

# Ka-Bant Malzemeye Gömülü Dalga Kılavuzlarının Çeşitli Anten Uygulamaları

Alper Ünal<sup>1,2</sup>, Oral Dinçer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Meteksan Savunma A.Ş.

RF ve Mikrodalga Teknolojileri Direktörlüğü

Ankara

aunal@meteksan.com, odincer@meteksan.com,

<sup>2</sup>Hacettepe Üniversitesi

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Ankara

**Özet:** 35 GHz merkez frekansında çalışan yarıklı dalga kılavuzu (YDK) anten, malzemeye gömülü dalga kılavuzu (MGDK) iletim hattı kullanılarak tasarlanmıştır. Antenin beslemesinde kullanılmak üzere dalga kılavuzu (DK) geçişi gerçekleştirilmiştir. Geçiş ile birlikte üretilen antenin hüzmeye genişliği, yan lob seviyeleri, ışınlamı örüntüsü özellikleri ve kazanç değeri ölçülmüş, gerçekleştirilen benzetimler ile karşılaştırılmıştır.

## 1. Giriş

Dalga kılavuzları (DK) radar ve benzeri mikrodalga sistemlerde oldukça çeşitli uygulamaları olan iletim hatlarıdır. Literatürde DK kullanılarak gerçekleştirilmiş güç bölücü [1], filtre [2] ve benzeri yapılar mevcuttur. DK iletim hatlarının bünyelerinde barındırdıkları düşük iletim kaybı ve yüksek güç taşıma kapasitesi gibi özelliklerin yanında, çoğu zaman ihtiyaç duyulan pahalı ve zor üretim gibi önemli bir olumsuz yönü bulunmaktadır. Yakın zamanda önerilen [3]-[4] malzemeye gömülü dalga kılavuzu (MGDK) yapıları, DK iletim hatlarının olumlu özelliklerini basitleştirilmiş üretim teknikleri ile birleştirmeyi amaçlamaktadır. MGDK yapıların üretimi için genellikle standart baskı devre üretim teknikleri yeterli olmaktadır. Dolayısı ile benzer görevleri yerine getirecek MGDK yapılar, eşlenikleri olan DK yapılara göre daha ucuz ve daha kolay olarak üretilebilmektedir. Buna ek olarak, MGDK yapılar, metalden üretilen DK yapılara kıyasla daha hafif olmaktadır. Ayrıca, dielektrik malzeme içerisinde oluşturuldukları için, aynı malzeme üzerinde gerçekleştirilecek diğer devre elemanları ile kolaylıkla bütünleşebilmektedirler. Öte yandan, MGDK yapılarda iletim dielektrik malzeme içerisinde olmaktadır. Dolayısı ile, DK'lara göre ekstra dielektrik kaybına maruz kalmakta, aynı uzunlukta daha fazla iletim kaybı oluşmaktadır.

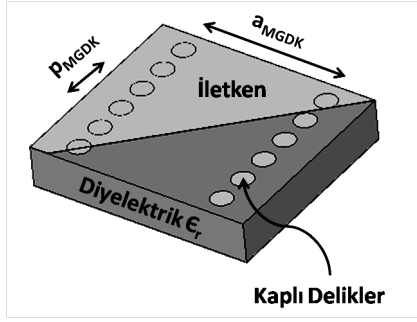
Özellikle radar sistemleri düşünüldüğünde, düşük yan lob ışınlamı seviyesine ve yüksek kazanç verimliliğine sahip yarıklı dalga kılavuzu (YDK) antenler ön plana çıkmaktadır [5]. Bu antenler, DK üzerinde belirli boyutlarda ve konumlarda açılan yarıklar ile oluşturulmaktadır. Bu çalışmada ise 35 GHz merkez frekansında çalışan bir YDK anten, MGDK iletim hatları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Sunduğu avantajların sonucu olarak, literatürde MGDK yapıları ile gerçekleştirilmiş bir çok çalışma bulunmaktadır. Özellikle Ka-bant gibi DK yapıların üretiminin görece daha da zorlu olduğu frekans bantlarında MGDK kullanımı yaygın olmaktadır. Literatürde bu frekanslarda çalışan ve MGDK iletim hatları kullanan anten ve anten besleme devreleri [6] ve filtre [7] gibi çeşitli yapılar bulunmaktadır.

