



**EMO**



**KTÜ**



**TÜBİTAK**

## ÖNSÖZ

Giderek gelenekselleşen Elektrik Mühendisliği Ulusal Kongrelerinin beşincisinde Trabzon'da buluşuyoruz. EMO ile KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün işbirliği ve TÜBİTAK'ın katkısıyla gerçekleşmekte olan Kongremizin başarılı ve verimli geçmesi umudundayız. Kongre sonuçlarından kıvanç duymak istiyoruz.

Kongre'de, bugüne kadar yapılmış çalışmalar ve yayınlanmış duyurulardan da anlaşılacağı gibi, bilinen yöntemlerin yanı sıra gelecek yıllara deneyim aktarabilecek yeni yaklaşımlar uygulanmaya çalışılmıştır. Bildiri özetlerinin değerlendirilmesine katılan uzman sayısının sistematik olarak artırılması, değerlendirme biçiminin daha da nesnelleştirilmesi, bildiri kitabında yeni yazım ve sunuş biçimlerinin oluşturulması gibi teknik gelişmelerin dışında ilginç olacağı sanılan panellerle güncel sorunların irdelenmesi ve yöresel öğelerle sosyal etkinliklere renk katılması amaçlanmıştır.

Kongrenin hazırlık ve düzenleme çalışmalarında bazı aksaklıklar olmuştur. Öncelikle kongre kararının olması gerekenden daha geç alınabilmiş olması, özet değerlendirme sürecinin posta trafiğinin çok yoğun olduğu bayram dönemlerine rastlaması hem Yürütme Kurulu'nu hem de Kongre'ye kahl.nağ isteyenleri zor durumda bırakmıştır.

Kongrenin düzenlenmesi sırasında edinilen deneyimler ışığında sorunları çözücü ilkesel önerilerin ortaya konması yararlı olacaktır. Bunları kısaca sıralayabiliriz. Örneğin 6. Kongre'nin ya da kısaca EMUK'95'in nerede ve ne zaman yapılacağını şimdiden kararlaştırmak gerekmektedir. Bundan sonra Konferans olarak adlandırılması daha uygun olacak Kongre için sürekli ya da uzun süre görevli bir 'Ulusal Düzenleme Kurulu'nun oluşturulması ve bu Kurul'un temel ilkesel karar ve yöntemleri üretmesi daha elverişli olacaktır. Kongre'nin yapılacağı konumdaki işleri ise 'Yerel Düzenleme Kurulu' üstlenmelidir. 'Bilimsel Değerlendirme Kurulu'nun da ayrıntılı bir sınıflandırma ve nitelik belirlenmesi ile bir kere oluşturulması, yalnızca gelişen koşullara göre güncelleştirilmesi düşünülebilir.

EMUK, böylesi bir yapılaşma ile daha sağlıklı, zaman planlaması daha verimli bir konferansa dönüşecektir kanısındayız. Örneğin bu durumda bildiri tam metinlerinin de değerlendirme ve denetim sürecine girmeleri olanaklı kılınacak, şu ana kadar ancak Yürütme Kurulları'nın ayrıntılı olarak bilincine varabildiği teknik sorunlar ortadan kalkacaktır. Konferansda da içerik ve düzey açısından belirli bir iyileştirme sağlanabilecektir. Bunu en yakında, EMUK'95'de gerçekleşmiş olarak görmek dileğindedeyiz.

Bilindiği gibi Kongremiz Elektrik, Elektronik-Haberleşme, Kontrol ve Bilgisayar Sistemleri alanlarında bilimsel-teknolojik özgün katkıların tartışılıp değerlendirilmesi ile araştırma, geliştirme, uygulama ve eğitim süreçlerindeki kişi ve kuruluşların birbirleriyle doğrudan iletişimini sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca sosyal yaklaşma ve dayanışmaya da

katkıda bulunmaktadır. Ancak Kongre ve onunla birlikte oluşturulan sergi/fuarın çok değerli bir 'Mesleki Eğitim ve Geliştirme' aracı olduğu bilincinin kişi ve kurumlarda daha çok yerleşmesi için çaba gösterme gereği de ortaya çıkmaktadır.

Kongrenin gerçekleşmesini sağlayan, hazırlık ve düzenlemeleri üstlenen KTÜ, EMO ve TÜBİTAK'a, oluşturulmuş olan kurulların üyelerine, ayrıca burada adlarını saymakla bitmeyecek kişi ve kamu - özel - akademik nitelikli kuruluşlara, yardım ve katkıları nedeniyle, Kongre'nin yararlı sonuçlarını paylaşacak olan topluluğumuz adına teşekkürlerimizi sunmak isteriz.

Kongremizin başarılı ve verimli bir biçimde gerçekleşmesi, ülkemiz için bilimsel - teknolojik kazanımlar üretmesi dileğiyle Yürütme Kurulu olarak saygılarımızı iletiriz.

Doç. Dr. Güven ÖNBİLGİN  
Yürütme Kurulu Başkanı

# ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

## YÜRÜTME KURULU

Güven ÖNBİLGİN (KTU)  
Yakup AYDİN (EMO) Sefa AKPINAR (KTU)  
Canan TOKER (ODTÜ) Kaya BOZOKLAR (EMO)  
Hasan DINCER (KTU) A.Öğuz SOYSAL (IU)  
Abdullah SEZGİN (KTU) İrfan SENLİK (EMO)  
Kenan SOYKAN (EMO) Y.Nuri SEVGEN (EMO)

## DANIŞMA KURULU

Raaim ALDEMİR (BARMEK) Mehmet KESİM (Anadolu U)  
Teoman ALPTURK (TMMOB) Macit MUTAF (EMO)  
Ahmet ALTINEL (TEK) Erdiñç ÖZKAN (PTT)  
İbrahim ATALI (EMO) Kamil SOGUKPINAR (TETSAN)  
Malik AVİRAL (ELİMKO) Sedat SİSBOT (METRONİK)  
Emir BİRGÜN (EMO) Atıf URAL (Kocaeli U.)  
Sıtkı ÇİĞDEM (EMO) I. Ata YİĞİT (EMO)  
R. Can ERKÖK (ABB) Fikret YÜCEL (TELETAS)  
Bülent ERTAN (ODTÜ) Hamit SERBEST (CU)  
Uğur ERTAN (BARMEK) Canan TOKER (ODTÜ)  
İsa GÜNGÖR (EMO) Nusret YUKSELER (ITU)  
Ersin KAYA (Kaynak) Kemal ÖZMEHMET (DEU)  
Okyay KAYNAK (Boğaziçi U)

## SOSYAL ETKİNLİKLER KURULU

Y. Nuri SEVGEN (EMO)  
Necla ÇORUH (PTT) Hatice SEZGİN (KTU)  
Esen ÖNKİBAR (TEK) Yusuf TANDOĞAN (PTT)  
Abdullah SEZGİN (KTU) Ömer K. YALCIN (TELSER)

## SEKRETERLİK HİZMETLERİ

Necini İKİNCİ (EMO) Elmas SARI (EMO)

BİLİMSEL DEĞERLENDİRME KURULU

Cevdet ACAR (İTU) Hayrettin KÖYMEN (Bil. U)  
İnci AKKAYA (İTU) Hakan KUNTMAN (İTU)  
A.Sefa AKPINAR (KTU) Tamer KUTMAN (İTU)  
Ayhan ALTINTAŞ (Bit .U) Duran LEBLEBİCİ (İTU)  
Fuat ANDAY (İTU) Kevork MARDİKİYAN (İTU)  
Fahrettin ARSLAN (IU) A.Faik MERGEN (İTU)  
Murat ASKAR (ODTÜ) Avni MORGUL (Boğaziçi U)  
Abdullah ATALAR (BiI.U) Güven ÖNBİLGİN (KTU)  
Selim AY (YTU) Bülent ÖRENCİK (İTU)  
Ümit AYGÖLU (İTU) Bülent ÖZGUC (BiI.U)  
Atalay BARKANA (Anadolu U) A.Bülent ÖZGÜLER (BiI.U)  
Mehmet BAYRAK (Selçuk U) Yiİmaz ÖZKAN (İTU)  
Atilla BİR (İTU) Muzaffer ÖZKAYA (İTU)  
Galip CANSEVER (YTU) Kemal ÖZMEHMET (DEU)  
Kenan DANIŞMAN (Erciyes U) Osman PALAMUTCUOĞLU (İTU)  
Ahmet DERVİSOĞLU (İTU) Erdal PANAYIRCI (İTU)  
Hasan DINCER (KTU) Halit PASTACI (YTU)  
M.Sezai DINCER (Gazi U) Ahmet RUMELİ (ODTÜ)  
Günsel DURUSOY (İTU) Bülent SANKUR (Boğaziçi U)  
Nadia ERDOĞAN (İTU) M.Kemal SARIOGLU (İTU)  
Aydan ERKMEN (ODTÜ) Müzeyyen SARI TAS (Gazi U)  
İsmet ERKMEN (ODTÜ) A.Hamit SERBEST (CU)  
H.Bülent ERTAN (ODTÜ) Osman SEVAİOGLU (ODTÜ)  
Selçuk GEÇİM (Hacettepe U) A.Oğuz SOYSAL (IU)  
Cem GÖKNAR (İTU) Taner SENGÖR (YTU)  
Remzi GULGUN (YTU) Emin TACER (İTU)  
Filiz GUNES (YTU) Nesrin TARKAN (İTU)  
İrfan GÜNEY (Marmara U) Mehmet TOLUN (ODTÜ)  
Fikret GÜRGEN (Boğaziçi U) Osman TONYALI (KTU)  
Fuat GURLEYEN (İTU) Ersin TULUNAY (ODTÜ)  
Cemil GURUNLU (KTU) Nejat TUNCAY (İTU)  
Nurdan GUZELBEYOGLU (İTU) Atıf URAL (Kocaeli U)  
Emre HARMANCI (İTU) Alper URAZ (Hacettepe U)  
Altuğ İFTAR (Anadolu U) Gökhan UZGÖREN (IU)  
Kemal İNAN (ODTÜ) Yi İdirim UCTUG (ODTÜ)  
Asım KASAPOGLU (YTU) Asaf VAROL (Fırat U)  
Adnan KAYPMAS (İTU) Siddik B. YARMAN (IU)  
Ahmet H. KAYRAN (İTU) Mümtaz YILMAZ (KTU)  
Mehmet KESİM (Anadolu U) Melek YÜCEL (ODTÜ)  
Erol KOCAOGLAN (ODTÜ) Nusret YUKSELER (İTU)  
Muhammet KOKSAL (İnönü U) Selma YUNCU (Gazi U)

UV DURULMIŞ DÜŞÜK GÜRÜLTÜLÜ KUVVETLENDİRİCİLER İÇİN  
BİR GRAFİK TASARIM YÖNTEMİ

PRFDR. PİLİZ GÜNEŞ

ARŞ.GÖK. Y.MÜH. HAMİM TORPİ

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ  
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ 80670 MASLAK / İSTANBUL

**ÖZET:** Bu çalışmada üyduulnuş, 'düşük gürültülü kuvvetlendiriciler için bir grafik insanın yönlünlü sınırlıdır. ki bu yöntemle bilimin gıcıkli tasarım pnr. 'incrlclci yük düzleminde toplınıbnlncktdır. Giriş uydunun tasarım paramctrcsr ile kaynak ve yük admıtanlarını. birbirine bağımlı kıldığı için, gürültü faktörü F . tr.nnsdli.scr kazancı G, ve kararlılık gibi lnsnrm pnrıncrlclci yük düzlemine transfer edilerek . sadece bti düzlemde çalışmak mümkündür. Bilıncrr lıansforıularn gereksinim sonucunda , bütün (asarnı paramıclıclctı yük düzleminde dairelerle lcnısil edilebilir. Yaygın yöntemde . tasarım parametreleri yük ve kaynak düzlemi olmak üzere, iki ayrı düzleme yerleştirildiğinde dcğışlıılıp konııol edilmesi ve gözlenmesi güçtür. Bu çalışmada teklif edilen yöntemle bütün lnsnrm parametreleri yilk düzleminde toplınıbnş durumda bilgisayar ekranında tetkık cdılıcık tasarımı lek aşamada lıanaulanmak mümkündür.

Yöntem ö/ellikle geri beslemeli kuvvetlendirici için faydalıdır. Vcılıcm bir geri besleme durumu için . farklı lnsnrm parametreleri arasındaki optimum ilişki dıcklı olarak grafiğın tetkıkından elde edilir. Anınlılık dcıklıclmclci bilgisayar hesaplamalarını çok hızlandırmaktadır ve geri besleme elemanının değe-indeki değışmelerin sonucu direkt gözlenebilmektedir

**1-GİRİŞ**

Gürültü en genel olarak arzulanan işareti b-ılıslzclşlıcn. etkileyip bozan , islenmeyen her hangi bir işarettir. Habıclclşme sistemlerinde genellikle (Özellikle uydıu habıclclşmcsındc yaklaşık 40000 Km 'lık bir mesafe kalcdılıncı nedeniyle) işaret gücü, gürültü gücüyle mukayese edilebilecek kadar düşük güçlüdür. Bu nedenle haberleşme sistemlerinin özellikle ilk katı gürültü açısından çok önemlidir. P) Eğer işaret gücü ilk katın gürültü gücünden küçükse işaretin gürültüyle kaybolacağı ve böylece haberleşme sisteminin çalışmayacağı aşıkardır. Zııa ilk kalın gürültü faklıöü sistemin gürültü faklıöünc direki olarak etki eder. [2]

$$F = \frac{F_{in}}{F_{out}} = \frac{1}{G} \quad (D)$$

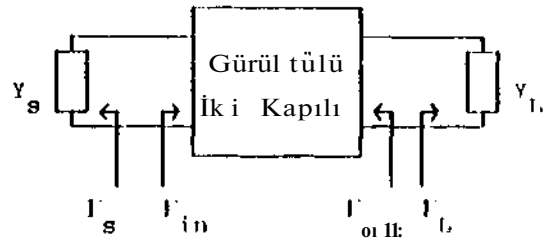
Haberleşme sısclıncıncd . alınan işaretler genellikle düşük güçlü ve gürültüyle birlikte dir. Bu

nedenle ilave bir kuvvetlendirme gıcıklicıkledıı ve bu hem işaret lııcındc gürültü güç seviyelerini altlını. Gürültü elimine edilemediğı için . sısclııı içinde çeşitli noktalarda işarecl gücünün gürültü gücüne oramı. genellikle performansın bir kılclci olaıak kullanılır. En çok kullanılan kılclcr gürültü faktörüdür. (üıüüllü faklıöıl , giriş kapısındaki işaret gücünün gürültü gücüne oram ve çıkış kapısındaki işarecl gücünün gürültü gücüne oranının birbirlıcınc orınındaıu elde edilir. [1])

$$F = \frac{S_{in}/N_{in}}{S_{out}/N_{out}} \quad (7)$$

Gürültü faktörü iki kapılıyı temsil nk-ıı gürültü paramıclıclci F<sub>in</sub>, R<sub>n</sub> ve 1<sup>ncı</sup> cinsinden kaynak yansıma katsayısı |S<sub>11</sub>|'c bağılı olaıak [3] aşağıdaki gibı yazılabilir.

$$F = F_{in} \cdot \frac{1 + |S_{11}|^2}{1 - |S_{11}|^2} \cdot \frac{1}{|S_{21}|^2} \quad (1)$$



Şekil-1

(\*)'dc görüldüğü gibi gürültü faktörü sadece giriş yansıma katsayısı S<sub>11</sub>'ın ve gürültü paramıclıclci V<sub>in</sub>, U<sub>in</sub> ve I<sub>in</sub>'ın fonksiyonudur. ki bunlarda mikıpdalga lıansistor kalaloglattııla değışık fıckausları için tablolar halinde üretici fıırna tarafından vcılılı Mıı parametreler tıansısıonı temsil edeleı \t-dcğışlıılıcmclcrı . (1)ııekl olaıak) O halde sadece l.. ayalınatak minimum gürültü faklıöünc I<sub>in</sub> I<sub>in</sub> iğın ulaşmak mümkündür. Aşıkntdır ki gürültü (al:lıönlü lı

(Yük yansıma katsayısı) 'nin fonksiyonu değildir. Yani I'ı scıbcsl olarak değiştirilerek hem girişten maksimum güç çekilmesi sağlanabilir. İçin de iki kapılının gürültü faktörü minimize edilebilir. Gösterilebilir ki [5]

$$I_{in} = \frac{S_{in}}{R_{in}} \approx \frac{S_{in}}{R_{in} + R_{out}} \quad (4)$$

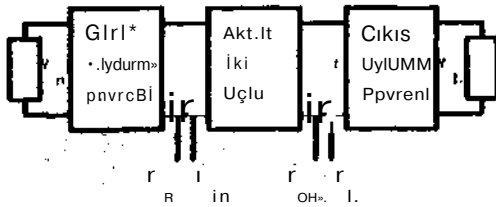
dir. (İtişlen maksimum güç çekilebilmesi için

$$I_{in} = \frac{S_{in}}{R_{in}} = \frac{S_{in}}{R_{in} + R_{out}} \quad (5)$$

seçilmelidir. Fakat bu şartı sağlayan yük admitansı için sistemin kararlı olmayabilir. Bir başka deyişle j'ij > 1 veya yük admitansının reel kısmı negatif olabilir, problem iki kapılıya geri besleme ilave edilerek çözülebilir. Zira geri besleme sayesinde kararlılık daireleri ile yük düzleminde belirlenen kararlı bölge ayarlanabilir. Böylelikle kararlılık problemi halledilebilir. Anın genellikle kazançtan fedakarlık etmek gerekebilir. Özellikle cıdüktans ile seri geri besleme yapılarak kazancın kısmen düzeltilebileceği gözlemlenmiştir. Yeterli kazanç kuvvetlendirici katı sayısı artırılarak (kaskal bağlanarak) halledilebilir. Bizim amacımız, gürültü açısından optimum kuvvetlendirici tasarlamaktır. I'in\*1\*op S<sup>artı</sup> sağlamak kaydıyla geri besleme elemanı değeriyle nınrlnnnrak I'ı. knrnılı bölgeye çekilebilir. Söz konusu giriş uydurma şartı kullanılarak bütün tasarım parametreleri yük düzlemine (aşınabilir).

