

# GSM1800 VE UMTS BAZ İSTASYONLARI İÇİN YÜKSEK KAZANÇLI DİZİ ANTEN TASARIMI

**Mehmet ÇIYDEM**

ENGİTEK Mühendislik Ltd, 06460 Balgat, Ankara.

[mehmet.ciydem@engitek.com.tr](mailto:mehmet.ciydem@engitek.com.tr)

(Geliş/Received: 05.07.2013; Kabul/Accepted: 03.10.2013)

## ÖZET

Bu çalışmada, GSM1800 ve UMTS baz istasyonlarında kullanılabilir dizi anten tasarlanmış ve uygulaması yapılmıştır. Bu amaçla, daha önce geliştirilmiş olan genişbandlı, çift polarizasyonlu anten modülü, dizi antenin temel elemanı olarak kullanılmıştır. Dizi antenin tasarımı, benzetimi, prototip üretimi ve ölçümleri yapılmış, S-parametreleri ve ışınma karakteristikleri (örüntü, kazanç) incelenmiştir. Antenin operasyon bandı GSM1800 (1710 - 1880 Mhz) ve UMTS (1910 - 2170 Mhz) bandlarını kapsamaktadır. Benzetimler ve ölçümler uyumlu olup; geri dönme kaybının -15 dB'den,  $\pm 45^\circ$  lineer polarizasyon kanalları arasındaki izolasyonun -25 dB'den düşük olduğu görülmüştür. Yatay ve dikey düzlemde yarım-güç hüzmeye genişlikleri (HPBW) sırasıyla  $63^\circ$  ve  $7^\circ$ 'dir. Kazanç yaklaşık olarak 18 dBi'dir.

**Anahtar Kelimeler:** Dizi anten, baz istasyonu, GSM, UMTS, genişbant, çift polarizasyon, çift band, kanal izolasyonu, S-parametreleri, ışınma karakteristikleri.

## DESIGN OF HIGH GAIN ARRAY ANTENNA FOR GSM1800 AND UMTS BASE STATIONS

### ABSTRACT

This paper proposes the design and implementation of high gain array antenna suitable for GSM1800 and UMTS base stations. For this purpose, previously developed wideband, dual polarised antenna module has been used as the basic element of array antenna. The array antenna structure is designed, simulated, manufactured and measured. Network parameters (S-parameters) and radiation characteristics (pattern, gain) of the array antenna have been investigated. The operation bandwidth spans GSM1800 (1710-1880 Mhz) and UMTS (1910-2170 Mhz) bands. The simulations show good agreement with the measurement results that the array antenna has return losses of less than -15 dB and the channel isolation between  $\pm 45^\circ$  linearly polarised channels is below -25 dB within the operation band. Azimuth and elevation half power beamwidths (HPBW) are  $63^\circ$  and  $7^\circ$  respectively. Gain is around 18 dBi.

**Keywords:** Array antenna, base station, GSM, UMTS, wideband, dual polarization, dual band, channel isolation, S-parameters, radiation characteristics.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hizmet çeşitliliği, kalitesi ve artan abone sayısı ile mobil haberleşme sistemlerinin kullanımı ve önemi günümüzde çok artmıştır. Dolayısıyla bu alanda pek çok araştırma geliştirme yapılmaktadır. Baz istasyonu antenleri de mobil haberleşme sistemlerinin vazgeçilmez unsurlarıdır. Baz istasyonlarında her band (GSM900, GSM1800, UMTS, 4G, LTE vb) için ayrı ayrı antenler kullanmak hem fiziksel hem de

fonksiyonel olarak pek istenmemektedir. Daha ziyade, iki veya çok bandlı fonksiyonel, kombine anten yapıları tercih edilmektedir. Geliştirilecek antenin de gerekli teknik özellikleri [2-5] sağlaması zaruridir. Baz istasyonu anteni, polarizasyona göre mümkün olduğu kadar maksimum sinyal-gürültü oranını (SNR) sağlamalıdır. Bu maksatla, korelasyonsuz sinyalleri alıcıda optimum şekilde birleştiren, polarizasyon çeşitliliği (diversity) [6,7] uygulanmaktadır. Dairesel polarizasyon dar bandlı sistemlerde kullanılırken [8],

