaların elektriksel ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçülen geçirgenlik değerleri benzetim programında bulunan değerler ile Şekil 5’te karşılaştırılmıştır.



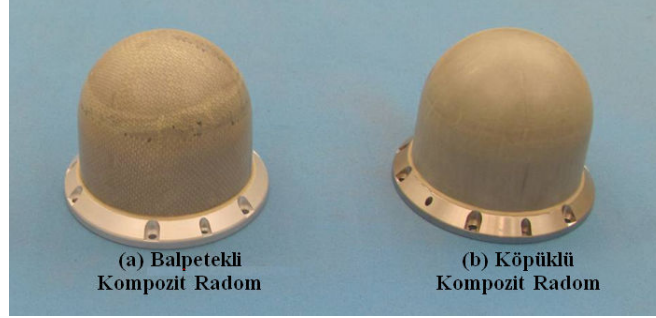
Şekil 4 Plaka olarak üretilen balpetekli ve köpüklü kompozit radomlar



Şekil 5 (a)Bal Peteği ve (b)Basınca Dayanıklı Köpük Kullanılarak Tasarlanan Radomların Ölçüm ve Benzetim Sonucu Karşılaştırılması

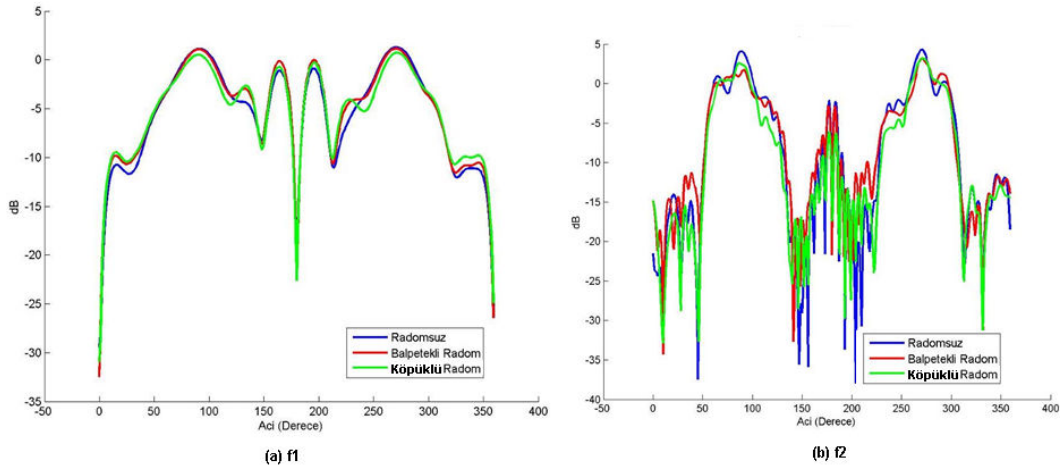
#### 4. Denizaltı Antenleri için Basınca Dayanıklı Radom Üretim ve Ölçümü

Tasarımı yapılan 2-18GHz bandında çalışan, sandviç yapılı ve basınca dayanıklı radomlar denizaltı anteni ile birlikte kullanılmak üzere mekanik olarak modellenmiştir. Bu tasarımlar sırasında belirlenen iki farklı kompozit radom plaka, anten radomu olacak şekilde üretilip elektriksel ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 6(a)'da balpetekli kompozit radom, Şekil 6(b)'de basınca dayanıklı kompozit radom görülmektedir. Şekil 6'da bulunan balpetekli ve köpüklü kompozit radomlar anten üzerine yerleştirilerek küresel yakın alan ölçüm düzeneği ile ölçülüp radomun anten örüntüsü üzerine etkisi gözlenmiştir.



Şekil 6 Denizaltı Sisteminde Kullanılması Planlanan Radomlar

Aşağıda antenin radomsuz, balpetekli kompozit radomlu ve köpüklü kompozit radomlu ölçümlerinden yükseliş örüntülerinin karşılaştırmalı grafikleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7 (a)f1 ve (b)f2 Frekanslarında Anten Yükseliş Örüntüsü Karşılaştırmaları

Anten paternleri incelendiğinde, bal petekli kompozit radomun geçirgenliğinin köpüklü kompozit radom ile benzer olduğu gözlenmektedir. Bunun yanında radomların anten örüntüsüne benzer bir etkisi olduğu da gözükmemektedir.

#### 4. Sonuç

Denizaltı anten birimlerinde kullanılmak üzere 2-18 GHz bandında çalışan yüksek basınca dayanabilen sandviç yapılı radom tasarım ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları simülasyonlar ile doğrulanıp radomun çalışma performansı belirlenmiştir. Ayrıca tasarımı yapılan radom denizaltı anteni radomu olarak modellenip üretilmiştir. Radomun anten örüntüsüne etkisi incelenmiştir.

Sonuç olarak; 2-18 GHz bandında çalışabilen, yüksek basınca dayanıklı, denizaltı projelerinde kullanılabilecek elektriksel ve yapısal özelliklere sahip sandviç yapılı bir radom tasarımı gerçekleştirilmiştir.

#### Kaynaklar

- [1]. Mehmet Murat Şerefoğlu, “*Electromagnetic Scattering Analysis and Design of Sandwich Type Radomes*”, Msc. Thesis, METU, 2009.
- [2]. Reuven Shavit, Adam P. Smolski, Eric Michielssen, ve Raj Mittra, “*Scattering Analysis of High Performance Large Sandwich Radomes*”, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 40, No.2, s.126-133, 1992.