## 2-1 EK KATLI TASARIM

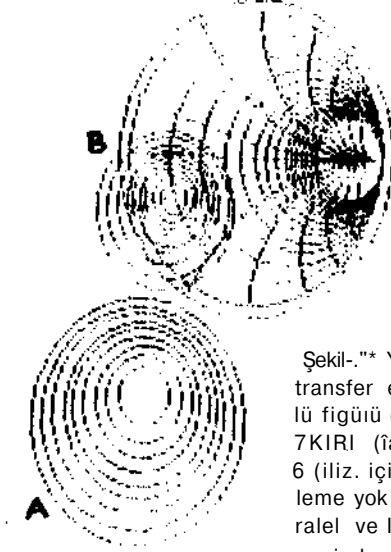
Geri beslemesi/ durum için I'ı'nin kararsız bölgede olması durumunda tasarımın gerçekleştirilmesi için ancak minimum gürültü faktöründen feragat ederek kararlı konumda bir kuvvetlendirici tasarlanabilir. Geri besleme yapılarak bu sınırlamadan kurtulunabilir.



Şekil-2 'Tek Katlı Kuvvetlendirici Bloğu

## 2-1 Tasarımın Ununifil'tinr Kırır Hir Hnt<ı>

**Gürültü Faktörü:** Y:ı\i'm \t'i19ttt^gğ00l<fftvj>i I >; 'in fonksiyonu olduğu için; ki;Mi;il. İli: kinim i,i/ilir Giriş uydunun koşulu ile bu parametrik \il; dü/k-minc transfer edilecektir. Gcii l>cslcnic u>ı>.ulanıı(a I] düzleminin kararı/ bölgelcinde olan sahil >ı>ıııııü farklı daireleri kararlı bölgeye doğru kayımladığı



Şekil-2\*\* Yük düzleminde transfer edilmiş pütüllü figürü daireselci ( Nİ; 7KIRI (İaAs MI;Sİr.İ' 6 (iliz. için) A-Gcii besleme yok B-C'-ııP Paralel ve l. - 1 ıııı Scii gcii beslemeli durum

**Güç Kazancı:** Güç kazancı daireselcide normalde yük düzleminde tanımlıdır. Yük düzleminde gücüüllü \c kazanç daireleri birlikte mütalaa edilecek bir yük admitansı tayin edilebilir.İldc edilebilecek en yüksek kazanç kararlılık parametreleri K cinsinden aşağıdaki gibi verilebilir. [4]

$$HAG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} \left( K - \sqrt{K^2 - 1} \right) \quad (6)$$

Bu kazanç karşı düşen dairenin çapı sıfırdır. Tğcr iki uçluya uygulanan geri besleme ile kuvvetlendirici hala koşulsuz, kararlı olamıyorsa bu durumda en büyük kazanç aşağıdaki gibidir.

$$MSG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} \quad I' >$$

Bu durum için kazanç dairesi !•f•>I dairesi \c kararlılık dairelerinin m'sbi durumlarına göre çalışma bölgesi tayin edilecektir

**Kararlılık:** Kararlılık daireselci Smilth ahağında kararlı ve kararsız, bölgelerin sınırını gösterir. Genellikle kararlılık daireleri kaynak ve yük düzleminde a\ıı a\ıı

incelenir. Kaynak admilansı ile yük admilansı giriş uydunun sattu ile birbirleri ile ilişkilendirildiğinden her iki cins (kaynak ve yük düzlemi kararlılık daireleri) kararlılık dairesi yük düzlemine çizilecektir. Bu iki dairenin komünüm göre iki ayrı düzlemde inceleme yapmaksızın giriş düzleminde dnlı kararlılık neden olmasının yük admilansı değeri yada yük yansılma katsayısı değeri (I) tayin edilebilir. (Minimum gürültü miktörü ve koşullu maksimumu ka/mc: snhip)

**tirim daire:** Kaynak düzleminde not mali/c yük admilansı bir olan dairevi yük düzlemine aktarmakla giriş uydurma devresinin tasarımı kolaylaşacaktır. Zira yük düzleminde I-1 değerini seçtikten söz konusu daire ücrinde seçilirse kaynak düzleminde bu yük admilansına karşı gelen admilansın reci kısım bir olacaktır. Uolayısı ile tek yan hatla sanal kısmın yok etmek suculiyle basit bir şekilde uydunun devresi lasailanabilecektir. Uydurma devresindeki eleman sayısının minimize edilmesi güüllü faktörü açısından da önemlidir. Zira pratik kullanılan elemanların kaybı söz konusudur. Hu da aynen gürültüye ilave olacaktır.

**Reci Eksen:** Benzer düşüncelerle kaynak düzlemindeki icel eksen yük düzlemine giriş uydurma şartı kullanılarak transfer edildiğinde bilincir transformasyon gereği yine belli çap ve merkeze sahip daire elde edilir. Aynı şekilde yük admilansı değerini tayin ederken bu daire ftzerinde olmasını sağlayabilisck giriş uydurma devresi . kaynak admilansı saf reci olacağından çeyrek dalga uzunluğundaki bir halla geçiceklencbilir.

2-2 Tasarım Parametrelerinin VOk Düzlemindeki Merkez ve yarıçaplarının Belirlenmesi

Kompleks düzlemde daire denklemleri aşağıdaki normdadır [2]

$$|z| \cdot B - 2 \cdot \text{Re} \{ z \cdot C \} - A = 0 \quad (7)$$

A, B gerçel C ise karmaşık sayıdır. Buna göre dairenin merkez ve yarıçapı aşağıdaki gibi belirlenir.

$$r_{\text{merkez}} = \frac{C}{B} \quad (\text{MERKEZ}) \quad (8)$$

$$r_{\text{yaricap}} = \frac{\sqrt{B \cdot A - |C|^2}}{B} \quad (\text{YARIÇAP}) \quad (9)$$

O halde kaynak düzlemindeki güüllü kazanç veya kararlılık daireleri yük düzlemine transfer ettiğimizde elde edilen denklem (7) normunu

gerçekliyorsa ki uyuyor. Merkez ve yarıçapını (X) \ c (9) nolu formülle tayin edilebilir/ Bulunacak analitik ifadelerle bitiriline benzer parçaları bulunduu için aşağıdaki notları kullanmak mümkün görülmüştür. [2]

$$R = |I - s_{11}|^2 \quad (10)$$

$$T = e_{22} - s_{21} \cdot A \quad (11)$$

$$V = |s_{22}|^2 \cdot |M|^2 \quad (12)$$

$$X = |I - s_{11}|^2 \quad (13)$$

$$Y = A^2 \cdot |s_{22} - I|^2 \quad (14)$$

Burada A S matrisinin determinantıdır Bu bilindiğinde ispatına girilmeden elde edilen sonuçları ağıdaki gibi [2]

**Gürültü Daireleri:** (T'den faydalanmak

$$A = |x|^2 - N_r \cdot R \quad (15)$$

$$B = -|ar|^2 / N_r \cdot v \quad (16)$$

$$C = X' \cdot Y \cdot I \cdot T \quad (17)$$

$$N_r = \frac{(F - F')}{N} \quad (18)$$

**Kazanç Daireleri:** (giriş uydurma koşulu altında hamsudscr güç kazancı aşağıdaki gibi ağılabilir

$$G_r = \frac{1}{1 - K} \cdot |s_{21}|^2 \cdot \frac{1}{|1 - s_{22} - I|^2} \quad (19)$$

Bu bağıttan yararlanarak kazanç dairelerinin merkezi ve yarıçaplarını bulmak için gerekli parametreleri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$A = -R - |s_{21}|^2 \quad (20)$$

$$B = V - |s_{21}|^2 \quad (21)$$

$$C = T \quad (22)$$

**(T'nin Düzlemi Kararlılık daireleri:**

$$A = R' - |T|^2 \quad (23)$$

$$B = V' - |T|^2 \quad (24)$$

$$C = T \cdot CR - V' \quad (25)$$



(İkts Düzlemi Kararlılık Daireleri:

$$A = R \quad (26)$$

$$B = -V \quad (27)$$

$$C = -T \quad (28)$$

Birim Daire:

$$B = |A|^{-1} \llbracket \dots A \rrbracket \quad (30)$$

$$c = \frac{A \cdot t \cdot \dots \cdot \dots \cdot 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot A}{2} \quad (II)$$

Reel Eksen:

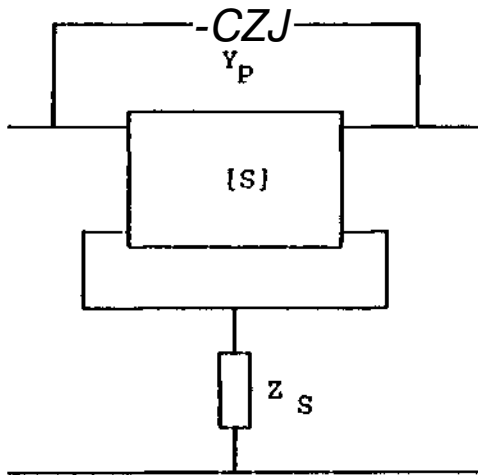
$$A = \text{Im} \{ s_{11} \} \quad (12)$$

$$B = \text{Im} \{ s_{22} \cdot A \} \quad (11)$$

$$\frac{j}{2} \quad (14)$$

2.3 deri Beslemenin Hesaba Katılması

Geri besleme elemanını olmaksızın kayıpsız elemanlar (L, C gibi) elemanlı edilmiştir. (İfiriillü Açısal.-m)



Şekil-4 |S| P<sub>1</sub> in me lı cici i ile temsil edilen iki kapılıya seri (Zs) ve paralel (Y<g>) geri besleme elemanlarının uygulaması

Paralel geri besleme için eşdeğer iki kapılının girişli parametreleri aşağıdaki gibi verilebilir [11]

$$R_{n, tot} = R_n + \frac{|Y_{21}|^2}{|Y_{22} + Y_r|^2} \quad (15)$$

$$G_{n, tot} = G_n \quad (16)$$

$$Y_{opt, tot} = Y_r \left[ \begin{array}{c|c} I & Y_{11} \\ \hline Y_{21} & I \end{array} \right] \frac{1}{Y_{22} + Y_r} \begin{array}{c} 1 \\ Y_r \end{array} \quad (17)$$

R<sub>n</sub> = |Y<sub>11</sub>|<sup>2</sup>, r<sub>01</sub>, bu parametrelerle (ÜMIIIÜ parametreleri) cinsinden

$$G_{opt} = \frac{F_{opt} - 1}{2 \cdot R_n} = G_{opt} \quad (18)$$

$$G_n = \llbracket \llbracket e_{22} \rrbracket \cdot R_n \rrbracket \quad (19)$$

$$B_{opt} = B_{opt}$$

olarak verilebilir [11] Hm ada

$$Y_{opt} = G_{opt} + jB_{opt}$$

$$Y_{opt} = G_{opt} + jB_{opt} \quad (II)$$

$$\frac{1}{X_{opt}} = \frac{1}{X} - \frac{1}{X_{opt}}$$

dir. Bu iki denklem laktından yararlanarak paralel geri beslemeli devrenin toplam girişli parametreleri aşağıdaki gibi verilebilir. [11]

$$F_{opt, tot} = 2 \cdot R_{n, tot} (G_{opt, tot} + G_{opt, tot}) + 1 \quad (n.1)$$

$$R_{n, tot} = R_n \frac{|Y_{21}|^2}{|Y_{22} + Y_r|^2} \quad (M)$$

$$B_{opt, tot} = B_{opt, tot} \quad (II)$$

$$G_{opt, tot} = \sqrt{\frac{G_{opt, tot}}{R_{n, tot}}} + G_{opt, tot} \quad (iM)$$

Benzer şekilde kayıpsız, geri besleme devresi için toplam sistemin girişli parametreleri aşağıdaki gibi verilebilir. [11]

$$k \ll f \quad (46)$$

$$r_n \approx x_n \quad (47)$$

$$\left[ \begin{array}{c} \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \dots \\ \dots \\ \dots \end{array} \right] \quad (48)$$

Bu sonuçlardan yararlanarak da

$$F_{in,tot} = 2 \cdot R_{n,tot} (R_{out,tot} + X_{opt,tot}) M \quad (49)$$

$$R_{n,tot} = R_n \frac{|z_{22}|'}{|z_{22} - z_s|'} \quad (50)$$

$$X_{opt,tot} = -X_{cor,tot} \quad (51)$$

$$R_{opt,tot} = \sqrt{\frac{g_{n,tot}}{R_{n,tot}} + R_{cor,tot}} \quad (52)$$

olunabilir. Böylelikle seri yada paralel geri beslemeli devre için gürüllü parametreleri ne şekilde değiştiği analitik olarak belirlenmiş oldu.

## 2. TASARIM ÖRNEĞİ

Tasarım yukarıda çıkarılan sonuçlar kullanılarak geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla tasarlanmıştır.

Tasarım Nn.9(H)R9 GaAs MESFET devresi ile gerçekleştirilmiştir. Hı İran/İstanbul'a ait S-Parametreleri ve gürüllü parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$s_{11} = -0.587 \quad |S_{21}| = 2.147 \quad F_{min} = -0.9 - 18 - 1 \quad (R_{n,tot} = 15 \text{ Si})$$

$$F_{min} = -1.2 \text{ dB} \quad |S_{11}| = 0.587 \quad |S_{21}| = 2.147 \quad R_{n,tot} = 15 \text{ Si}$$

Devre girdilerle geri besleme uygulamadan düşük gürültülü bir kuvvetlendirici tasarlamaya çalıştığımızda giriş uydurma şartını sağlayan  $|L| = 1.75$  değeri modülünün bir'den büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle kuvvetlendirici devresinde giriş uydurma şartını sağlamak için bir'den büyük gürültü parametresi kullanılması gerekmektedir. Şekil-5'deki gibi bir devre tasarlanmıştır. Şekil dikkatlice incelenirse gürültü ünitelerinin devrenin girişine (girdiye) yani pasif yüklerin dışında olduğu görülmüştür. (Not: Şekil-5'de gürültü dairelerinin merkez

koordinattan Smilli abağı düzleminde çok itiraz edilmiştir. Aynı yapıdaki devre için şekildeki devreyi bozmamak için gürültü parametreleri devreye girilmiştir.)