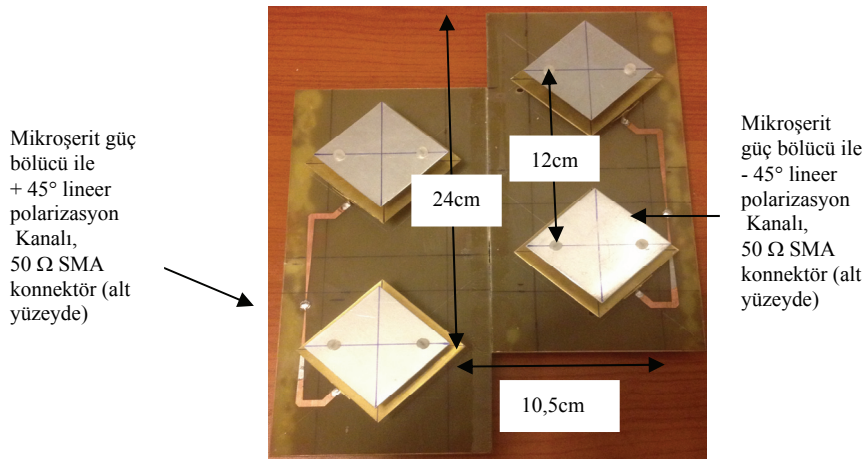
$\pm 45^\circ$  lineer çift polarizasyon, geniş bantlı sistemlerde kullanılmaktadır [1, 9-11].

Bu çalışmada, dizi anten tasarımı için, sahada baz istasyonlarında en yaygın olarak kullanılan yüksek kazançlı, dar hüzmeli anten tipleri hedef alınarak, her bir modül 1:5 güç bölücü ile, uygun RF güç seviyeleri ile beslenmiştir. Uygun dizi faktörü (array factor) ile modül eleman faktörün (element factor) örüntü çarpımıyla (pattern multiplication) dizi antenin örüntüsü oluşmuştur. Tasarlanan dizi antenin prototip üretimi de yapılarak, ölçümlerle benzetimler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar arasındaki uyumluluk ve tasarım hedefleri başarımlı performans gösterilmiştir. S-parametreleri (geri dönme kayıpları, izolasyon vb) ve ışınım karakteristikleri (örüntü, kazanç) hedeflenen 1710-2170 MHz bandında (yaklaşık % 25 bant genişliği) teknik tasarım özellikleri sağlanmıştır.

## 2. TEMEL ANTEN MODÜLÜ (BASIC ANTENNA MODULE)

Dizi anten tasarımında, temel eleman olarak yazar ve diğerleri tarafından [12] daha önce geliştirilen ve yazar tarafından üzerinde önemli modifikasyonlar yapılarak son haline getiren anten modülü esas alınmıştır. [12]'deki çalışmada, elemanlar arası ve  $\pm 45^\circ$  lineer polarizasyonu veren anten elemanları arasındaki mesafe iyice açılarak bu sağlanmış ve böylelikle anten genişliği yaklaşık 35 cm'yi bulmuştur. Bu genişlikte bir antenin sahada kullanımı pek mümkün görülmemektedir. Dolayısıyla yazar, anten modülünü revize ederek,  $\pm 45^\circ$  kanallar arasında dikeyde  $\lambda/2$

GSM1800 ve UMTS bandlarının ikisine birden hizmet verecek tek anten sistemi geliştirilmiştir. Metal plakalar ile askıda plaka anten (suspended plate antenna) yapısı ve FR-4 taban malzemesi kullanılarak, ucuz, hafif, üretimi kolay bir tasarım yapılmıştır. Dizi anten; 5 adet temel anten modülünden oluşup; mesafe kayıklık yaratarak ve yatayda elemanları birbirine yaklaştırarak, teknik performansı da iyileştirerek, anten genişliğini 21 cm'ye düşürmüştür. Hedeflenen operasyon band genişliği 1710-2170 Mhz aralıktadır. Bu aralıkta minimum dalgaboyu  $\lambda_{\min} = 13,82$  cm'dir. Görünmez bölgedeki (invisible region) örüntünün görünür bölgedeki (visible region) örüntüyü bozmaması için (grating lobe); 10 elemanlı bir dizide, elemanlar arası mesafe ( $d$ ),  $\lambda_{\min}$ 'den küçük olmak zorundadır. Elemanlar arası istenmeyen kuplajlar ve hedeflenen kazanç gereksinimi de  $d$ 'nin  $\lambda = 10$  cm'den küçük olmamasını gerektirmektedir. Dolayısıyla elemanlar arası mesafe  $d = \lambda = 12$  cm olarak seçilmiştir (Şekil 1). Anten modülün sağlanmış olduğu teknik özellikler ve kullanılan FR-4 taban malzemesinin özellikleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Temel anten modülünün, 1710-2170 Mhz'in bandın ortasında 1940 Mhz'de, yatay/dikey düzlemde ışınım karakteristikleri de aşağıdaki gibidir (Şekil 2, Şekil 3). Modülün çalışma şekli şöyledir: 50  $\Omega$  SMA konnektör girişindeki RF güç, sivrilen mikroşerit güç bölücü (tapered microstrip power divider) ile bölünür. Bölünen RF güç, askıdaki plakalara (suspended plates) kapasitif olarak uyumlanmış besleme uçları (feeding probes) ile askıdaki plakalara iletilir ve ışınım gerçekleşir.