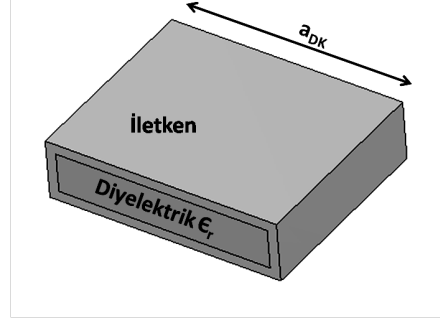
## 2. Malzemeye Gömülü Dalga Kılavuzu Yapılar

Temsili bir MGDK yapısı ve eşlenik dielektrik dolu DK yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Malzeme olarak alt ve üst yüzeyleri iletken ile kaplı, elektriksel geçirgenliği  $\epsilon_r$  olan bir dielektrik malzeme kullanılmıştır. Bu dielektrik malzeme içerisinde  $P_{MGDK}$  periyodu ve  $a_{MGDK}$  mesafesi ile yerleştirilen  $r_{MGDK}$  yarıçaplı delikler bulunmaktadır. Şekil 1(a)'da gösterilen MGDK iletim hattı, (1) kullanılarak [4] Şekil 1(b)'de gösterilen içi dielektrik ile doldurulmuş DK olarak ifade edilebilir. İletim hatları arasında gerçekleştirilecek bu dönüşüm çeşitli tasarımsal kolaylıklar sağlamaktadır.

$$a_{DK} = a_{MGDK} - \frac{r_{MGDK}^2}{0.95 \cdot p_{MGDK}} \quad (1)$$



(a)



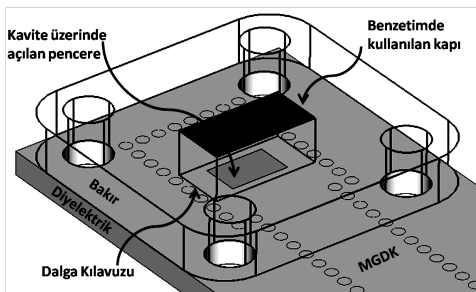
(b)

**Şekil 1** (a) MGDK iletim hattı ve (b) denk elektriksel özelliklere sahip dielektrik ile dolu DK iletim hattı.

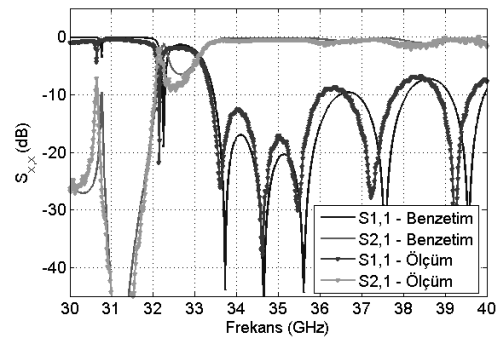
MGDK kullanılarak gerçekleştirilen yapıların çeşitli ölçüm cihazlarına ya da diğer sistem elemanlarına bağlanabilmesi için bir geçiş geometrisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, MGDK ile DK arasında geçişi sağlayacak bir tasarım kullanılmıştır [8]. Gerçeklenen MGDK-DK geçişin geometrisi Şekil 2(a)'da gösterilmektedir. MGDK yapısının görülebilmesi için DK iletim hattı şeffaf olarak çizilmiştir. Şekil 2(a)'da siyah olarak gözüken bölge, benzetimlerde S<sub>1,1</sub> değerinin hesaplandığı kapıyı göstermektedir. Bu kapıdan sisteme sağlanan elektromanyetik dalga kapının altında bulunan DK boyunca ilerler ve MGDK üzerinde açılmış bir pencereden dielektrik ortamda bulunan kaviteye geçiş yapar. Kaviteden sonra ise MGDK iletim hattı gelir ve geçiş tamamlanmış olur. Burada kullanılan pencerenin ve dielektrik içerisindeki kavitenin boyutları geçişin çalışma frekansını ve empedans uyumlamasını belirlemektedir. Şekil 2(b)'de ise bu tasarımın arka arkaya monte edildiği durum için hesaplanan ve ölçülen saçılım değerleri gösterilmektedir. S<sub>1,1</sub> ve S<sub>2,1</sub> parametrelerinden anlaşılacağı üzere, bu çalışmada kullanılan geçiş 35 GHz etrafında çalışmaktadır.