Aynı yapıdaki Şekil-4'deki devreye aynı yapıda  $C_{in}$  ve  $L_{out}$  'lık pasif elemanlar seri besleme elemanı takıldığında giriş uydurma şartını sağlayan  $|L|$  'nin modülünün bir'den küçük olduğu ve kamışı/liğa neden olmadığı hesaplanarak görülmüştür. Hesaplanarak bulunan neticeler aşağıdadır:

$$|S_{11,tot}| = 0.68 \quad |S_{21,tot}| = 7.5089 \quad R_{n,tot} = 15 \text{ Si}$$

$$|S_{11,tot}| = 0.537 \quad |S_{21,tot}| = 37.82 \quad |S_{21,tot}| = -0.25 \text{ dB}$$

$$s_{21,tot} = -1,1228174,795 \quad *?M \cdot R_{2V1} - 21 \text{ dB}$$

Kaydardığı gibi elde edilen gürültü parametresi devresi Nn.9(H)R9 GaAs MESFET devresinin minimum gürültü parametresi  $F_{min} = -1.2 \text{ dB}$  'den düşüktür. Ka/auçun makul bir seviyededir.



Şekil-5 NE91KM189 (InAs MESFET) 'e ait devre için giriş uydurma şartını sağlayan  $|L|$  'nin modülünün bir'den küçük olduğu ve kamışı/liğa neden olmadığı hesaplanarak görülmüştür. Hesaplanarak bulunan neticeler aşağıdadır:

Geri beslemeli devreye giriş uydurma şartını sağlamak için bir'den büyük gürültü parametresi kullanılması gerekmektedir. Şekil-5'deki gibi bir devre tasarlanmıştır. Şekil dikkatlice incelenirse gürültü ünitelerinin devrenin girişine (girdiye) yani pasif yüklerin dışında olduğu görülmüştür. (Not: Şekil-5'de gürültü dairelerinin merkez koordinattan Smilli abağı düzleminde çok itiraz edilmiştir. Aynı yapıdaki devre için şekildeki devreyi bozmamak için gürültü parametreleri devreye girilmiştir.)



## DÜZLEMSEL UYDU ANTENLERİ

Haydar Kaya

Hasan Dinçer

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Elektronik-Elekttronik Müh. Bölümü, 51080 TRABZON

Özet : Uydudan doğrudan yapılan yayınları (DBS) almak için hali-hazırda yaygın biçimde kullanılan antenler parabolik reflektör antenlerdir. Buna rağmen son yıllarda düzlemsel antenler üzerine pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Büyük yapıları parabolik antenlerin gerçekleştirilmesinde bazı güçlüklerle karşılaşmaktadır. Ayrıca yağmur, kar ve rüzgar gibi doğal etkiler bu antenlerin performansını düşürdüğü de bilinmektedir. Son yıllarda düşük gürültülü yükselteç (LNA) ve az kayıplı taban malzemelerin yapımında önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu gelişmeler düzlemsel antenler üzerine yapılan çalışmalarını giderek artırmaktadır. Düzlemsel antenler üzerine yapılan bu çalışmalar parabolik antenlerin kısmi olumsuzluklarından kurtulmak, yapım ve kullanım kolaylığı sağlamayı amaçlamaktadır.

Düzlemsel antenler genel olarak baskılı dizi anten veya yarıklı dizi anten biçimlerinde yapılabilmektedirler. Bunların dışında reflektör özelliklerine sahip düzlemsel antenler üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada düzlemsel antenlerin bazılarının temel özelliklerine değinilerek örnekler verilmiştir.

### 1. GİRİŞ

Uydulardan yapılan TV yayınlarını alabilmek için yüksek kazanç

ve düşük eksene1 orana (odak uzunluğu-çap oranı) sahip antenlere gerek duyulur. Bu özellikleri sağlayan antenlerden günümüzde yaygın biçimde kullanılanları parabolik yansıtıcı antenlerdir. Yüksek kazanç gerektiği zaman bu antenlerin boyutları büyümektedir. Bu durumda hem yapıları zorlaşmakta hem de ağır olmaktadır. Boyutlarının büyümesi de yerleştirilmelerinde güçlüklerle neden olabilmektedir. Bu etkiler de göz önünde tutularak son on yıldan fazla bir zamandır düzlemsel antenlerin araştırılmasına önem verilmiştir. Düzlemsel antenler üzerine yapılan çalışmalarda özellikle seksenli yılların ikinci yarısından sonra artış gözlenmektedir. Bunun önemli nedenlerinden birinin düşük gürültülü yükselteç (LNA) ve az kayıplı taban malzemelerin yapımında sağlanan ilerlemelerin olduğu söylenebilir. Ayrıca uyduların güçlerinin artması antenlerin boyutlarının küçülmesini sağlamaktadır. Bu durumda düzlemsel antenlerin yapıları daha da kolaylaşmakta ve daha toplu biçim almaktadırlar.

Düzlemsel antenler yapıları ve beslemeleri açısından gruplara ayrılabilirler. Yapım türlerine göre iki gruba ayrılabilir. Birinci gruba "Tümleşik Düzlemsel Antenler", ikinci gruba ise "Düzlemsel Yansıtıcı Antenler" sokulabilir. Tümleşik düzlemsel antenler de kendi

İçerisinde alt gruplara ayrılabilirler. Bu çalışmada düzlemsel antenler bu iki genel grup altında toplanarak incelenmeye çalışılmıştır.

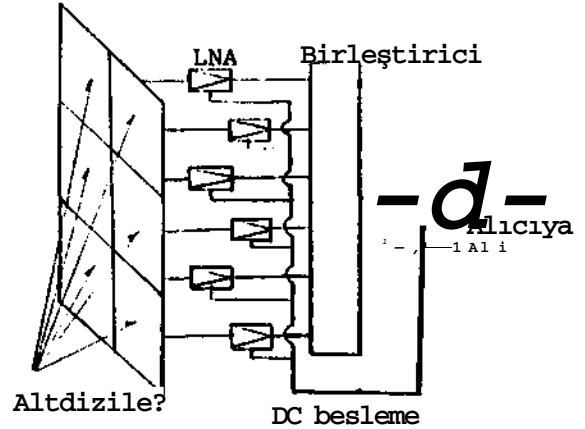
## 2. TÜMLEŞİK DÜZLEMSEL ANTENLER

Tümleşik düzlemsel antenler genellikle dielektrik bir taban malzeme üzerinde çeşitli biçimlerde gerçekleştirilen antenlerdir. Parabolik antenlerdeki odak noktası bu antenlerde yoktur. Çanak anten sisteminde odak noktasına yerleştirilen ve düşük-gürültülü yüksekteç bloğu (LND) olarak adlandırılan birim tümleşik düzlemsel antenlerde yapının üzerinde yer alır. Uygun besleme sistemleriyle toplanan işaret bu bloğa aktarılır.

Tümleşik düzlemsel antenler besleme sistemlerine göre "Baskılı Dizi Antenler" ve "Dalgaklavuzu Yarıklı Dizi Antenler" olarak ikiye gruba ayrılabilirler. Baskılı dizi antenler besleme sistemleri olarak mikroşerit hatlar, şerit hatlar ve askılı hatları kullanırlar. Dalgaklavuzu yarıklı dizi antenlerde ise besleme elemanları radyal dalgaklavuzları veya dikdörtgen dalgaklavuzlarıdır. Tümleşik düzlemsel antenler üzerine 1988 yılı sonlarına kadar yapılan çalışmalar hakkında özet bilgiler [1] nolu kaynakta verilmiştir.

Tümleşik düzlemsel antenlerde açıklık boyutları büyüdükçe besleme kayıpları artmakta, verim düşmekte, alış performansını parabolik antene göre azalma göstermektedir. Mitsubishi firmasının gerçekleştirdiği 900x900mm açıklık boyutlarına sahip bir mikroşerit dizili düzlemsel anten bu olumsuzlukları en aza indirmek için altı altdiziye ayrılarak yapıldı [2]. Bu antende her bir altdizi bir LNA'yı beslemekte ve LNA'ların çıkışı bir toplayıcıda

toplanarak LNB'ye uygulanmaktadır (Şekil 1.1). 12.25-12.75 GHz bandında çalışan bu antenin LNA'lı kazancı 47 dB olarak verilmiştir. Anten veriminin toplayıcı kayıpları hariç %60 civarında olduğu ve geniş bir jeografik bölge üzerinde kullanılabilirdiği belirtilmektedir.



Şekil 1.1 LNA'lı bir düzlemsel antenin blok şeması.

## 3. DÜZLEMSEL YANSITICI ANTENLER

Düzlemsel yansıtıcı antenler parabolik antenlerde olduğu gibi yüzeyden yansıyan işaretlerin toplandığı bir odak noktasına sahiptirler. DBS yayınlarını (TV yayınları) almak için kullanılan antenlerde odak noktasına yerleştirilen bir dalgaklavuzu besleme elemanı ile toplanan işaret LNB'ye aktarılır.

Düzlemsel yansıtıcı antenler üzerine yapılan deneysel bir çalışmada, 708x618 mm boyutlarında eliptik bir düzlem yapı üzerine 766 dipol elemanları yerleştirilmiştir [3]. Düzlem yapı farklı dielektrik sabitine sahip dört katmanlı yapıya sahiptir ve en alta toprak düzlemi yerleştirilmiştir. Dipoller eliptik bir yay üzerinde yer alacak şekilde düzenlenmiştir. 9.5-10.5 GHz bandında çalışacak şekilde tasarlanmış bu antenin

merkez frekansı 10 GHz dir. Odak dölzlemi besleme elemanının gölgeleme etkisi en az olacak şekilde seçilmiştir. Antenin kazancı 9.5. 10 ve 10.5 GHz için sırasıyla 32.3. 33.7 ve 33.8 dB ölçülmüş, merkez frekansında açıklık verimi %56 olarak belirlenmiştir.

4 GHz de uydudan yapılan TV yayınlarını almak için yapılan bir çalışmada metal levhali Fresnel mercek anteni deneysel olarak gerçekleştirildi{4J. Yaklaşık 360x360 cm boyutlarında bir dielektrik taban malzeme Üzerinde gerçekleştirilen bu antenle Satcom F3 uydusundan yapılan yayınların iyi kalitede alınmış olduğundan \*10° lik farklı açılarda yerleştirilecek birden fazla besleme elemanıya aynı anda birden fazla uydudan yayın alınabilmesi, daha toleranslı bir yapım özelliğine sahip olması, antenin parabolik antenlere olan üstünlükleri arasında verilmiştir. Bununla birlikte, bu antenler tek bir polarizasyon şekli için yapılabilmekte ve belirli bir frekans için tasarlandıklarından tasarım frekansının yaklaşık %12 si kadar bir band genişliğine sahiptirler.

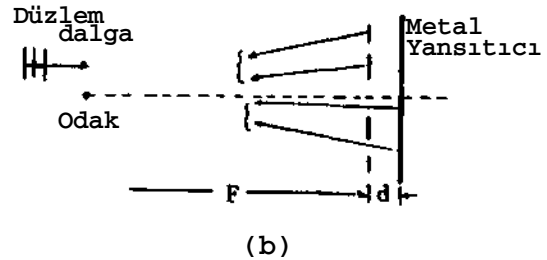
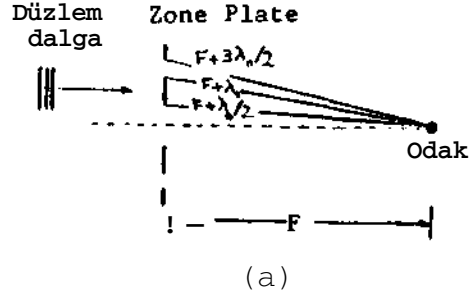
#### FZP Yansıtıcı Antenler

Clektromagnetik dalgaları odaklama özelliğine sahip FZP(Fresnel Zone Plate) antenler Üzerine milimetrik ve mikrodalgalarda bugüne kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır(15)-(81. FZP antenlerin temeli elektromagnetik dalgaların kırınımına dayalıdır. FZP anten dielektrik bir taban malzeme Üzerinde yizeyine gelen dölzlem dalgaların odağa ulaşması açısından, aynı düzlem Üzerinde ardarda bir açık bir kapalı dairesel bölgelerden oluşur. Kapalı bölgeler iletken malzemedен oluşan dairesel bölgelerdir. Şekil.

2'de FZP antenlerin iki türü için kesit gösterimler verilmiştir. Dairesel bölgelerin yarıçapları şeki 1.2a yardımıyla

$$r_n = [nF\lambda_0 \cdot (n \setminus / 2) \cdot ]^{1/2}$$

bağıntısından hesaplanır. Bu bağıntıda F odak uzunluğu,  $\lambda_0$  tasatım dalga boyudur.



Şeki 1.2 iki tür FZP anten için kesit gösterim, (a) mercek FZP anten, (b) yansıtıcı FZP anten.

Şekil.2a'daki FZP anten düzlemsel mercek, şeki 1.2b'deki yapı ise yansıtıcı FZP anten olarak adlandırılır. Şekil.2b'deki FZP antenin dielektrik taban malzemesinin d kalınlığı 180° faz kaydıracak şekilde  $d = \lambda_0 / 4$  civarında hesaplanır.

FZP antenler de diğer düzlemsel yansıtıcı antenler gibi frekansa bağımlıdır. Hesaplanan band genişliği tasarım frekansının yaklaşık %20'si dir. Maksimum işaret alışı için odak uzunluğu tasarım frekansının altındaki frekanslarda azalmakta. Üstündeki frekanslarda ise artmaktadır. Antenin beklenen verimi %30-40 civarındadır(9|.

120 cm çapındaki bir parabolik çanak antenle karşılaştırılabilmek amacıyla tasarım frekansı 11.3 GHz alınarak 120 cm açıklık çapına sahip bir yansıtıcı FZP anten yapılmıştır. Anten 22 dairesel bölgeden oluşmuştur. Taban malzeme olarak 0.6 cm kalınlığında styrofoam ( $\epsilon_r=1.03$ ) kullanılmıştır. Anten Eutelsat-II F1 uydusuna yöneltilerek test edilmiştir. Bu uydudan yayın yapmakta olan Uç kanaldan (Süper Channel, TV5 ve Deutsche Welle) izlenebilir kalitede resim alınmıştır. Gerçekleştirilen antenin kazancı aynı çapta ki parabolik antenin kazancından yaklaşık 4.5 dB daha aşağıda ölçülmüştür. Anten arzulanan düzeyde gerçekleştirilemediğinden beklenen verime yaklaşılamamıştır.

#### 4. SONUÇ

Tümleşik düzlemsel antenlerin yapımı düzlemsel yansıtıcı antenlerin yapımına oranla daha zor ve karmaşıktır. Tümleşik düzlemsel antenlerde LNB biriminin yapının üzerinde tümleşik devre tekniğiyle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Düzlemsel yansıtıcı antenlerde ise gelen dalgaların odaklandığı bir odak noktası bulunduğu halihazırda mevcut olan LNB'ler burada kullanılabilir. Düzlemsel yansıtıcı antenlerin yapımı için az kayıplı taban malzemeler önemlidir. Yapım kolaylığı açısından FZP antenlerin daha üstün olduğu söylenebilir. Yüksek kazancın gerekli olmadığı uygulamalar için bu antenler kolayca gerçekleştirilebilirler. TürkSAT uydusundan yapılacak yayınlar planlamaya göre 60 cm çapındaki parabolik çanak antenlerle alınabilecektir. Bu yayınlar 80-90 cm belki de daha küçük çaplardaki FZP antenlerle de alınabilir.

#### KAYNAKLAR

- 11) K.Ito, K.Ohmaru, Y.Konishi, Planar Antennas For Satellite Reception, IEEE Transactions on Broadcasting. 1988
- 12) Y. Chatani, A Planar Array Receiving Antenna for Satellite Communications, Mitsubishi Electric Advance. 1992
- 13) F.S Johansson, A New Planar Grating-Reflector Antenna, IEEE Trans. AP-38, 1990
- 14) N.I.H Shuter, C.P Chan. E.W Li, A Metal Plate Fresnel Lens for 4 GHz Satellite TV Recept... IEEE Trans. AP-32, 1984
- 15) M.A Gouker, G.S Smlth. A Millimeter-Wave Integrated Circuit Antenna Based on the Fresnel Zone Plate, IEEE Trans. MTT-40, 1992
- 16) D.N LUack. James C. Wiltso. Millimeter-Wave Characteristics of Phase-Correcting Fresnel Zone Plates, IEEE Trans. MTT-35 1987
- 17) J. Garret, James C.Hiltse. Performance Characteristics of Phase Correcting Fresnel Zone Plates, IEEE MTT-S Digest. 1990
- 18) B. Huder, W. Menzel, Fiat Printed Reflector Antenna for mm-Wave Applications, Electronics Letters, 1988
- 19) H.Dinçer. H. Kaya, Yeni Bir Tip Düzlemsel Uydu Anteni, KTÜ AFP Gelişme Raporu I, II. III. 1991-92



Haydar KAYA,  
1963 yılında T-  
rabzon'uu Çay-  
kara ilçesinde doğdu. 1985 yi-  
linda KTİİ Elek-  
trik-Elektronik  
HÜh. Bölümünden  
mezun oldu. 1990  
yılında yüksek  
lisansını ta-

mamlayarak doktora programına  
kaydoldu. KTÜ Elektrik-Elektronik  
Müh. Bölümünde 1985 yılından  
beri Arş. Görevlisi olarak çalış-  
maktadır. Çalışma alanları mikro-  
dalga ve antenlerdir.