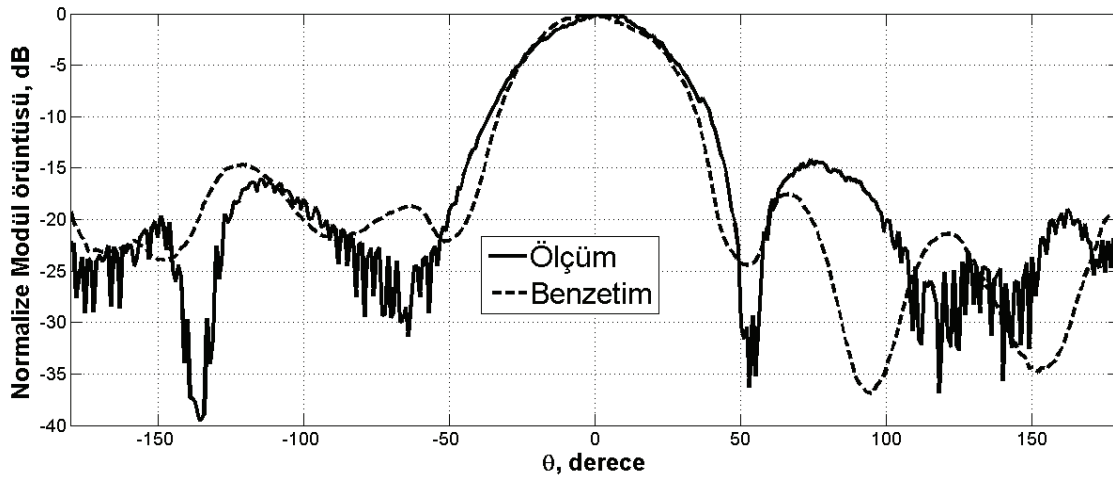
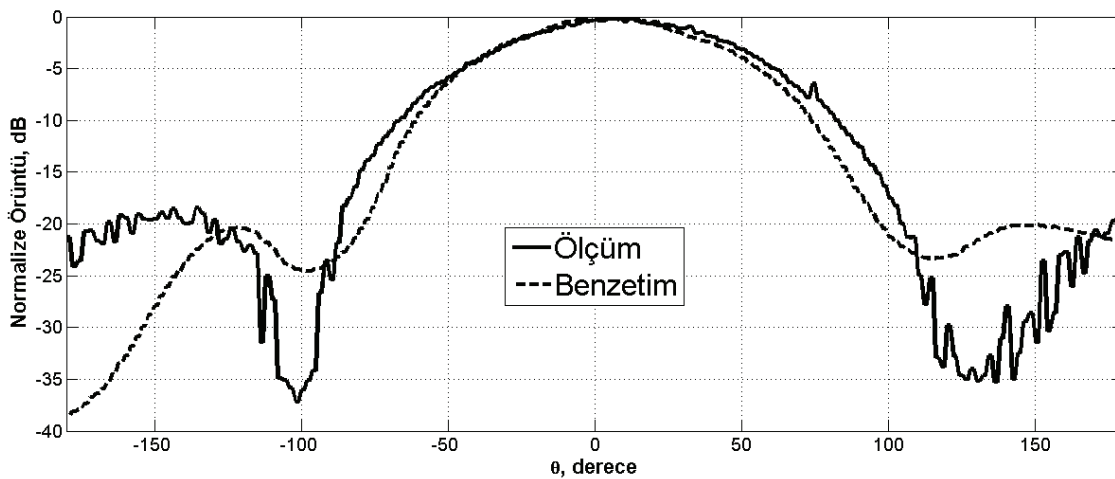
Şekil 1. Temel anten modülü (Basic antenna module)

Çizelge 1. FR-4 taban malzemesi özellikleri (FR-4 substrate specifications)

Kalınlık	1,6 mm
Bakır kaplama kalınlığı	0,035 mm
Dielektrik sabiti	4,4
Tanjant kaybı	0,02

**Çizelge 2.** Temel anten modülü özellikleri (Basic antenna module specifications)

	<b>GSM1800</b>	<b>UMTS</b>
Frekans Bandı (Mhz)	1710 - 1880	1910 - 2170
Kazanç (dBi)	11 ± 1	11 ± 1
Polarizasyon	± 45 lineer	± 45 lineer
Yatay HPBW	65° ± 5°	60° ± 5°
Dikey HPBW	37° ± 3°	33° ± 3°
SLL (dB)	≤ -13	≤ -13
Kanal İzolasyonu (dB)	≤ -25	≤ -25
VSWR	≤ 1,5	≤ 1,5
Empedans (Ω)	50	50