### 3. MGDK Yarıklı Dalga Kılavuzu Anten

Literatürde MGDK yapılar kullanılarak tasarlanmış çok çeşitli anten yapıları mevcuttur. Sızan dalga antenleri [9] ya da özellikle radar uygulamalarında kullanım alanı olan yarıklı dalga kılavuzu (YDK) antenler [10] daha önceden yapılan çalışmalar arasındadır. Bu çalışmada ise MGDK kullanılarak, 35 GHz merkez frekansında çalışan bir YDK anten tasarlanmıştır. Anten, ışıyıcı eleman olarak 8 adet yarıktan oluşmaktadır. Aralarındaki uzaklık 1 kılavuz dalga boyu olarak seçilmiş bu yarıklar, H-düzlem boyunca sıralanmakta ve bir doğrusal dizge oluşturmaktadırlar. Bir ucundan MGDK-DK geçiş kullanılarak beslenen bu antenin diğer ucu ise kısa devre ile sonlandırılmıştır. Bu antenin tasarımında literatürde bulunan [11] aktif admitans metodu kullanılmıştır. Tasarım algoritmasının ihtiyaç duyduğu izole yarıklı karakterizasyon bilgisi *CST Microwave Studio*® yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Tasarım sürecinde gerekli durumlarda eşdeğer dalga kılavuzu dönüşümü (1) kullanılmıştır. Tasarımda kullanılan malzemenin elektriksel geçirgenlik katsayısı ( $\epsilon_r$ ) 2.10 değerindedir. Son olarak, anten MGDK-DK geçiş ile birleştirilmiştir. Tasarım sürecinin sonunda, *CST Microwave Studio*® ile yapılan benzetimlerde antenin H-düzlem 3 dB hüzmeye genişliği olarak 10° elde edilmiştir. Yan lob ışınım seviyeleri ise, ilgilenilen frekans bandı olan 34.8 - 35.2 GHz aralığında ana hüzmeye göre 30 dB bastırılmış durumdadır. 35 GHz frekansı için antenin hesaplanan kazancı ise 16.45 dB olmaktadır.

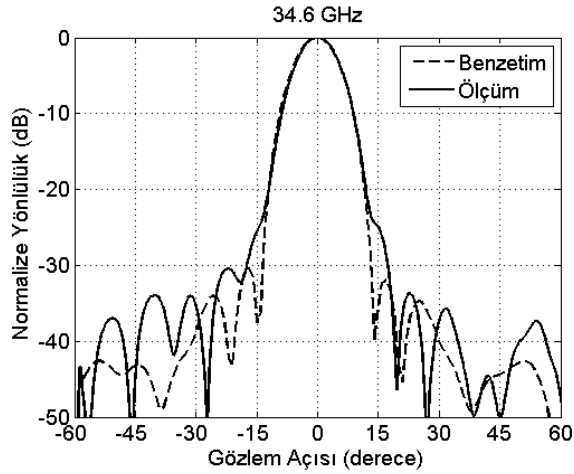


(a)