Hasan Dinçer,  
1946 yılında  
Malatya'da doğ-  
du. 1971 yılında  
İ.T.U Elektrik  
Fakültesi'nden  
Y.Hüh. diploması  
aldı. Aynı  
yıl K.T.Ü. de  
göreve başladı.

1977 yılında University of  
Bradford'dan Doktor derecesi  
aldı. 1985 yılında Telekomünika-  
yon Ana Bilim Dalında doçent  
oldu. Halen K.T.Ü Elektrik Ana  
Bilim Dalı Başkanı olarak görev  
yapmaktadır.

Çalışma Alanları : Elektronik  
devreleri ve sistemleri. Haber-  
leşme sistemleri ve Antenlerdir.  
Doç. Dr. H. Dinçer'in bu konularda  
çeşitli araştırma ve uygulamala-  
rı vardır.



# BİYOLOJİK YAPILARDA ELEKTROMAGNETİK ALAN VE ÖSO DAĞILIMININ SE-ZO METODUYLA HESAPLANMASI

Tamer COŞKUN, PAÜ Mühendislik Fakültesi, DENİZLİ  
Kemal ÖZMEHMET, MÜ Mühendislik Fakültesi,  
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bornova ' İZMİR

## ÖZET

Bu çalışmada. insan dokuları içerisinde elektromagnetik dalga ve soğulan enerji dağılımı hesaplamak için. sonlu elemanlar zaman ortamı (SE-ZO) metoduna dayanan bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Homojen olmayan yapıları modellemek için baz fonksiyonları olarak karıştırılmış yaklaşım fonksiyonları kullanılmıştır. Homojen silindirik bir yapı ve homojen olmayan seviyeli silindirik bir yapı modellenmiş; sonuçlar ve bunlardan elde edilen özgül soğulma oranları (ÖSO) lam çözümlerle beraber grafikler halinde verilmiştir.

## ABSTRACT

In this work, a simulation program based on finite element time domain (FE-TD) method was developed to quantify electromagnetic fields and absorbed electromagnetic energy in human tissues. To model inhomogeneous bodies mixed interpolation functions was used as basic functions. A homogeneous and an inhomogeneous structure was modeled; the results and calculated specific absorption rates (SAR) were presented graphically with exact solutions.

## 1. GİRİŞ

Elektromagnetik radyasyonun değişik amaçlarla kullanımının artması nedeniyle, insan dokuları içerisinde elektromagnetik dalga ve enerji yayılımının sayısal olarak simülasyonu önem kazanmaktadır. Bu bilgiler tehlikeli radyasyon seviyesinin tespiti, değişik aşırı ısıtma uygulamalarının tasarımı ve değerlendirilmesi gibi alanlarda kullanılabilirlerdir [1-5].

Homojen olmayan karmaşık yapılar içerisindeki elektromagnetik alan ve ÖSO dağılımının hesaplanmasında değişik sayısal teknikler kullanılmıştır. Her bir sayısal tekniğin kendine özgü kısıtlamaları mevcuttur [1-5]. Bunların en önemlisi modellemeyle ilgili olanıdır. Son zamanlarda, esnekliğinden ve doğrusal olmayan yüzeylerin ve aralıkların diğer metodlara göre çok daha gerçekçi olarak tanımlanabilmesinden dolayı sonlu elemanlar yöntemi popüler hale gelmiştir. Bu çalışmada önce zaman ortamı çözümleri elde edilmiş, daha sonra bu çözümlerden sürekli hal çözümlerine geçilmiştir.

Tüm diğer sayısal metodlarda olduğu gibi, çözümün kararlılığı için zaman artımının tespiti (frekansa, doku

parametrelerine, ağ yapısına bağlı olarak) önem kazanmaktadır. Bununla ilgili kriterler verilmiştir [6,7]. Bilindiği gibi, biyolojik yapıların elektriksel özellikleri frekansa ve doku tipine bağlı olarak değişmektedir [8]. Bu nedenle doku arayüzlerinde bir süreksizlik söz konusudur. Homojen olmayan yapıları, bu süreksizliği de dikkate alarak, inceleyebilmek için baz fonksiyonları olarak karıştırılmış yaklaşım fonksiyonları (E sabit - H doğrusal) kullanılmıştır. Böylece doku arayüzlerinde elektrik alanın x ve y bileşenlerinden normal ve teğetsel bileşenlerine dönüşüm gibi bir zahmetten kurtulmuşur.

Ağ yapısı, bu kriterleri de dikkate alarak yazılan bir C programıyla otomatik olarak oluşturulmuştur. Ağ yapısının oluşturulması, görüntülenmesi, sınır koşullarının girilmesi gibi ön işlemler; sürekli hal çözümlerinin değerlendirilmesi, özgül soğulma oranlarının hesaplanması, grafiklerin oluşturulması gibi son işlemler IBM uyumlu kişisel bilgisayarlarda yapılmıştır. Çok boyutlu ve büyük matrislerle işlemleri gerektiren çözüm aşaması IBM RISC 6000 sisteminde, yazılan bir C programıyla gerçekleştirilmiştir.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL

İlgilendiğimiz Maxwell denklemleri

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{d\mathbf{H}}{dt} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \epsilon \frac{d\mathbf{E}}{dt} + \mathbf{J} \quad (2.2)$$

şeklinindedir. Burada  $\mathbf{J}$  =CTK dir ve akım yoğunluğunu göstermektedir. Maxwell denklemlerini çözebilmek için aşağıdaki başlangıç ve sınır değerlerinin bilinmesi gerekir:

1. Çözüm bölgesinin her yerinde  $t=0$  daki başlangıç durumunu (  $\mathbf{E}(x,y,0)$ ,  $\mathbf{H}(x,y,0)$  ) verilmelidir. Bu çalışmada başlangıç durumunda bu değerlerin sıfır olduğu kabul edilmektedir.

2. Bütün  $t \geq 0$  değerleri için E'nin veyahut H'nin sınırdaki teğetsel değerleri bilinmelidir [9].

Biyolojik yapılarda  $\epsilon$  sabit kalırken  $\sigma$  ve  $r$  doku tipine ve frekansa bağlı olarak değişmektedir [10].

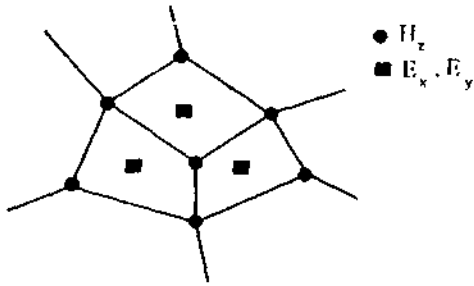
Yapılan çözümlerde elektrik alanın x ve y bileşenlerinin, magnetik alanın z bileşeninin olduğu varsayılmıştır.

Maxwell denklemlerinin ayrı formalarını elde etmek için denklemlere Galarkin prosedürü uygulanmıştır. Bunun için elektrik ve magnetik alanların aşağıda gösterildiği gibi polinomların toplamı şeklinde ifade edilebileceği kabul edilmiştir:

$$E = \sum_{i=1}^{N_E} E_i(t) \cdot \mathbf{e}_i(x, y) \quad 2.3.a$$

$$H = \sum_{i=1}^{N_H} H_i(t) \cdot \mathbf{h}_i(x, y) \quad 2.3.b$$

Burada  $E = [E_x, E_y, 0]$ ,  $H = [0, 0, H_z]$  ve  $\mathbf{e}_i, \mathbf{h}_i$  ayrıştırılan ortamdaki i. eleman veya düğüme bağlı baz fonksiyonlarıdır. E ve H, z eksenini boyunca sabit kabul edilmiştir. Bu çalışmada  $\mathbf{e}_i$  ve  $\mathbf{h}_i$  polinomları değişik dereceli olarak seçilmiştir. Bu karıştırılmış yaklaşım [11] olarak adlandırılmaktadır. E sabit H doğrusal karıştırılmış yaklaşım fonksiyonu için kullanılan alan bileşenleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil:2.1: E sabit H doğrusal karıştırılmış yaklaşım fonksiyonu için kullanılan alan bileşenleri

Tipik bir düğüm için, i. düğümdeki bir magnetik alan değerinin hesabı sadece bu düğümü çevreleyen elemanlardaki elektrik alan değerlerine bağlıdır. Aynı şekilde; i. elemandaki elektrik alan değeri bu elemanı tanımlayan düğümlerdeki magnetik alan değerlerini kullanarak hesaplanabilir.

Baz fonksiyonlarının seçiminden dolayı sınır koşulları formüllerde doğal olarak yrcalmaktadır. Ayrıca sınırdaki ara yüzelerde elektrik alanın  $E_x$  ve  $E_y$  bileşenlerinden  $E_n$  ve  $E_t$  bileşenlerine geçmeye gerek kalmamaktadır. Çünkü elektrik alan bileşenleri arayüzeylerden ve sınırdan uzakla kalmaktadır.

$\Gamma$  ile sınırlanan  $\Omega$  süreksiz ortamında 2.1 ve 2.2 denklemlerini çözmek için Galarkin prosedürünü takip ederek, ayrı denklemler sistemi elde edilebilir. Bu 2.1 ve 2.2 denklemlerini ilgili baz fonksiyonları ile çarpıp ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

denklemlerin her iki tarafını  $\Omega$  üzerinden entegre etmekle sağlanır. Genellikle, kapalı  $\Omega$  için  $\Gamma$  sınırı boyunca elektrik alanın teğetsel bileşeninin bilindiği kabul edilir. Böylece,

$$\int_{\Omega} \epsilon \frac{d}{dt} E \cdot \mathbf{j} = \int_{\Omega} \mathbf{v} \times \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} - \int_{\Omega} \mathbf{J} \cdot d\mathbf{l} \quad 2.4.a$$

$$\int_{\Omega} \mu \frac{d}{dt} H \cdot \mathbf{i} = \int_{\Omega} -\mathbf{v} \times \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad 2.4.b$$

denklemleri elde edilir.

Elektrik alan sabit fonksiyonla yaklaşıldığında!! 2.4b denkleminin sağ tarafına Stokes teoremi uygulanarak, denklem

$$\int_{\Omega} \mu \frac{d}{dt} H \cdot \mathbf{i} = \int_{\Omega} -(\mathbf{v} \times \mathbf{E}) \cdot d\mathbf{l} + \int_{\Omega} \mathbf{v} \cdot \nabla \times \mathbf{E} \quad 2.4.c$$

şeklini alır. Burada  $\mathbf{n}$  sınır yüzeyine dik birim vektördür ve sonuçta oluşan yüzel integrali "doğal sınır koşulları" olarak adlandırılır.  $\mathbf{v} \times \mathbf{E}$ 'ye E, karşılık geldiğinden denklemdaki sınır terimi kolayca yerine konabilir. Sınır mükemmel iletken olduğu zaman  $E_t = 0$  olacaktır.

E ve H'nin yaklaşık çözümlerini 2.4.a ve 2.4.c eşitliklerinde yerlerine koyarak, iki boyutlu ayrıştırılmış Maxwell denklemleri, sembolik olarak

$$A_e U = B U + A_m H \quad 2.5$$

şeklinde elde edilir. Burada U vektörü düğümlerdeki  $(E_x, E_y, H_z)$  değerlerini gösterirken U zaman türevini belirtmektedir. J ise  $\mathbf{j} = \mathbf{j}(E_x, E_y, H_z)$  şeklinde ifade edilebilir.

$$A_e = \begin{bmatrix} M_e & 0 & 0 \\ 0 & M_e & 0 \\ 0 & 0 & M_\mu \end{bmatrix} \quad 2.6.a$$

$$A_m = \begin{bmatrix} M_j & 0 & 0 \\ 0 & M_p & 0 \\ 0 & 0 & M_{,,} \end{bmatrix} \quad 2.6.b$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & c_y \\ 0 & 0 & c_x \\ -c_x & c_x & 0 \end{bmatrix} \quad 2.6.c$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F' \end{bmatrix} \quad 2.6.d$$

$$F' = \int_{\Gamma} E_v \nu /$$

şeklinde ve altmatrisler,

$$M_{\epsilon} = \int \epsilon \phi \phi^T \quad 2.7.a$$

$$M_{i_v} = \int_{\Omega} \phi \phi^T \quad 2.7.b$$

$$M_{\mu} = \int_{\Omega} \mu \psi \psi^T \quad 2.7.c$$

$$C_x = \int_{\Omega} \phi \frac{d}{dx} \psi^T \quad 2.7.d$$

$$C_y = \int_{\Omega} \psi \frac{d}{dy} \phi^T \quad 2.7.e$$

formlarında verilirler 112).

2.5 ile verilen denklem sisteminde zaman türevleri yerine ayrık zaman ifadeleri yazılırsa aşağıda verilen eşitlikler elde edilir.

$$E_x^{n+1} = E_x^n + NV^1 (C_y H_z^{n+1} - o M_r \cdot E_x^{n+1}) At \quad 2.8.a$$

$$E_y^{n+1} = E_y^n + M_b^{-1} (-C_x H_z^{n+1} - a M_e E_y^n) At \quad 2.8.b$$

$$H_z^{n+1} = H_z^n + M_{\mu}^{-1} (-C_y^T E_x^{n+1} + C_x^T E_y^{n+1} + F^n) At \quad 2.8.c$$

Bu çalışmada sonlu eleman integralleri, izoparametrik dönüşüm kullanılarak yerel koordinatlara transfer edilmiştir. İzoparametrik eleman kullanımının avantajı, eğrisel yüzeylerin çok daha yaklaşık ve kolay tanımlanabilmesidir. Bilindiği gibi sayısal tekniklerde çözümün yaklaşıklık dalgaboyu başına düşen düğüm sayısına bağlıdır [7]. Özellikle biyolojik yapılarda dalga boyu, yapı parametrelerine çok bağlı olduğundan, bazı bölgelerde daha sık, diğer bölgelerde daha seyrek düğümler kullanılabilir. İzoparametrik elemanlar kullanılarak bu kolayca gerçekleştirilebilmektedir.

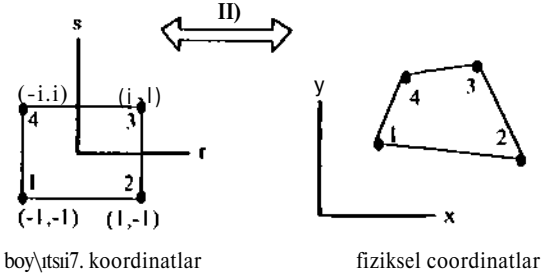
Şekil 2.2'de dört düğümlü bir eleman için izoparametrik dönüşüm gösterilmektedir. Dört düğümlü bu eleman için şekil fonksiyonu

$$H = l/4 |(1-r)(1-s), (1+r)(1-s), (1+r)(1+s), (1-r)(1+s)| \quad 2.9$$

formundadır ve  $H_i = y H_z$  şeklinde verilir. Burada

$$r = \frac{1}{2} (1 + \frac{x}{l}), \quad s = \frac{1}{2} (1 + \frac{y}{h}) \quad 2.10$$

dır.



Şekil 2.2: Dört düğümlü bir eleman için izoparametrik dönüşüm

Bu çalışmada şekil fonksiyonları sadece  $H_z$ 'yi tanımlamak için değil aynı zamanda  $N$  ve  $y$  koordinatlarını tanımlamak için de kullanılmıştır.