**Şekil 2.** Anten modülü dikey düzlem örüntüsü (Antenna module elevation pattern)**Şekil 3.** Anten modülü yatay düzlem örüntüsü (Antenna module azimuth pattern)

### 3. DİZİ ANTEN TASARIMI (DESIGN OF ARRAY ANTENNA)

Yüksek kazançlı iki bantlı kapsayan dizi anteni geliştirmek için, operatörlerce sahada en yaygın kullanılan örnek antenler incelenmiş; GSM1800 ve UMTS bantlarının ikisine birden hizmet verecek yeni bir dizi anten geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu yeni antenin hedeflenen teknik özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Dizi anten; modül temel eleman alınarak ve harici 1:5 güç bölücü ile entegre edilerek Şekil 4 ve

Şekil-5'teki gibi oluşturulmuştur. RF gücü eşit bölücek şekilde (1) tasarlanan 1:5 güç bölücü; ayrı bir FR-4 taban malzemesi üzerine mikroşerit hat olarak tasarlanmış ve dizi antenin şasesi olan arka yüzeye monte edilerek, kablağı yapılmıştır.

$$[V_1, V_2, V_3, V_4, V_5] = [1, 1, 1, 1, 1] \quad (1)$$

Anten modülündeki dahili güç bölücü de RF gücü eşit olarak bölerek, modül üzerindeki iki elemanı

sürmektedir. Dolayısıyla aslında 10 elemanlı (5 adet modül) dizi antende güç dağılımı şöyle olmaktadır.

$$\begin{aligned} [V_{11}, V_{12}, V_{21}, V_{22}, V_{31}, V_{32}, V_{41}, V_{42}, V_{51}, V_{52}] \\ = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] \end{aligned} \quad (2)$$

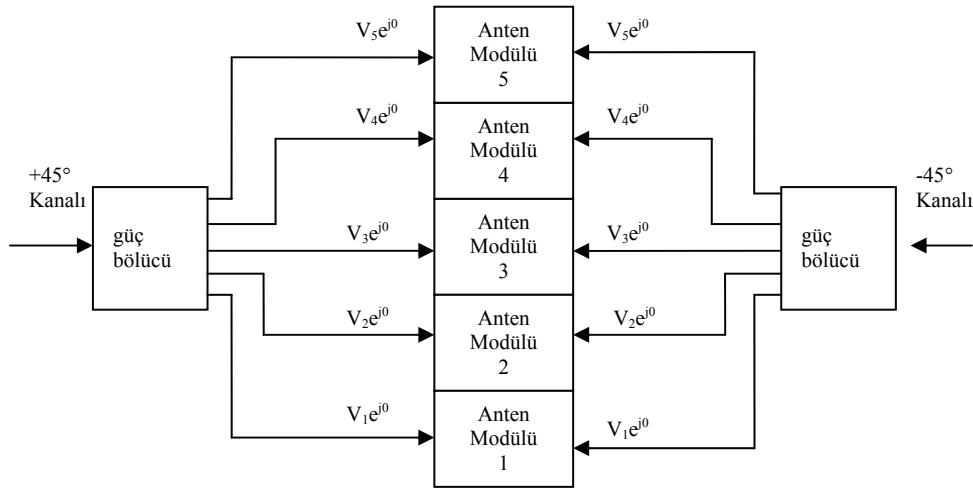
Bu aşamada faz kaydırmalı (progressive phase shift) dizi anten düşünülmediği için elemanlar arası faz kayıklığı  $\xi = 0$  olarak alınmıştır.

Yani tüm elemanlar eş fazda beslenmiştir. Elemanlar arası mesafe  $d$  ve güç dağılımı (2) dikkate alınarak normalize dizi faktörü (AF) aşağıdaki gibi bulunur (3), (Şekil 6):

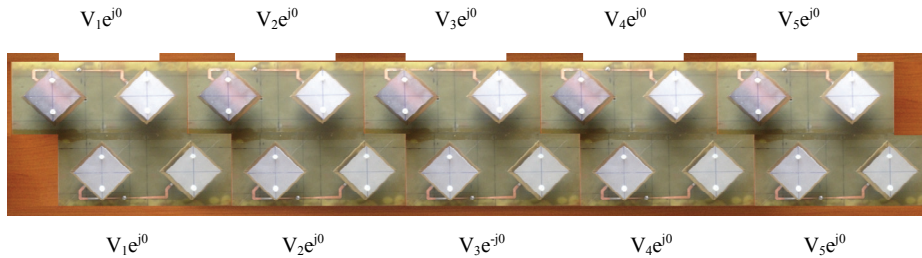
$$AF(\Psi) = \frac{1}{N} \left| \frac{\sin(N\Psi/2)}{\sin(\Psi/2)} \right|, \quad \Psi = \beta d \cos \phi + \xi \quad (3)$$