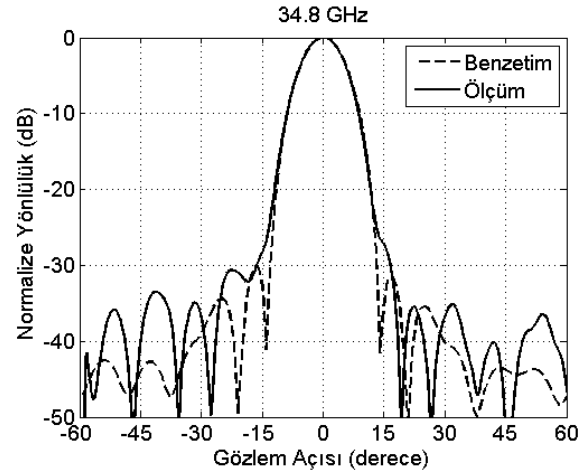


(b)

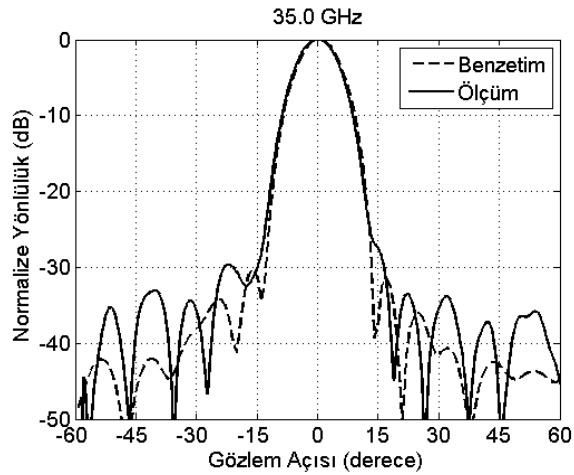
**Şekil 2.** (a) MGDK-DK geçiş geometrisi ve (b) bu geometrinin arka arkaya monte edildiği durum için elde edilen hesaplanmış ve ölçülmüş saçılım parametrelerinin karşılaştırması.



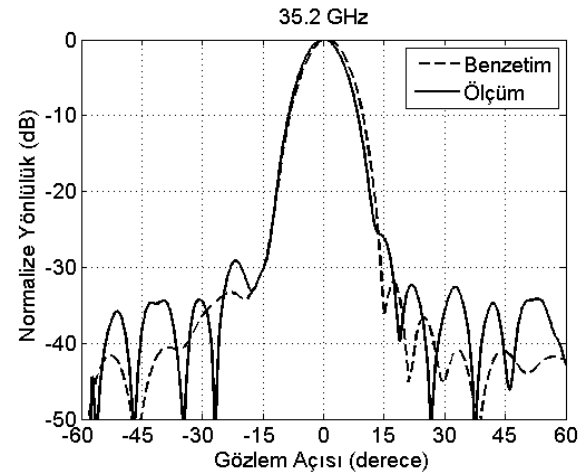
(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 3.** Üretimi gerçekleştirilen antenin H-düzlem ışınlam örüntüleri. (a) 34.6 GHz, (b) 34.8 GHz, (c) 35 GHz ve (d) 35.2 GHz.

Üretimi gerçekleştirilen antenin ışınlam örüntüsü ve kazanç ölçümleri Meteksan Savunma tesislerinde bulunan yakın alan anten ölçüm sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler sonucunda elde edilen H-düzlem ışınlam örüntüleri, hesaplanan değerler ile birlikte Şekil 3'te gösterilmektedir. 34.6, 34.8, 35.0 ve 35.2 GHz de alınan ölçümler sırasıyla Şekil 3(a), (b), (c) ve (d) gösterilmektedir. Anten ışınlam örüntülerinin özellikle ana hüzmeye içerisinde sayısal benzetimler ile tutarlıdır. Buna ek olarak, ölçüm gerçekleştirilen frekanslarda antenin ana hüzmeye yakınında bir omuz çıkarttığı gözlenmektedir. Bu oluşumun dışında, özellikle yan lob seviyelerinin hesaplanan değerler ile uyumlu olduğu ve ana hüzmeye göre yaklaşık olarak 30 dB bastırıldığı gösterilmiştir. 35 GHz için ölçülen anten 3 dB hüzmeye genişliği  $10.12^\circ$  değerindedir. Aynı frekansta yapılan anten kazanç ölçümü sonucunda ise 16.2 dB elde edilmiştir. Elde edilen ölçüm değerlerinin tasarım, dolayısı ile yapılan benzetimler ile uyumlu oldukları değerlendirilmektedir.