Türev içeren  $C_x$  ve  $C_y$  değişim matrislerini elde etmek için zincir kuralından faydalanılmıştır. Böylece  $(r,s)$  ile  $(x,y)$  koordinatları arasındaki geçiş elde edilmiştir. Değişim ve katsayı matrisleri analitik olarak düğüm koordinatlarına bağlı şekilde hesaplanmış ve [1.1] 'de verilmiştir. Yine aynı şekilde yük vektörü  $(F)$  de analitik olarak düğüm koordinatlarına bağlı şekilde hesaplanmış ve [1.1]'de verilmiştir. Her bir eleman için elde edilen değişim ve katsayı matrisleri aşağıda verilen prosedür ile birleştirilerek tüm sistem için genel değişim ve katsayı matrisleri elde edilmiştir.

for(i=1; i<=ncmax\_sayisi; i++)

{  
x=HesaplaM<sub>e</sub>(i)

M<sub>z</sub>-|J=x\*o|i|  
M<sub>e</sub>|i|=x\*e<sub>o</sub>%|i|

for(j=1; j<=4; j++)

{  
C<sub>x</sub>[i][dij]=C<sub>N</sub>[i][dij]+HesaplaC<sub>N</sub>(i,j)  
C<sub>y</sub>[i][dij]=C<sub>y</sub>[i][dij]+HesaplaC<sub>y</sub>(i,j)

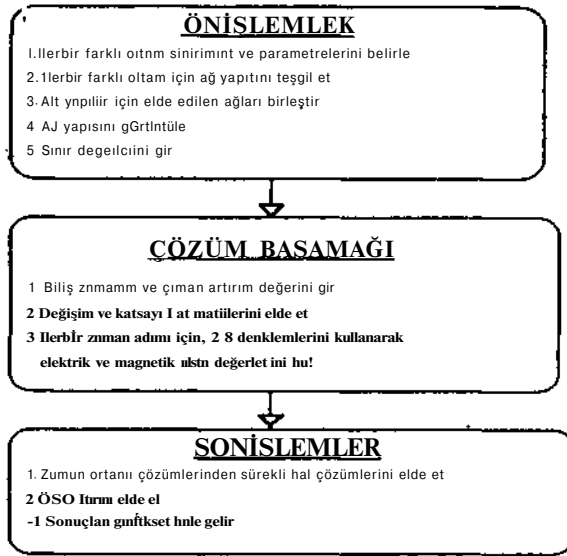
for(k=1; k<=4; k++)

{  
M<sub>M</sub>[dij][dik]=M<sub>e</sub>[dij][dik]+HesaplaM<sub>e</sub>(i,j,k)^t<sub>o</sub>  
}  
}  
}

Burada  $M_E$ ,  $M_E$ ,  $M_G$  katsayı ve  $C_x$ ,  $C_y$  değişim matrisleridir ve [13]'de verilmiştir. Ayrıca dij yerel olarak  $i$ . elemanın  $j$ . düğümü şeklinde tanımlanan global düğüm numarasını göstermektedir.

### 3.PROĞRAM YAPISI

Hazırlanan programın yapısı aşağıdaki gibidir. Burada ağ yapısı, yazılan bir C programıyla otomatik olarak oluşturulmuştur. Ağ yapısının oluşturulması, görüntülenmesi, sınır koşullarının girilmesi gibi ön işlemler; sürekli hal çözümlerinin değerlendirilmesi, özgül soğrulma oranlarının hesaplanması, grafiklerin oluşturulması gibi son işlemler IBM uyumlu kişisel bilgisayarlarda yapılmıştır. Çok zaman ve büyük matrislerle işlemleri gerektiren çözüm aşaması IBM RISC 6000 sisteminde yazılan bir C programıyla gerçekleştirilmiştir. ÖSO hesaplan ve grafikler ise Matlab paket programıyla yapılmıştır.



### 4.SA YISAL SONUÇLAR

Homojen ve seviyelendirilmiş biyolojik iki yapı için SE-ZO yöntemi kullanarak çözümler yapılmıştır. Herbir hücre için ÖSO dağılımları

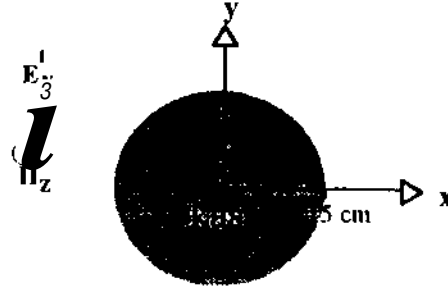
$$\text{ÖSO}_i = (1/2\rho)\sigma_i [E_{y\max}(i)^2 + E_{x\max}(i)^2] \quad 2.11$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Burada  $\rho$   $10^3 \text{ kg/m}^3$  olarak kabul edilmiştir [6]. Daha sonra aynı yolla sayısal değerler için hesaplama yapılmış ve karşılaştırmak amacıyla aynı grafiklerde verilmiştir. Sayısal sonuçlar [14]'dan alınmıştır.

#### 4.1.Homojen Silindirik Kas Yapısı

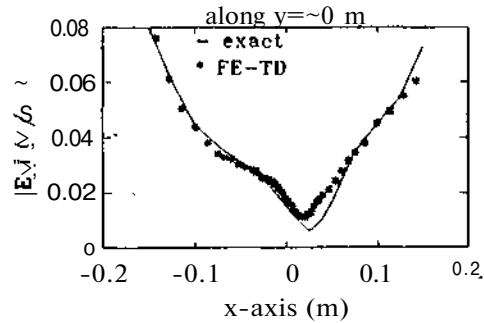
Homojen silindirik bir kas yapısı 100 MHz için modellenmiştir. Şekil 4.1. bu yapı için kullanılan modeli göstermektedir. Şimetriklikten dolayı yapının sadece yarısı modellenmiştir. Silindirik yapı ve çevresi ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

toplam 528 hücre ile modellenmiş, bunun 264 tanesi kas yapısını modellemek için kullanılmıştır. Silindir dışında daha büyük, silindir içinde daha küçük btteler kullanılmıştır; çünkü, bu frekansta hava için hücre boyutu nuksimm 0.3 m ile sınırlyken bu sınır kas için 0.035 m olmaktadır.

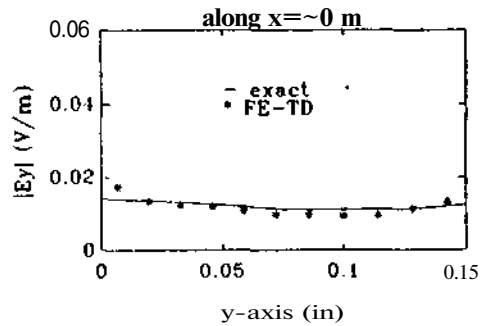


Şekil 4.1: Homojen silindirik kas yapısı için model  
 $\epsilon_r=72$ ,  $\sigma = 0.9 \text{ S/m}$

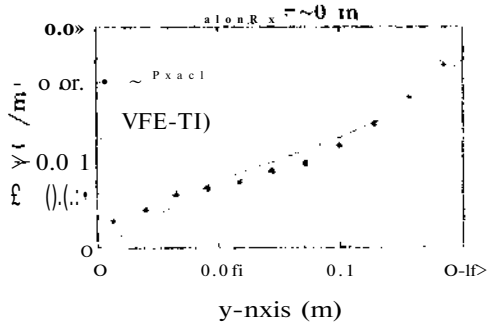
Burada 1 V/m'lik y yönünde yönlendirilmiş sinüsoid.-l dış elektrik alan uygulanmıştır. Grafiklerde SE-ZO yöntemiyle x ve y eksenine yakınları için elde edilen sonuçlar \* ile gösterilmiş [14]'dan alınan sonuçlar sürekli eğrilerle ifade edilmiştir.



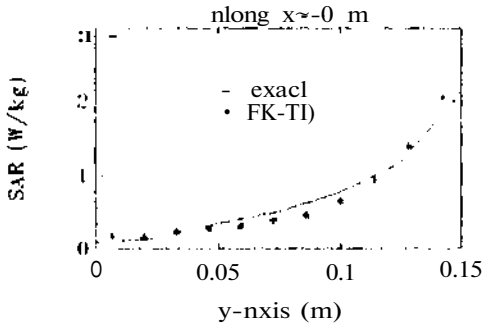
Şekil 4.2: x eksenine yakınlarda elektrik alan (y-bileşeni) dağılımı



Şekil 4.3: y eksenine yakınlarda elektrik alan (y-bileşeni) dağılımı



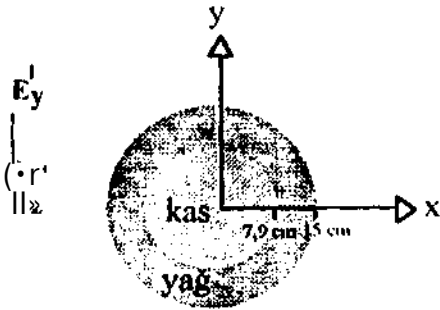
Şekil 4.4: y ekseninde yakınlarında elektrik alan (y-bileşeni) dağılımı



Şekil 4.5: y ekseninde yakınlarında ÖSO dağılımı

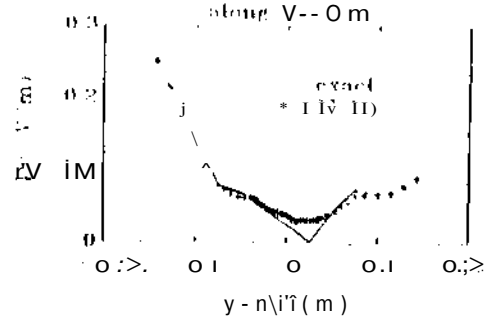
#### 4.2. Homojen Olmayan Seviyelendirilmiş Silindirik Kas Yapısı

Homojen olmayan seviyelendirilmiş kas-yağ silindirik yapısı 100 MM/ için modellenmiştir. Şekil 4.6. bu yapı için kullanılan modeli göstermektedir. Bir önceki modelde olduğu gibi, simetriklikten dolayı yapının sadece yarısı modellenmiştir. Silindirik yapı ve çevresi toplam 528 hücre ile modellenmiş, bunun 144 tanesi kas yapısını, 120 tanesi yağ yapısını modellemek için kullanılmıştır. Bu frekansla yağ için maksimum hücre boyutu 0.109 m ile sınırlıdır. Kas-yağ arayışında elektrik alanın y bileşenindeki süreksizliği daha iyi görebilmek için daha küçük boyutlu hücreler kullanılmıştır.

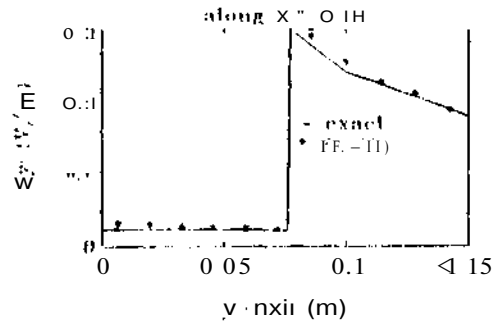


Şekil 4.6: Homojen silindirik kas yapısı için model  $\epsilon_{r1}=72$ ,  $\epsilon_{r2}=7.5$ ,  $\sigma_1 = 0.9$  S/m,  $\sigma_2 = 0.048$  S/m

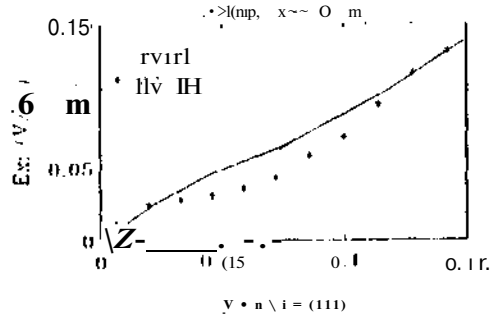
Homojen olmayan seviyelendirilmiş sinüsoidal elektrik alan uygulanmıştır. Çalışmada SFİ-ZO yapıları ve y ekseninde yakınlarında için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, çalışmada kullanılan modelin doğruluğunu göstermektedir.



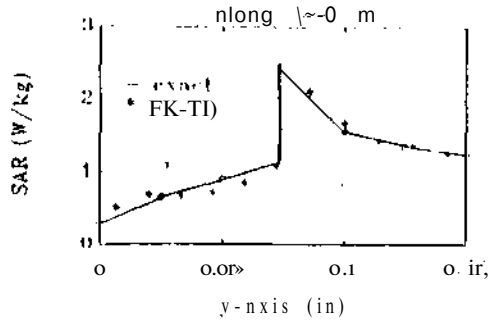
Şekil 4.7: x ekseninde yakınlarında elektrik alan (x-bileşeni) dağılımı



Şekil 4.8: y ekseninde yakınlarında elektrik alan (z-bileşeni) dağılımı



Şekil 4.9: y ekseninde yakınlarında elektrik alan (y-bileşeni) dağılımı



Şekil 4.10:y eksenini yakınlarında ÖSO dağılımı

## 5. SONUÇ

4. Bölüm'de tanımlanan her iki durum için de sayasal değerlerde uyumluluk gözlemlendi. Özellikle allamaların olduğu süreksizlik bölgelerinde sayasal değerlerle çok iyi bir uyumluluk gözlemlendi.

Sayısal çözümlerin lanı çözümlerinde daha fazla yaklaşması için dalağa boyu başına düşen düğüm sayısını artırmak gerekmektedir. Düğüm sayısının artırmanın gerekli hafıza boyutunu ve işlem zamanının artıracağı açıktır. Düğüm sayısını artırmak aynı zaman zaman aralığını küçültmeyi de gerektirir. Zaman aralığının  $\Delta t_n/2c$ 'in üstünde kalması durumunda kararsız çözüme gidildiği gözlemlenmiştir.

Daha esnek ağ teşkil programları geliştirilerek ve süperbilgisayarlar kullanılarak çok karmaşık biyolojik yapılar modellenilebilir ve çözümlenebilir.

SE-ZO yöntemi kullanılarak biyolojik yapılar içerisinde sinusoidal olmayan dalgaların dağılımının incelenmesi de mümkündür. Burada geliştirilen program sadece biyolojik yapıları değil diğer elektromagnetik problemleri de analiz etmede kullanılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Ronald Pething. Modern Bioclectricity. Marcel Dekker Inc., New York, 1988.
- [2] Ronald J. Spiegel. "A Review of Numerical Models for Predicting the Energy Deposition and Resultant Thermal Response of Humans Exposed to Electromagnetic Fields," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol:MTT-32, No:8, pp. 730-745, August 1984.
- [3] C. H. Durrty. "Electromagnetic Dosimetry for Models of Humans and Animals: A Review of Theoretical and Numerical Techniques." Proc. IEEE, pp. 33-40.68.1980.
- [4] R. J. Spiegel, "A Review of Numerical Models for Predicting the Energy Deposition and Resultant Thermal Response of Humans Exposed to Electromagnetic Fields." IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol:MTT-31, pp. 730-746. 1984.

[5] Electromagnetic Power Research Institute. E\item\ Lou\rrc(hnuL-> ILlccttic and Magnetic Fields and L'ancr: A Lilenilme- Review. December 1989.

[6] Dennis M. Sullivan. David T. Borup. Om P' üandhi. "Use of The Finite Difference Time Domain Method in Calculating EM Absorption in Human Tissues." IEE Trans. Biomed. Eng., vol:UMI>34 No:2, pp. 148-157. February 1987.

[7] Robert L. Lee. Andras C. Cangellaris. "A Study of Discretization Error in the Finite Element Approximation of Wave Solutions," IEEE Trans. Antennas and Propagation. \ol:4(>, No:5, pp. 542-549. May 1992.

[8] Ronald Pething. "Physical Properties of Biological Tissue." Modern Bioclectricity. Marcel Dekker Inc. New York. pp. 125-179. 1988.

[9] Andreas C. Cangellaris. Chung-Chi Lin. Kenichi K. Mai. "Point-Matched Time Domain Finite Element Methods for Electromagnetic Radiation and Scattering." IKER Trans. Antennas Propagat.. vol:AP-35, No: K1, pp. 1160-1171, (Jetoná 1987.

[10] D. R. Lynch. K. D. Paulsen, and J. W. Stralibchn. "Finite Element Solution of Maxwell's Equations for Hypertemia Treatment Planning." J. Comp. Elec. 58. pp. 20-25. 1985.

[11] Neil K. Madsen, Richard W. /iolko\iski. "Numerical Solution of Maxwell's Equations in the Time Domain Using Irregular Nonorthogonal Grids." Wave Motion. No: 10, pp 583-596. 1988.