**Çizelge 3.** Dizi anten tasarımı hedef kriterler (Array antenna design specifications)

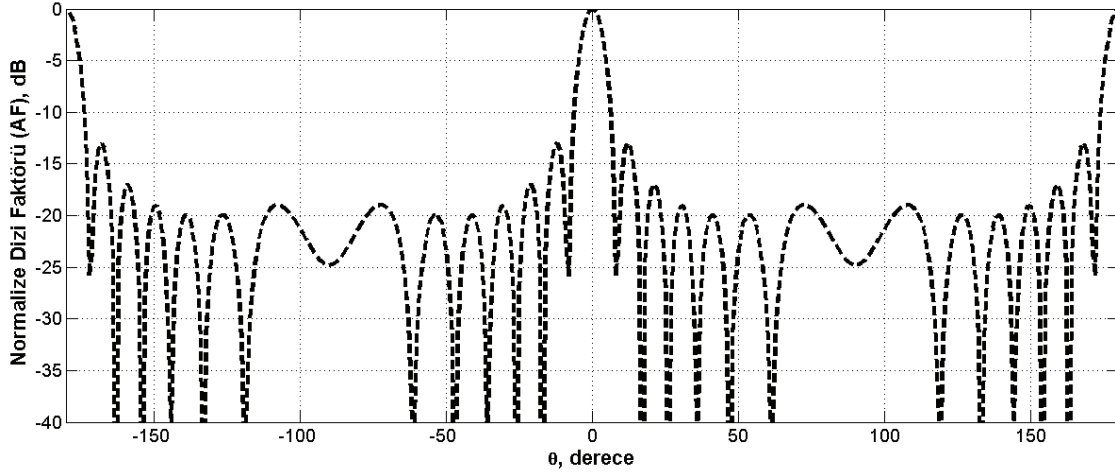
	<b>GSM1800</b>	<b>UMTS</b>
Frekans Bandı (Mhz)	1710 - 1880	1910 - 2170
Kazanç (dBi)	18	18
Polarizasyon	$\pm 45$ lineer	$\pm 45$ lineer
Yatay HPBW	$65^\circ \pm 5^\circ$	$60^\circ \pm 5^\circ$
Dikey HPBW	$7^\circ \pm 1^\circ$	$6^\circ \pm 1^\circ$
SLL (dB)	$\leq -12$	$\leq -12$
Kanal İzolasyonu (dB)	$\leq -25$	$\leq -25$
VSWR	$\leq 1.5$	$\leq 1.5$
Empedans ( $\Omega$ )	50	50



**Şekil 4.** Dizi anten blok şema yapısı (Block diagram of array antenna)



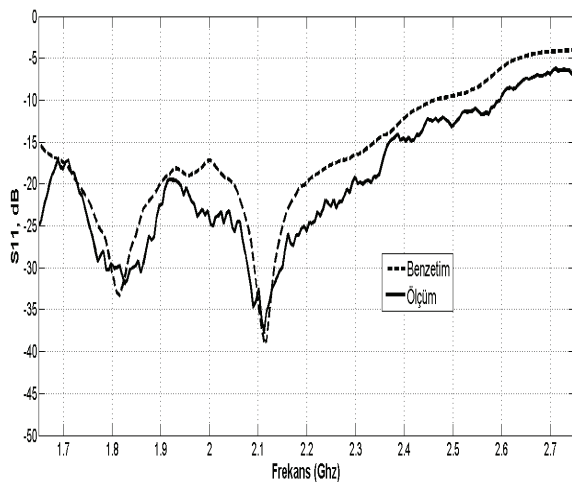
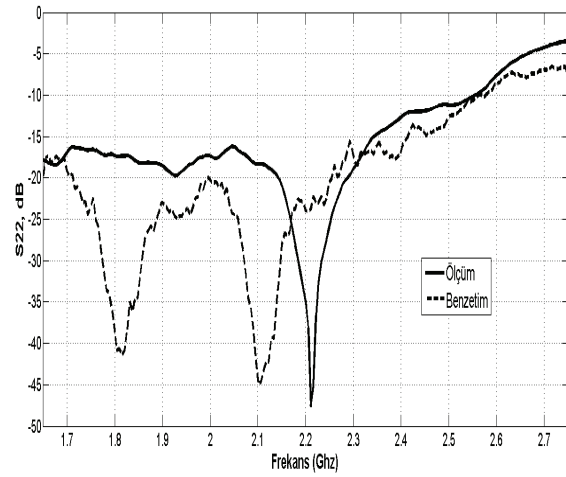
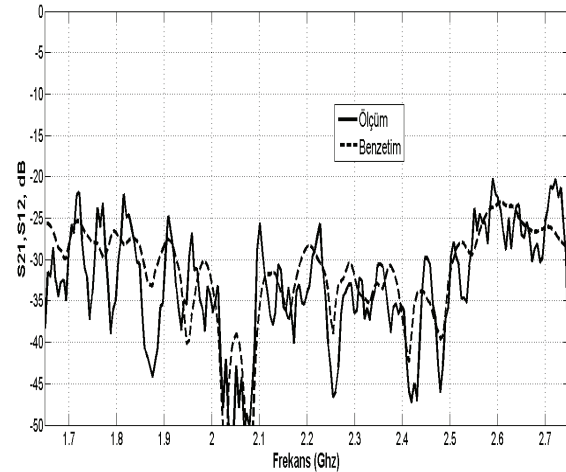
**Şekil 5.** Prototip dizi anten (Prototype array anten)