#### 4. Sonuç

MGDK iletim hatları kullanılarak 35 GHz merkez frekansında çalışan bir YDK anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Anten, 8 adet ışıyıcı yarık elemanın H-düzlemde sıralanması ile oluşan bir doğrusal dizgedir. Anten ışınlam örüntüsü ve kazanç ölçümleri gerçekleştirilmiş, sayısal hesaplamalarla karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Genel olarak üretimi gerçekleştirilen MGDK anten, tasarıma uygun performans göstermiştir.

## Kaynaklar

- [1] Bang J. H., Hwang S. M., Lee S. G. ve Ahn B. C., "Design formulas for the H-plane septum power divider in a rectangular waveguide", *Microwave and Optical Technology Letters*, c. 37, s. 390–393, Haziran 2003
- [2] Papziner U., Arndt F., "Field theoretical computer-aided design of rectangular and circular iris coupled rectangular or circular waveguide cavity filters," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on* , c.41, n.3, s.462-471, Mart 1993
- [3] Deslandes D., Wu K., "Single-substrate integration technique of planar circuits and waveguide filters," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on* , c.51, n.2, s. 593- 596, Şubat 2003
- [4] Cassivi Y., Perregrini L., Arcioni P., Bressan M., Wu K., Conciauro, G. , "Dispersion characteristics of substrate integrated rectangular waveguide," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE* , c.12, n.9, s. 333- 335, Eylül 2002
- [5] Sembiam R. Rengarajan, Lars G. Josefsson, Robert S. Elliott, "Waveguide-Fed Slot Antennas and Arrays: A Review", *Electromagnetics*, c. 19, n. 1, 1999
- [6] Wu Ke, Cheng Yu Jian, Djerfi Tarek, Chen Xiao Ping, Fonseca Nelson, Hong Wei , "Millimeter-wave integrated waveguide antenna arrays and beamforming networks for low-cost satellite and mobile systems," *Antennas and Propagation (EuCAP), 2010 Proceedings of the Fourth European Conference on* , s.1-5, 12-16 Nisan 2010
- [7] Deslandes D., Wu K. , "Millimeter-wave substrate integrated waveguide filters," *Electrical and Computer Engineering, 2003. IEEE CCECE 2003. Canadian Conference on* , c.3, s. 1917- 1920 , 4-7 Mayıs 2003
- [8] T. Kai, J. Hirokawa, ve M. Ando, "Feed through an Aperture to a Post-Wall Waveguide with Step Structure," *IEICE Trans. Commun.*, c. E88-B, n. 3, s. 1298-1302, Mart 2005
- [9] Junfeng Xu, Wei Hong, Hongjun Tang, Zhenqi Kuai, Ke Wu, "Half-Mode Substrate Integrated Waveguide (HMSIW) Leaky-Wave Antenna for Millimeter-Wave Applications," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE* , c.7, n., s.85-88, 2008
- [10] Li Yan, Wei Hong, Guang Hua, Jixin Chen, Ke Wu, Tie Jun Cui, "Simulation and experiment on SIW slot array antennas," *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE* , c.14, n.9, s. 446- 448, Eylül 2004
- [11] Elliott, R.; , "An improved design procedure for small arrays of shunt slots," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* , c.31, n.1, s. 48- 53, Ocak 1983