[12] Robert L. Lee. Neil K. Madsen. "A Mixed Finite Element Formulation for Maxwell's Equations in Time Domain." Journal of Computational Physics. \ol:88. No:2, pp. 284-304. June 1990.

[13] Tamer COŞKUN. "Numerical Evaluation of Electromagnetic Fields in Human Body." A Thesis Presented to the Graduate School of Natural and Applied Sciences. Dokü /I v\ I il I Üniversitesi. İzmir. . 90 s. 1993

[14] D. T. Borup. D. M. Sullivan, and Om. P. Gandhi, "Comparison of the FFT Conjugate Gradient Method and the Finite Difference Time Domain Method for the 2-D Absorption Problem," IEEE Trans. Microwave Theory Tech.. vol:MTT-35, No:4, pp. 383-395.1987.

Tamer COŞKUN



27.10.1967 Beyşelii doğumlu olan Tamer COŞKUN, lisans eğilimini DHO Milli. Eğitim Bakanlığı ile elektronik bölümlerinde Inmıllı. AŞJİ üniversitesinden "Numerical Evaluation of Electromagnetic Fields in Human Body" isimli İc. v;alışmasını

Uzüm. olarak, elektronik yüksek mühendisi olarak mezun oldu. Çalışmalarını elektroniklik alanları, biyoelektronik ve bilgisayarla elektroniklik alanları için çalışmaları (COŞKUN İLAL-ın İmmıkkalo I Jıvıvıv silosı'ımlc atışılması görevlisi olarak çalışmaktadır

Kemal Ö./MKİİMKT için diğer İcblğlele bakınız

0-100 GHz FREKANS ARALIĞINDA IŞIMA YAPAN YAPAY VE DOĞAL  
ELEKTROMAGNETİK ALAN KAYNAKLARININ ÇEVRE, İNSAN SAĞLIĞI  
AÇISINDAN ANALİZİ

Cahit CANBAY \*  
S.Utku AY \*\*

N.özlem UNVERDİ \*  
Vural BAYRAK \*\*\*

- YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ  
ELEKTRONİK VE HAB.MÜH.BÖLÜMÜ 80626 MASLAK-1STANBUL
- \*\* YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
80750 YILDIZ-İSTANBUL
- \*\*\* YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ KİMYA-METALURJİ FAKÜLTESİ  
MATEMATİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ 80750 YILDIZ-İSTANBUL

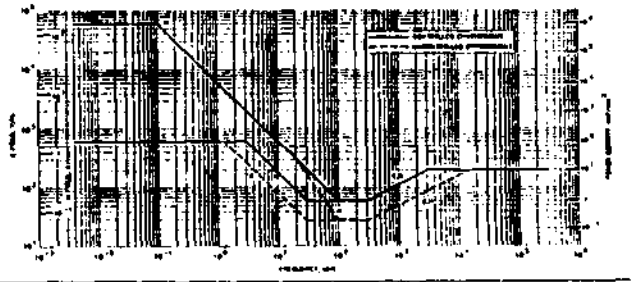
### ÖZET

0-100 GHz frekans aralığında iletişim, endüstride, eğitimde ve diğer sektörlerde kullanılan elektromagnetik kaynaklar ve kaynak olarak kullanılmadığı halde çevreye ışımaya yapan elektriksel sistemlerin günümüzde yoğun olarak kullanılması, çevre ve insan sağlığı açısından değerlendirmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada, 0-100 GHz arasında göze çarpan yüksek gerilim hattı, FM ve TV vericilerinin biyolojik dokularla, olan elektromagnetik etkileşim mekanizmaları hem analitik, hem de istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir.

### I. GİRİŞ

Modern insanın yaşam standardı, onun kullandığı RF ve mikrodalga kaynaklarından yararlandığı oranla belirlenmektedir; bu da, teknolojinin çağda damgasını vurmasının kaçınılmaz bir sonucudur. Radyo, TV, telefon, telefax, kablolu iletişim vb. EM kaynaklar, kişisel ve ticari sivil kanallarda, hava limanlarında, evlerde, işyerlerinde ve tıpta, kısaca yaşamın kaçınılmaz unsurları olmakla birlikte, getirdikleri sorunların daha iyi anlaşılması ve çözülmesi gerekmektedir. Bu amaçla son yıllarda bilim çevreleri, konu ile ilgili çalışmalarını hızla sür-

dülmekte ve eşik düzeylerinin belirlenmesi üzerine ulusal ve uluslararası kuruluşlar ile işbirliği yapmaktadır. ANSI (American National Standards Institute Committee), COMAR (IEEE Committee on Man and Radiation), NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements), WHO (World Health Organization) gibi kuruluşların başında gelmektedir. Ancak oluşturulan eşik standartları sorunların daha ayrıntılı çözülmesi sonucunda değiştirilmekte ve yeni standartlar belirlenmektedir; ve zararlı etkiler ortaya çıkarıldıkça bu işlem devam edecektir. Standartların belirlenmesi konusunda batı ve doğu arasında büyük farklar vardır. Örneğin RF için, ANSI eşik düzeyini  $1 \text{ mW/cm}^2$  olarak kabul etmiştir. 1991'de ANSI tarafından önerilen eşik düzeyleri Şekil-1'de verilmiştir. Aslında bu

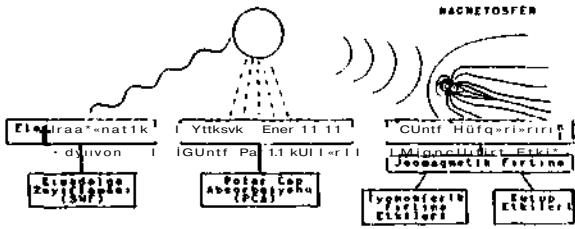


Şekil-1-1 1991 ANSI eşik düzeyleri, //!.

standartların belirlenmesi oldukça karışıktır ve tek bir parametreye bağ il olmamakla birlikte, genelde biyolojik dokuların elektriksel parametreleri ile ilişkilidir.

Elektromagnetik dalgalar sadece yapay kaynaklardan oluşmazlar; evrenin var olduğu zamandan beri mevcuttur, doğal olarak biyolojik dokulara etkileri biyolojik oluşumdan beri sllmektedir. Ancak etkilerinin incelenmesi 20. yUzyılın başından itibaren devam etmektedir. Seki 1-2 ' de görÜldllğÜ gibi doğal kökenli elektromagnetik alanlar magnetosferin gllneş rllzgarlarıyla etkileşmesi ve atmosferik olaylar sonucunda oluşurlar ve biyolojik dokuların evriminde önemli yerleri vardır.

0-100 GHz frekans bandı, birçok araştırmacı tarafından ,iyonize olmayan elektromagnetik alanların biyolojik dokulardaki termal olan veya olmayan etkileri makroskobik ve mikroskobik (DNA, biyolojik hllcre) boyutlar-



Şekil-2

da doğrudan ölçme ve istatistiksel çalışmalar yapılarak incelenmektedir, /2/, /3/, /4/, /5/, /6/. Bu çalışmaların ortak amaçları kısaca şöyle ifade edilebilir:

- 1- Biyolojik sistemlerle elektromagnetik alanların etkileşme mekanizmalarının anlaşılması.
- 2- Eşdeğer gllç yoğunluğu ve etki süresinde modtllle edilmiş slirekli dalgalar ile puls şeklindeki EM alanların biyolojik sistemler üzerine etkisinin karşılaştırmalı analizi.
- 3- Sürekli ve kesikli zayıf EM alanların ( <1mW/cm<sup>2</sup>) uzun sllre ( aylar, yıllar) uygulanmasının biyolojik yapılara etkisi.

4- Özellikle memeliler olmak üzere biyolojik yapıların EM alanların ne kadarını absorblandığının ölçmeleile belirlenmesi.

5- Absorblanan EM enerjinin biyolojik dokularda zararlı etkilerinin saptanması, gllvenlik düzeylerinin belirlenmesi.

6- Absorblanan EM enerjinin memeliler üzerine etkisinin araştırılması.

7- Yüksek EM alanların ( >100mW/cm<sup>2</sup>) biyolojik dokularla etkileşmesinin araştırılması.

8- Biyolojik yapıların fonksiyonlarının araştırılmasında EM prensipleriyle çalışan araçların, amplifikatörlerin tıpta teşhis ve tedavi amacıyla uygulanması.

TUm bu amaçlara yönelik çalışmalar TEORİK yöntemler, DENEYSEL yöntemler, İSTATİSTİKSEL yöntemler ve bunların alt teknik yöntemleri kapsamında incelenir. Doğal olarak, frekans aralığı, ölçülebilirlik, uygulanabilirlik ve koşullar hangi tekniğin uygulanabileceği konusunda fikir verir.

## II. BİYOLOJİK DOKULARIN EM ALANLARLA ETKİLEŞMESİ

Genelde, ortamların EM alanlar karşısındaki davranışı, biyolojik dokuların davranışından farksızdır. Ancak, biyolojik dokuların kimyasal yapılarındaki, hllcre ve gen yapılarındaki karmaşıklık, rölaksasyon sürelerinin bulunmasında zorluk oluşturmaktadır. EM alanların biyolojik dokular üzerindeki etkisinin incelenmesi yeni değildir, 20. yllzyı 1 in başlarına kadar uzanır, ///. Biyolojik ortamlar için magnetik geçirgenlik  $\epsilon$  alınırsa, dokunun elektriksel alan karşısındaki davranışı, reel kısmı dielektrik sabiti, sanal kısmı ise kayıp faktörü olarak,

$$e = c' - J. e'' \quad (1)$$

bağıntısı ile gösterilebilir.  $e'$  dokunun depo edeceği elektrik enerjisi ile ilgili olmasına karşın,  $e''$  dokuda içinde elektrik alan enerjisindeki kayıp ile ilgilidir. Elektriksel geçir-



geniik,boşluğunkine göre normalize edlirse,

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon'}{\epsilon_0} - j \frac{\epsilon''}{\epsilon_0} \quad (2)$$

ve Maxwell Denklemlerinden dokunun iletkenliği (S/m),

$$\sigma = \sigma' - j \sigma'' \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Biyolojik dokuların ortam parametreleri , frekansa, sıcaklığa,içerdikleri H<sub>2</sub>O oranına, içerdikleri tuz oranına ve poroziteye bağlı olarak değişir, /8A Literatürde biyolojik dokuların dispersiv özelliği, Debye yaklaşımı // ve atomik boyuttaki elektriksel titreşimlerinin mekanik eşdeğeri modeliyle incelenmiştir /9/. Biyolojik dokunun elektriksel geçirgenliğinin sadece frekansa bağlı olduğu varsayılırsa,

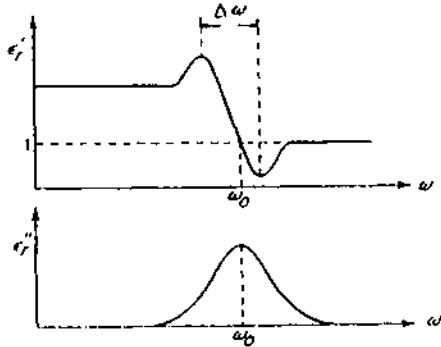
$$\epsilon(\omega) = \epsilon'(\omega) - j G''(\omega) \quad (4)$$

alıp , elektriksel geçirgenliğin çok ylıksek frekanslardaki değeri c(∞), alçak frekanslardaki değerini e(0) ile gösterilirse,

$$\epsilon'(\omega) = c(\infty) + \frac{e(0) - e(\infty)}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (5)$$

$$\epsilon''(\omega) = \frac{\omega \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} (c_0 - c_\infty) \quad (6)$$

olur.e'(f) ve e''(f) grafikleri karşılaştırılırsa E' 'nin eğiminin maksimum olduğu frekansta c'' maximum olur. (Şekil-3).



Şekil- 3 e'(f) ve e''(f) in değişimi

Eşik düzeylerinin frekansla değişimi Şekil-1 ve Şekil-3 'de görüldüğü gibi,oldukça benzerlikler göstermektedir ve frekans, X-ışınlar\*ı frekanslarına doğru kaydıkça ,bu etkileşme basamakları , kabadan inceye doğru uzaysal ylık,moleküller, iyonik .elektron etkileşmesi sonucunda eşik düzeyleri de azalacaktır. (Seki1-4).

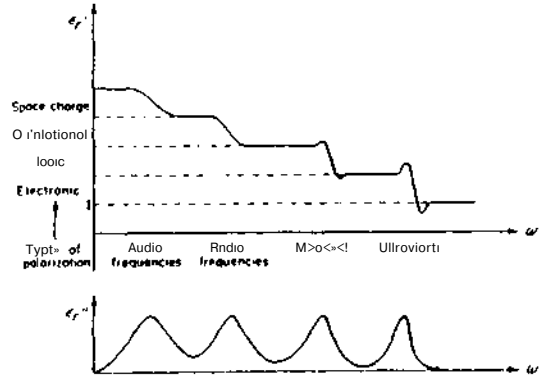
(4) bağıntısı,

$$\vec{H} = (j\omega G + \sigma) \vec{E} \quad (7)$$

de yerine konulursa,

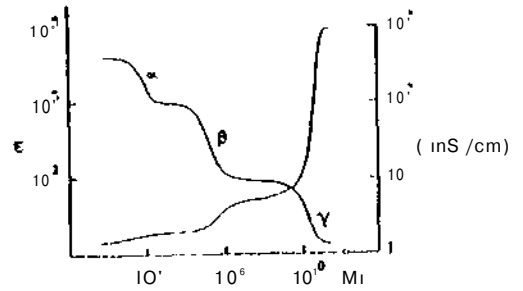
$$\epsilon' = \epsilon_0 + \frac{W T}{1 + \omega^2 \tau^2} (\epsilon_0 - c_\infty) \quad (8)$$

bulunur.



Şekil-4

Seki1-5' te <r(f) çok su içeren bir kas dokusu için e(f) ile birlikte verilmiştir, /10/.



Şekil- 5 Kas için e(r),cr(r)

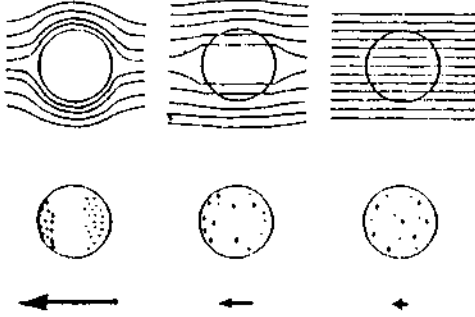
BUTUn bunların ötesinde biyolojik dokuların absorbladığı enerjinin miktarı .alanın polarizasyonu ile de değişmektedir. Özellikle normal dokulardan daha fazla Na ve H2O içeren kanseri dokuların, doğal olarak, iletkenlik bakımından normal dokulara göre bilyük değerlere sahip olması bu dokulara EM açıdan ayrı bir özellik vermektedir, /11 /.

Alçak frekanslarda, biyolojik hlicre zarı, yliklenen alanın hlicre içine nüfuzu önler ve bu durumda yllksek miktarda dipol moment oluşur. YÜksek frekanslarda ise, hllcrenin iç kısmı da iletkenlik olayına katılır ve hlicrenin dipol momentini çok dlişlk değer alır. Seki 1-6'da görÜlen (i dispersiyonu, dipol momentinin çok yllksek ve çok alçak olduğu bölgeyi temsil eder, /10 /.

EM alanların termal olmayan etkileri ağırlıklı olarak masaUstll ışımaya yapan elektronik aygıtlarla ilgili makalede incelenmiştir, /12/ Bu çalış-

ALÇAK FR.

YÜKSEK FR.



Seki 1-6 Farklı frekanslarda endÜklenen dipol momentlerin bilyllk 1 Üğll.

mada, 0-100 GHz arasında ilgi odağı olan bir kaç problem göz önüne alınmıştır.