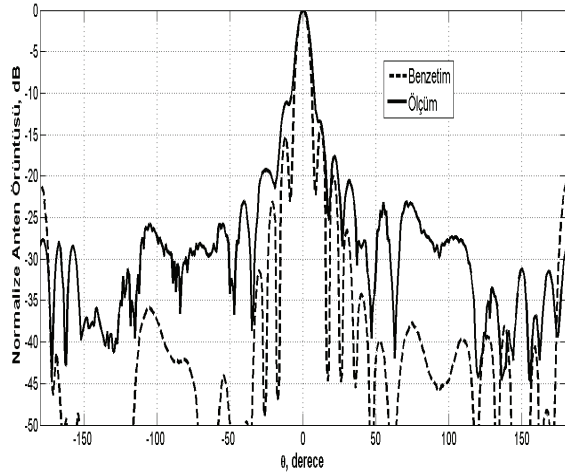


Şekil 6. Normalize dizi faktörü (Normalized array factor)

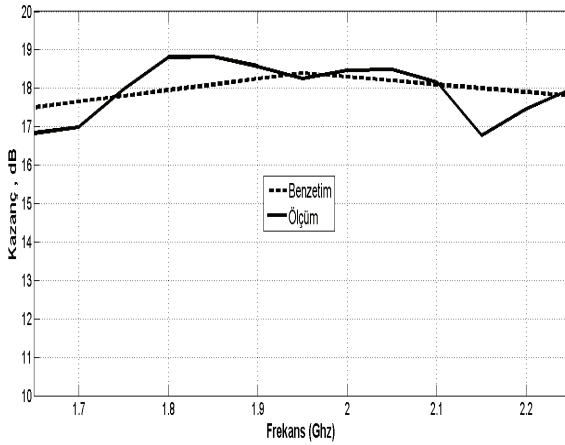
#### 4. BENZETİMLER VE ÖLÇÜMLER (SIMULATIONS AND MEASUREMENTS)

Tasarlanıp prototipi üretilen GSM1800 ve UMTS antenin performans ölçümleri yapılmış ve benzetimlerle (HFSS ver13.0) karşılaştırılmıştır. Network parametreleri (S-parametreleri) bağlamında HP8720D vektör network analizör ile  $\pm 45^\circ$  kanalların girişlerinde geri dönme kayıpları ( $S_{11}$ ,  $S_{22}$ ) ve  $\pm 45^\circ$  kanallar arasındaki izolasyon ( $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ) ölçümleri yapılarak benzetimlerle karşılaştırılmıştır (Şekiller 7,8,9). Işıma karakteristikleri bağlamında; antenin yatay ve dikey düzlemde ışına örüntüleri ve kazancı yankısız odada (anechoic chamber) ölçülerek benzetimlerle karşılaştırılmıştır (Şekiller 10,11). Dizi antenin yatay ışına örgüsü, temel anten modülü ile aynı olup Bölüm 2 Şekiller 2,3'de verilmiştir. Örüntü ölçümleri 1710-2170 Mhz aralığının ortası 1940 Mhz frekansında yapılmıştır.

Şekil 7. Geri dönme kaybı  $S_{11}$  (Return loss  $S_{11}$ )Şekil 8. Geri dönme kaybı  $S_{22}$  (Return loss  $S_{22}$ )Şekil 9. Kanal izolasyonu  $S_{21}$ ,  $S_{12}$  (Channel isolation  $S_{21}$ ,  $S_{12}$ )



Şekil 10. Dikey düzlemde ışınma örüntüsü (Elevation radiation pattern)



Şekil 11. Dizi antenin kazancı (Array antenna gain)

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Dizi antenin S-parametreleri, Çizelge 3'de verilen voltaj duran dalga oranı (VSWR), kanal izolasyonu ve empedans değerlerini belirlemektedir. Geri dönme kayıpları  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  sırasıyla  $+45^\circ$  ve  $-45^\circ$  kanal girişlerindeki duran dalga oranı ve empedans uyumunu vermektedir.  $VSWR \leq 1,5$  hedefi;  $S_{11} \leq -14$  dB ve  $S_{22} \leq -14$  dB olmasını gerektirmektedir. Şekil 7 ve Şekil 8 tüm band boyunca bu hedeflerin ve  $50 \Omega$  empedans uyumunun sağlandığını, hatta bandın 100 Mhz altına ve 200 Mhz yukarısına kadar da sağlanabileceğini göstermektedir. Şekil 7 ve Şekil 8'de  $S_{11}$  -  $S_{22}$  arasındaki ölçüm farklılığı, prototip üretimde oluşan milimetrik montaj hatalarından kaynaklanabilir fakat tasarım hedefleri içinde tutarlıdır.  $S_{21}$  ve  $S_{12}$  ise;  $+45^\circ$  ve  $-45^\circ$  kanallar arasındaki kuplajı ve izolasyonu ifade etmektedir. Kanalları mümkün olduğu kadar bağımsız, korelasyonsuz yapmak ve alıcı işleminde kazançtan istifade etmek için, bu değerlerin tipik olarak -25 dB civarında olması istenmektedir. Şekil 9'da lokal iki bölge (1720 Mhz ve 1820 Mhz civarı) haricinde tüm band boyunca kanal izolasyonunun  $S_{21} = S_{12} \leq -25$  dB

olduğu görülmektedir ki; 1720 Mhz, 1820 Mhz frekansları da GSM1800'ün yukarı hat (uplink:1710-1780 Mhz) ve aşağı hat (downlink:1810-1880 Mhz) bölgesine ayrı ayrı denk düştüğü için operasyonel olarak sorun yaratmayacaktır.

Dizi antenin yatay ve dikey düzlemde ışınma örüntüleri Şekiller 2,3 ve Şekil 10'da verilmiştir. Bandın tam ortasında (1940 Mhz) yapılan yankısız oda ölçümlerinde yatay düzlemde HPBW  $\sim 63^\circ$  ve dikey düzlemde HPBW  $\sim 7^\circ$  ölçülmüştür. Bu değerlerden hareketle ve Şekil 11'deki kazanç eğrisini de dikkate alarak; yatay HPBW'in GSM1800 için  $65^\circ \pm 5^\circ$ , UMTS için  $60^\circ \pm 5^\circ$ ; dikey HPBW'in de GSM1800 için  $7^\circ \pm 1^\circ$ , UMTS için  $6^\circ \pm 1^\circ$  aralığında kalacağı söylenebilir. Dikey düzlemde yan kulakçık seviyeleri (SLL), ana hüzmünün sağında -14 dB, solunda ise -11,8 dB seviyelerindedir. Tasarım hedefi  $SLL \leq -12$  dB'in 0,2 dB'lik bir farkla sağlanmaktadır. 18 dB'lik kazanç hedefi de  $18 \text{ dB} \pm 1$  dB aralıkta elde edilmiştir. S-parametreleri ve ışınma karakteristikleri bağlamında ölçümler ile benzetimler uyumludur.

## 6. SONUÇ (CONCLUSION)

GSM1800 ve UMTS bandlarında birlikte kullanılacak dizi anten tasarımı, prototip üretimi ve benzetim-ölçüm sonuçları sunulmuştur. Tasarım hedefleri sağlanmıştır. Operatörlerin bu tip fonksiyonel antenlerde bir diğer tercihleri de ışın demetinin günlük operasyonda ayarlanabilir eğimli ve uzaktan kontrol edilebilmesidir (Remote electrical adjustable tilt). Geliştirilen dizi antene bu özellik eklenmek istendiğinde, ışın demeti eğildikçe, ufkun üzerinde kulakçık seviyesi (ana hüzmünün sol tarafı) yükselecektir ve komşu hücrelerde enterferans yaratacaktır. Dolayısıyla mevcut antenin -11,8 dB'lik SLL seviyesi bu aşamada kabul edilebilir olsa bile, ileriki aşamalarda, örneğin faz kaydırmalı dizi anten geliştirirken, problem olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda, dizi anten elemanları arasında uygun faz farkları yaratacak ( $\xi \neq 0$ ) bir faz kaydırıcı ve elemanlar arasında RF güç dağılımını optimal yapacak (Taylor, Binomial vb) yeni bir güç bölücü geliştirip, dizi anten ile entegre ederek; faz kaydırmalı uzaktan kontrol edilebilir GSM1800+UMTS baz istasyonu anten çalışması hedeflenmektedir.