#### A. YÜksek Gerilim Hatlarının (YGH) İnsan Üzerine Etkisi:

Bu konu ,çok fazla araştırılan konulardan birisi olmuştur. Çoğu deneysel çalışmalar sıçanlar, tavşanlar Üzerinde yapılmış , kobaylarda davranış bozuklukları , Üreme sisteminde tahribat, sakat doğumlar, 200 nT Üzerindeki magnetik alanların olduğu yerlerde çocuk kanserlerinin arttığı gözlenmiştir, /4/. YÜksek gerilim hat-

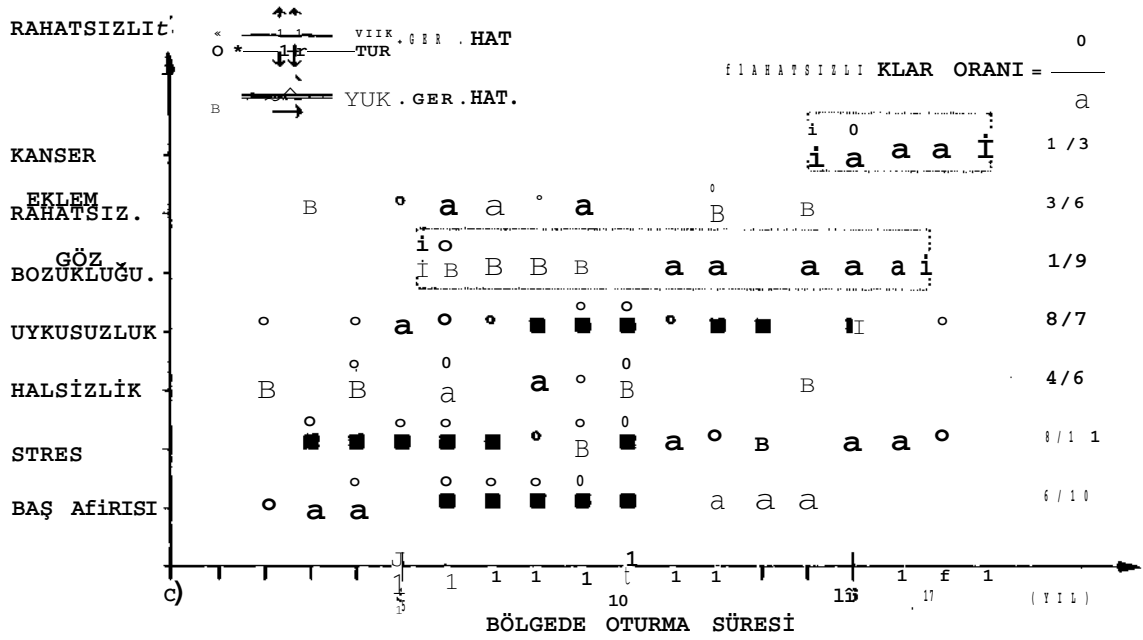
larına en yakın yerleşim uzaklığının 150 m olması kabul edilmiş, 345 kV'luk gerilim hattını bir özel okuldan 90m, bir orta okuldan 40m ,bir liseden 75m yakından geçiren Houston şirketi 25 Milyon Dolar cezaya çarptırılmış ve hata dÜzelttirilmiştir. YGII nin biyolojik dokularla etkileşmesi ve uzun sürede ortaya çıkacak etkileri epidemolojik çalışmalar sonucunda bulunabilir .Bu amaçla Ümraniye içinden geçen 380 kV luk YGII boyunca , hemen hat altında ve yakınında hem ölçme, hem de 103 denek Üzerinde anket yapıldı, ayrıca hatlara dik doğrultu boyunca 103 denek Üzerinde bu işlemler tekrarlandı. Sonuçlar yorumsuz olarak Tablo 3'de verilmiştir.

Ayrıca 60 Hz ve 1 V/m alan şiddetinin insan gözünde elektrophosphenes yani göze baskı yapıldığında algılanan beyaz görÜntüye neden olduğu rapor edilmiştir, /13/.

#### B. Alçak Frekanslarda EM Alanların İnsan Üzerine Etkisi:

İnsanın maksimum boyutlarına göre dalgaboyunun çok bÜyük olduğu frekanslarda, uygulanan alan şiddetinin, insan Üzerinde endÜklediği akım .yÜzeyysel yÜk integral denkleminin Moment Metodu (The Method of Moments. MOM) yöntemiyle çözülmesi ile bulunmuştur.

Yer ile arasında belirli bir empedans olan insan vÜcudu Üzerinde endÜklenen yÜzeyysel yÜk yoğunluğu hesaplanırken bazı yaklaşımlar yapılmıştır. Bunlar; dalga boyunun insan boyutlarına göre çok bÜyük olduğu varsayılarak quasi-statik yaklaşımın yapılması, vli-cut yllzeyinde # gibi bilinmeyen bir eş potansiyelin var olduğunun varsayılması, yerin iletkenliğinin göz önüne alınarak görÜntü katkısının da hesaplara katılması, vÜcut içerisinde endÜklenen yÜk miktarının , yÜzeydeki yanında çok kÜçük olduğunun varsayılması ve (cr/ue) » 1 olduğunun kabulüdür. Quasi-statik yaklaşım altında, e , elektriksel geçirgenlik, <, iletkenlik olmak üzere iki ortam arayüzeyinde endÜklenen yÜzeyysel yÜk yoğunluğu sınır koşullarından ,



TABLO-1 YGH Ümraniye soaıçları.

$$\eta = \epsilon_2 \left[ \frac{\sigma_1}{\sigma_2} - \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \right] \rightarrow \rightarrow (n \cdot E) \quad (9)$$

$$\vec{E}_0 = E_0 e^{j\omega t} \vec{a}_z \quad (12)$$

şeklinde bulunur.

Vücut yüzeyi Üzerindeki  $\phi$  eşpotansiyeli,  $TJ(\vec{r})$  yüzey yüklerinden kaynaklanan  $\phi_s(\vec{r})$  potansiyeli ve elektrik alandan kaynaklanan  $\langle p(\vec{r}) \rangle$  potansiyelin toplamı olarak ifade edilir:

$$\phi_s(\vec{r}) + \langle p(\vec{r}) \rangle = 0 \quad (10)$$

Quasi-statik yaklaşımı altında yerin etkisi de göz Online alınarak,  $s$ , gerçek vllcut yüzeyi ve  $s_1$  görün tU yüzeyi olmak üzere,  $\langle f \rangle(\vec{r})$ ,

$$\phi_s(\vec{r}) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \int_S \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} ds' + \int_{s_1} \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} ds' \right] \quad (11)$$

olarak yazılır. Burada  $\vec{r}$  vllcut yüzeyindeki alan noktasını,  $\vec{r}'$  ise kaynak noktasını ifade eder. Gelen alan,

alınırsa,  $\vec{r} = -E_0 z$  olur. Bu durum

da, (10) ifadesi,

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{s+s_1} \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} ds' + \langle p(\vec{r}) \rangle = 0 \quad (13)$$

olur. Bu ifadede iki bilinmeyen olması nedeniyle  $\langle T(\vec{r}) \rangle$  ve  $\langle f \rangle$  çözüme

gidebilmek için,

$$\int_b^b \sum_{k=1}^k \frac{1}{z_k} \int_s \rho(\vec{r}') ds' \quad (14)$$

bağıntısından da yararlanılır. (13) ifadesine MOM metodu uygulanması sırasında seçilen açılım fonksiyonu  $f_n$  ve ağırlık (test) fonksiyonu  $w_n$ ,

$$f_n = \begin{cases} 1 & \text{As}_n \text{ üzerinde} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (15a)$$

$$w_m = S(x-x_m)S(y-y_m) \quad (15b)$$

olarak seçilmiştir. Bu koşullar altında moment yöntemi uygulanırsa,

$$\frac{y^k}{4\pi\epsilon} \int \frac{\eta \wedge ds'}{r_{ij}^3} + \frac{S \eta \wedge d\eta'}{r_{ij}^3} \quad (16)$$

olur. Buradaki,  $TJ_n$ , n'inci alt  $As_n$  bölgesindeki yüzeyel yük yoğunluğu,  $As_n$  ve  $r_{ij}$  ise görüntüye ilişkin yüzey ve kaynak koordinatlarıdır. ise yansıma katsayısıdır. Bu durumda (16) ifadesi matris formunda (14) ek denklemini de kullanılarak,

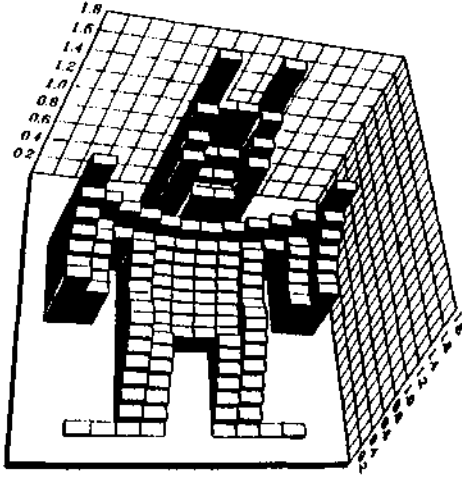
$$M_{mn} = \begin{cases} \frac{2a}{ne} \left( \frac{1}{|r_m - r_n|} + \frac{\mathcal{R}}{|r_m - r_n|} \right) & m \neq n \\ 0.8814 & m = n \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \dots & M_{1n} & -1 \\ M_{21} & M_{22} & \dots & M_{2n} & -1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ M_{n1} & M_{n2} & \dots & M_{nn} & -1 \\ As_1 & As_2 & \dots & As_n & \frac{I}{w} \sum \frac{1}{z_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \vdots \\ \eta_n \\ \phi_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{01} \\ \phi_{02} \\ \vdots \\ \phi_b \\ 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

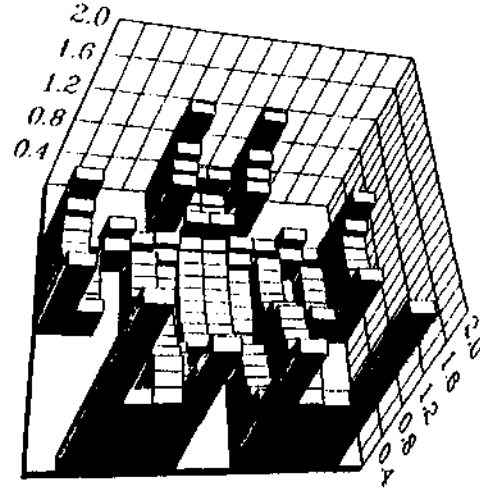
olarak yazılır.

Problemin çözüm aşamasında üç farklı durum söz konusu olabilir:

- 1). Vücudun yer ile kısa devre olması durumu, ( $Z=0$ ). Bu durumda  $\phi=0$  olacaktır. Bu durumda  $\phi=0$  olacağı için sadece  $M_n$  matrisinin çözülmesi gerekmektedir.
- 2). Vücudun yerden tamamen izole edilmesi durumu, ( $Z_i = m$ ).
- 3). Yer ile insan arasında bir empedansın olması durumu, ( $Z_i$  sonlu).



Şekil-7(a)  $Z_{L1}=0$  Durumda  $TJ_i$  değerleri.



Şekil-7(b)  $Z_{L1} \neq 0$  Durumda  $TJ_i$  değerleri.

$e_1=60$ ,  $tr=1$ ,  $\epsilon=5$ ,  $a=10$ ,  $E_0=10KV/m$ ,  $f=60$  Hz olarak alınmış olup tüm değerler  $10^{-6}$  ile normalize edilmiştir.

### C. Yüksek Frekanslar

Biyolojik dokuların yüksek frekanslı EM alanlarla etkileşmesi literatürde çok fazla incelenen konulardan biridir. Bu etkiler hücreler, kromozomlar, genetik, büyüme ve gelişme, sinir sistemi, dolaşım sistemi, bağışıklık sistemi, kan yapısı, görme ve işitme sistemi açısından geniş olarak incelenmiştir, [22]. Bulgulardan geniş yer tutması nedeniyle bahsetmiyoruz. SAR açısından değerlendirme yapmak i-

çin FM 'de insan vlicüdu biyonik anten gibi modellendi , FM verici antenleri dolayında ve özellikle yansıtıcı pasif yapılar önlnde, yakınında İnsanın rezonansta çalışan anten gibi maksimum soğurma ile karşı karşıya kaldığı görüldü.EM alan- biyolojik yapı ilişkisini alçak frekanslarda hesaplamıştık .Yüksek frekanslarda, (13) başıntısında T]'yi MOM ile çözdllğUmUz gibi,

$\vec{E}_1(\vec{r})$  biyolojik doku Üzerine gelen alan ,  $x(\vec{r})$  eşdeğer iletkenlik,  $\vec{G}$

Dyadic Green Fonksiyonu,PV (Principal Value) integral denkleminde tekillikğin dışlandığını göstermek üzere biyolojik doku içindeki elektrik alan ,  $\vec{E}_1(\vec{r})$ ,

$$\left[ 1 + \frac{t(\vec{r})}{3j\omega\epsilon_0} \right] \vec{E}(\vec{r}) - PV \int_V \vec{T}(\vec{r}') \vec{I}(\vec{r}') \vec{G}(\vec{r}, \vec{r}') d\vec{r}' = \vec{E}_1(\vec{r}) \quad (19)$$

integral denkleminin MOM ile çözümlenir, /23/.

#### SONUÇ

Elektromagnetik alanlarla biyolojik dokuların alçak frekanslarda quasi-statik yaklaşımı ile bulunan sonuçlara göre,  $Z_L = \infty$  olması koşulunda insan vlicüdu Üzerindeki elektrik alan dağılımı ( $E=T/e_0$ ) ayak ve baş kesiminde maksimum gövde kesiminde daha küçük değerler aldığı görülmüştür. Endüklenen akım dağılımı buradan bulunabilir.  $Z_L = 0$  koşulunda ise, elektrik alanın baş ve boyun bölgesinde yoğunlaştığı görülmüştür.YGH dolayında literatürde göz bozukluklarına yol açabileceği şeklinde bulgular yer almaktadır.Yaptığımız ölçme ve anket sonuçları da bunu doğrulamaktadır. Yüksek frekanslardaki ölçmelerimizi yapmaya başladığımız günlerdeki iletişim ortamındaki kararsızlıklar (FM Radyo, TV) nedeniyle değerlendirilmeye alınmamıştır.

#### TEŞEKKÜR

Anket ve ölçme çalışmalarında yardımcı olan son sınıf öğrencilerinden,

Haluk Şahin, Kerime GUI, Emin Özdemir, Mehmet Yazıcı , Özlem Kırmızıay ve Serdar Özcan'a teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

- /1/. "Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields ( 300 kHz to 100 GHz),"ANSI C95.1-1991.
- /2/. "Biological Effects and Exposure Criteria for Radiofrequency Electromagnetic Fields"NCRP Report No 86.
- /3/. D.C.Chang , P.Q.Gao , B.L.Maxwell "High Efficiency Gene Transfection by Electroporation Using a RF Electric Field", Biochimica et Biophysica Acta,1992,pp.153-160.
- /4/. R.Adey, "POWER POLITICS : Playing with Children's Life", Electronics World+Wireless World, April 1992, pp.277-281.
- /5/. R.Coghill "The Biophysical Evidence", Electronics World + Wireless World, February 1990, pp.112-118.
- /6/. A.Philips " Killing Fields ,The Politic", Electronics World+Wireless World, Feb. 1990, pp.120-124.
- H/. P. Debye, Polar Molecules. NY Chemical Catalog, 1929.
- /8/. M.A.Stuchly, S. S. Stuchly, "Industrial, Scientific .Medical and Domestic Applications of Microwaves", IEEE Proc. V. 130, 1983, pp.467-503.
- /9/. J.A.Stratton, " Electromagnetic Theory", McCraw Hill, 1941, 321-325.
- /10/. H.P.Schwan, " Analysis of Dielectric Data: Experience with Biological Materials ", IEEE Trans.on Electrical Insulation , V.EI-20 No.6, 1985, pp.913-921.
- /11/. W.T.Joins, " Frequency-Dependent Absorption of Electromagnetic Energy in Biological Tissue ", IEEE Trans. on Biomed.Engineer. V.BME-31, No. 1, 1984, pp. 17-20.
- /12/. N.Ö.Unverdi, C. Canbay, S. U. Ay, " Mobil ve Masaüstü Elektronik Araçların Biyolojik Dokulara Etkisi" Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, 13-18 Eylül 1993, KTU, Trabzon (Baskıdadır).
- /13/. E.L.Carstensen Et al, "Sensitivity of Human Eye to Power Frequency Electric Fields ", IEEE Trans.Bio-

- med.Eng.V. BME-32 No.8,1985
- /14/.R.F.Harrington,Field Computation by Moment Methods. MacMillan,New York,1968.
- /15/.R.Gabler,"Electrical Interactions in Moleculer Biophysics ", 1978 Academic Press.
- /16/.M.E.Oconnor," Mammalian Teratogenesis and RF Fields ", Proc. IEEE V.68,No.1,1980,pp.57-59.
- /17/.R.A.Tell, E.D.Mandiply," Population Exposure to VLF and UHF Broadcasting Radiation in the United States," Proc.IEEE ,V.68, No. 1, 1980,pp.6-12.
- /18/. K.H.Mild," Occupational Exposure to RF Electromagnetic Fields " Proc.IEEE V.68,No.1,1980,pp.12-17
- /19/.R.C.Peterson , " Electromagnetic Radiation from Selected Telecommunications Systems ",Proc.IEEE , V.68, No.1,1980,pp.21-24.
- /20/.S. F.Cleary,"Microwave Cataractogenesis ", Proc.IEEE, V.68,No.1 , 1980,pp.49-55.
- /21/.S.M.Michelson," Microwave Biological Effects ",Proc.IEEE , V.68, No.1,1980,pp.40-49.
- /22/.K.Chen,H.Chuang,C.Lin,"Quantification of Interaction Between ELF-LF Electric Fields and Human Bodies", IEEE Trans.Biomed.Eng. , Vol.BME-33,No.8,pp.746-755,August 1986.
- /23/.D.E.Liversay,K.Chen,"Electromagnetic Interaction Fields Induced inside Arbitrary Shaped Biological Bodies",IEEE Trans.on Microwave Theory and Techniques , V.MTT-23,pp.1273-1280,1974.