Geliştirilen dizi antenin S-parametrelerine bakıldığında, dış mekanlarda, Wi-Fi, WLAN, WiMAX gibi 2200-2700 Mhz aralığında çalışan haberleşme sistemleri için de ayarlanarak, çok bandlı (GSM1800+UMTS+Wi-Fi+WiMAX) fonksiyonel bir anten düşünülebilir. Yapılan ön çalışmalarda, antenin S-parametrelerinin bu amaç doğrultusunda ayarlanabileceği görülmüştür. Ancak, 1710-2700 Mhz aralığında (yaklaşık % 44 bant genişliği), askıda plaka anten (suspended plate antenna) yapısı ile ışınma örgüsü ve kazanç kararlılığı sağlanamamaktadır. 2500

Mhz'den sonra, yüksek dereceli modlar (higher order modes) aktif hale gelerek, ana hüzmeye bölünüp (beam splitting) ikiye ayrılmaktadır. Bu konunun gelecekte ayrıca ele alınması gerektiği düşünülmektedir.

## 7. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Laboratuar ve ölçüm çalışmalarında sağladığı destek ve yardımlardan dolayı hocam Sn. Prof. Sencer Koç'a ve ODTÜ-EE bölümüne çok teşekkür ederim.

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

$\epsilon_0$  : Boş uzay geçirgenliği,  $(1/36\pi)\times 10^{-9}$  (F/m),

$\epsilon_r$  : Dielektrik sabiti

$f$  : Frekans (Hz),

$\lambda$  : Dalgaboyu (m)

AF: Dizi Faktörü (Array Factor),

dB: Desibel

GSM: Global System for Mobile communication

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System

HFSS: High Frequency Structure Simulator

HPBW: Yarım-Güç Hüzmeye Genişliği (Half Power Beam Width)

RF: Radyo Frekans,

SLL: Yan Kulakçık Seviyesi (Side Lobe Level)

SNR: Sinyal-Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)

VSWR: Voltaj Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave ratio)

Wi-Fi: Wireless Fidelity (IEEE 802.11b wireless networking)

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN: Wireless Local Area Network

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Chen, Z. N. and K.-M. Luk, **Antennas for Base Stations in Wireless Communications**, McGraw-Hill, New York, 2009.
2. Huang, Y. H., J. Ma, S. G. Zhou, and Q. Z. Liu, "Compact wideband inverted cone combined spherical segment antenna," **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, Vol. 23, No. 7, 935-940, 2009.
3. Song, Y., Y.-C. Jiao, G. Zhao, and F.-S. Zhang, "Multiband CPW-FED triangle-shaped monopole antenna for wireless applications," **Progress In Electromagnetics Research**, PIER 70, 329-336, 2007.
4. Mahatthanajatuphat, C., S. Saleekaw, and P. Akkaraekthalin, "A rhombic patch monopole antenna with modified minkowski fractal geometry for UMTS, WLAN, and mobile Wimax application," **Progress In Electromagnetics Research**, PIER 89, 57-74, 2009.
5. Wu, Y.-J., B.-H. Sun, J.-F. Li, and Q.-Z. Liu, "Triple-band omni-directional antenna for WLAN application," **Progress In Electromagnetics Research**, PIER 76, 477-484, 2007.
6. Vaughan, R. G., et al., "Antenna diversity in mobile communications," **IEEE Trans. on Veh. Tech.**, Vol. 36, 149-172, 1987.
7. Su, D., D. Fu, T. N. C. Wang, and H. Yang, "Broadband polarization diversity base station antenna for 3G communication system," **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, Vol. 22, No. 4, 493-500, 2008.
8. Wong, K.-L., F.-S. Chang, and T.-W. Chiou, "Low-cost broadband circularly polarized probe-fed patch antenna for WLAN base station," **IEEE Int. Symposium on Antennas & Propag.**, Vol. 2, 526-529, San Antonio, Texas, USA, June 2002.
9. Serra, A. A., P. Nepa, G. Manara, G. Tribellini, and S. Cioci, "A wide-band dual-polarized stacked antenna," **IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.**, Vol. 6, 141-143, 2007.
10. Kashani, H. F., M. Shahpari, and H. Ameri, "Dual band dual polarized antenna with high efficiency for base transceiver stations," **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, Vol. 22, No. 10, 1371-1379, 2008.
11. Eldek, A. A., A. Z. Elsherbeni, and C. E. Smith, "Square slot antenna for dual wideband wireless communication systems," **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, Vol. 19, No. 12, 1571-1581, 2005.
12. İsenlik, T., Bilgiç, M.M., Yeğin, K., Çiydem, M. "GSM/UMTS Dual Polarization Base Station Antenna Design", **IEEE APS/URSI** 2011.