**CAHİT CANBAY**, 1951 yılında Sivas'ta doğdu.Orta öğrenimini Ankara'da,Üniversiteyi 1974 yılında İstanbul Üniversitesi'nde tamamladı. Aynı yıl İTMMMO'ya asistan olarak girdi.1986'da Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Hab. Bölümünde doktora yaptı. Halen aynı bölümde Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga Tek. Anabilim Dalı'nda, Y.Doç.Dr. olarak çalışmaktadır.Bölümde Alan Teorisi,Anten ve Propagasyon, Mikrodalga Antenleri,Fiber Optiğe Gi-

riş dersleri ile LisansUsLU; 1leri Anten Teorisi,Biyoelektromagnetik dersleri vermektedir. Araştırma konuları, Anten, Propagasyon,Fiber Optik ve Biyoelektromagnetiktir\*.



**N.ÖZLEM ÜNVERDİ**.1967 yılında Aydın'da doğdu.Orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1989 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Müh.Böl.'nden lisans,1991 yılında aynı bölümden Yüksek lisans derecesi aldı.

Halen Yıldız Teknik Üniversitesi'nde doktora programına kayıtlı olup, aynı zamanda, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak.Elektronik ve Hab.MUH.Böl. 'de Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Ana Bilim Dalı' nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



**SUAT UTKU AY** ,04.02.1970 yılında Erzurum'da doğdu, lise ve orta öğrenimini Balıkesir'de tamamladıktan sonra 1987 yılında Yıldız Üniversitesi Elektronik ve Hab.MUH. Böl. 'ne girdi ve bu bölümden 1991 yılında mezun oldu . Aynı yıl Y.T.U. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik bölümünde yüksek lisans programına kayıt yaptırdı .Ocak 1992 yılından beri Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü' nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



**VURAL BAYRAK** ,01.12.1968 tarihinde Erzurum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum'da tamamladıktan sonra 1990 yılında Yıldız Üniversitesi Matematik Mühendisliği Bölümü'nden lisans, 1993 yılında aynı bölümden yüksek lisans derecesi almıştır.Halen İ.T.U. Matematik Mühendisliği doktora programına kayıtlı olup,aynı zamanda Y.T.U.Matematik MÜH.Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır\*.

## MOBİL VE MASAÜSTÜ ELEKTRONİK ARAÇLARIN BİYOLOJİK DOKULARA ETKİSİ

CAHİT CANBAY  
Yıldız Tek.Univ.  
Elektronik ve Hab.  
MÜh.Böl.Maslak-İST.

N.ÖZLEM UNVERDİ  
Yıldız Tek.Univ.  
Elektronik ve Hab.  
MÜh.Böl.Maslak-İST.

SUAT UTKU AY  
Yıldız Tek.Univ.  
Fen Bilimleri Ens.  
Yıldız-İST.

### ÖZET

Bu çalışmada, taşınabilir telefon, telsiz iletişim araçları ile iş ortamında ve günlük yaşamda daima iç içe bulunan televizyon, video, bilgisayar vb. elektronik araçlardan oluşan ışımanın çok yakın alanının biyolojik doku ile etkileşmesi incelenmiştir. Absorblanan güçün (SAR) hangi koşullarda eşik düzeylerinin üzerine çıkacağı, termal ve termal olmayan etkiler açısından irdelenmiştir.

### I. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz elektronik çağ elektronik araçların insanla çok yakın, her zaman önünde, yanında, Üzerinde, tam anlamıyla iç içe bulunmayı zorunlu kılmaktadır. Böyle olunca da, onların zararlarından korunarak onlarla birlikte yaşamayı öğrenmek durumundayız. Isınan alanlardan korunmak için Faraday kafesi çözümleri gibi görülmese de, elektronik aracın işlevini yerine getirmesi için tümüyle izole edilememesi veya izole edilmesi pratik olmayan durumlarla karşılaşılması, bu araçların kaçınılmaz ısıma kaynakları olduğunu ortaya koyar. Ancak bu kaçınılmaz olgunun tanınarak önlemlerinin alınması herkesin sorunu olacaktır.

Gelişmiş Ülkelerde Üretilen her elektronik aracın çevreye zarar veremeyecek şekilde uyumluluk (compatibility) analizi yapılır, ısıma etkileri belirlenen standartlara uygunsa litemine izin verilir. Standartların, yeni a-

raştırmalar sonunda dUşUrUlmesi her zaman olasıdır, /I/. Bilgi kapasitesi genişledikçe yeniden konu üzerine çalışmalar yapıldıkça, yeni yeni etkiler ortaya çıkarılacak, kai-zarar hesabından sonra uygun kullanım koşulları gerçekleştirilecektir.

Günlük yaşamda iç içe yaşamak zorunda olduğumuz bir kaç kaynağın oluşturduğu alanlar Tablo-1'de verilmiştir.

KAYNAK	HACİTİK ALAN (m <sup>2</sup> )	İTTAKLIK
Firklirikl1 Rnl Inrltye	30-90	Yüzye
Hifcrrvtlgn Firin	10-100	VU-yel
	1-10	E'rAndin 30 cm
rifklirikl1 t*lkBp	500-2000	Fld
r.nç Kurulan Mık	200-2000	Fldr
tlı Alırı-Vfrlrı	10-100	K'a lıntln'1.
	1-S	m) c= ur«kl»
1 kW Rı Kuvvetlen.	80-1000	Knsa UsUlntH-
	1 ?S	3fl CM İZAKTİM

lehh> I. Allllı fil(y)n.)llı Tiki l'i Kntayou Depı im inditn «Tınarı l'ı

Amatör radyo antenleri civarındaki elektrik alan değerleri FCC ve EPA.199 raporlarına göre Tablo-2'de verilmiştir.

Anten Tipi	F (MHz)	Güç (W)	E (V/m)	Yer
Dipol (<tr<1>)	7.5	100	7-100	rvd«
7.5 yifturkıllkte lk: **lrnnnlı	28.5	425	8-12	Yerden 12m
Wılp n(p çnlı Mtll'nt	140.5	100	32-75	An t emle» 7»
Wılp nte çnlı anten	140.5	100	22-75	u/nkta Arçta

Tablo 2. FCC/ETA 199

### II. TAŞINABİLİR TELSİZ TELEFON ANTENİ- İNSAN İLİŞKİSİ

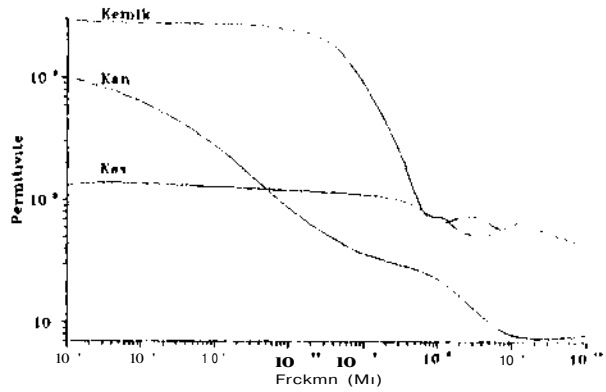
Çoğu Ülkelerde telsiz telefon şebekesi iletişimde sağladığı büyük öz-

glirUluk nedeniyle çok çabuk yayılmıştır. Ülkemizde de bÜyllk pazar payı taşınabilir telefon alt yapı alışmaları (iletişim ağı) genişledikçe yaygınlık kazanacaktır. A.B.D.'de eşinin taşınabilir telefon kullanması yUzünden beyin kanseri olduğunu iddia eden bir kişinin mahkemeye baş vurusu ve konunun basında yer alması taşınabilir telefon kullananlar arasında kuşku yaratmıştır. MW/ RF ışmasının, molekUler ve hÜcresel dllzeyde etkileşmeye, termal etkiye yol açacağı, bunların da bağışıklık sistemi ve kanserle ilgisinin olma olasılığının ağır basacağı şeklindeki görUşler yaygınlaşmakta ve konu Üzerinde araştırmalar devam etmektedir. Tablo-3'de yapılan çalışmalarından bir kaç sonuç verilmiştir, /2/.

ÖZLENEREK KİLE	MÜKÜR. YİLE	İYARMA KİŞİNLARİ
Lenfositlerde ani bozul <minr.	İnsan lenfositleri	3 GHz, 1M e 1000/gün 3-5 gll. wUr- 7 >U/c <sup>2</sup>
Protein fMlync mV-tivitesinde değişme	İnsan belyemcik lenf.	170 Hltf.1-mn 117 Hnrtf- 1"11.1-5 mU.Vp.fl <sup>2</sup> , Bil rtk.
>nlncfn T v' n l"ti-fonitlerinde artış	İnsan	2000 MHz, 25 000 mV/cm <sup>2</sup> 30 dakika gtle

Tablo-3

Elektromagnetik alanların insan Üzerine termal olmayan etkisi hllcre boyutunda ele alınması gereken bir konudur. Termal etkisinin incelenmesi ise, dokuların zarar görmesini önleme açısından gereklidir. Hipertermiya uygulamalarda kanserli dokuların yok edilmesi için, anten aplikatörlerle sıcaklığın belli sÜreler içinde yavaş yavaş arttırılarak 43-45 °C 'ye getirilmesi sağlanır ve kanserli doku öldürülür. Buna benzer bir işlem normal dokulara da yapılırsa, doğal olarak o dokunun ölmesi de kaçınılmazdır. Sinir sistemi içindeki 10<sup>11</sup>-10<sup>13</sup> tane dolağındaki nöronlar arasındaki iletişim hem elektriksel, hem de kimyasaldır; ancak, sinirlerin elektrikle uyarılma eşik frekansı artar, /3/. Olaya bir kaç yönden baktıktan sonra telefon anteninin (bundan sonra kısaca tanten diyeceğiz) başa 3-5 cm yakın olması koşulunda, tantenin yakın alanı nedeniyle başın içinde oluşan alan dağılımının hesaplanması gerekir, tnsan başı homojen bir yapıda değı ' ' lir; deri. ke-



Seki 1-1.

mlk, sıvı, beyin dokularının heterojen olarak dağıldığı bir yapıdadır. Bu nedenle, elektromagnetik alanların dağılımları da her bölgede aynı olmayacak, Şekil-1'de görÜldllğU gibi, elektriksel özellikler farklılıklar gösterecektir.

Seki 1-2'deki z doğrultusunda yerleştirilmiş 2h boyunda ve 2a kalınlığında olan silindir şeklinde dipol antenin Üzerinde gerçek akım dağılımı alınarak magnetik vektör potansiyeli yardımıyla elektrik alanının ışınsal değerleri, z > h için.

$$E_{\rho}(\rho, z) = -\frac{j\eta}{8\pi k} \frac{1}{\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\sqrt{h}} \frac{nn}{h} \frac{\infty}{m=0} \left[ \frac{ka}{2} \right]^m$$

$$J_m(ak) = \frac{(-1)^m}{k^{2m}} \frac{\partial^{2m}}{3x^{2m}} \left[ \frac{x e^{-jk\sqrt{x^2+\rho^2}}}{\sqrt{x^2+\rho^2}} - e^{-jkx} \right]_{x=z+h}$$

(1)

ve z < h için,

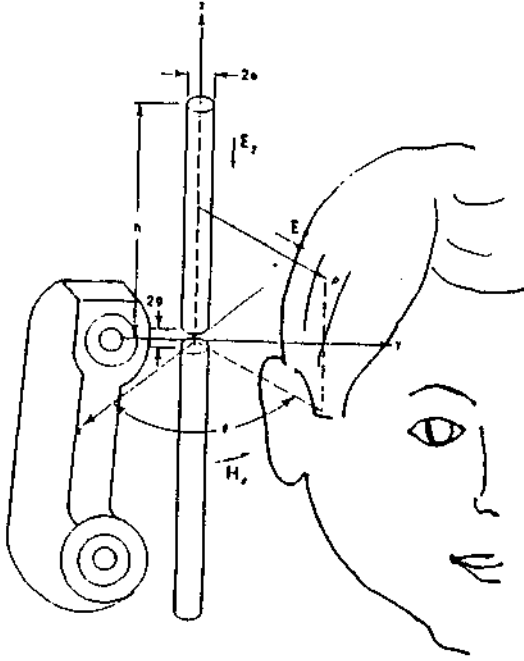
$$E_{\rho}(\rho, z) = -\frac{j\eta}{8\pi k} \frac{1}{\rho} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\sqrt{h}} \frac{nn}{h} \sum_{m=0}^{\infty} \left[ \frac{ka}{2} \right]^m$$

$$J_m(ak) = \frac{(-1)^m}{k^{2m}} \left[ \frac{\partial^{2m}}{3x^{2m}} \left[ \frac{x e^{-jk\sqrt{k^2+\rho^2}}}{\sqrt{k^2+\rho^2}} - e^{-jkx} \right] \right]$$



$$e^{-jkx} \left[ -2 \frac{a^{2m}}{3z^{2m}} \sin\left(\frac{nn}{2}\right) \sin\left(\frac{nir}{2h} z\right) \right] \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} & -jk\sqrt{z^2+p^2} \\ & e \\ & \sqrt{z^2+p^2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$



Şekil-2.

dir. Elektrik alanın aksenal bileşeni ise,

$$E_z(\rho, z) = \frac{-j\eta}{8\pi k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{h} \frac{1}{\Gamma_n} \frac{1}{\Gamma_n} \frac{1}{\Gamma_n} \frac{\infty}{m!} \left(\frac{ka}{2}\right)^m$$

$$J_m(ka) \frac{(-1)^m}{k^{2m}} \left\{ \frac{\partial^{2m}}{\partial x^{2m}} \left[ \frac{-jk\sqrt{x^2+p^2}}{\sqrt{x^2+p^2}} \right] \right\}_{x=h+z} +$$

$$\sum_{q=0}^{\infty} \frac{2^q k^{2q}}{2^q} \frac{\partial^{2m}}{\partial z^{2m}} \left[ 1 + \frac{1}{k^2} \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right]^q$$

olarak bulunur /4/, /5/ ve bu bağıntılardan  $E_z$  ve  $E_\rho$ ,  $z/A$  "ya göre değişimi Şekil-3 ve Şekil-4' deki gibidir.

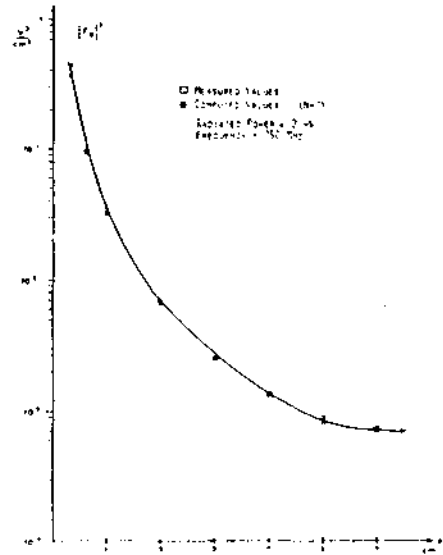
ANSI , maksimum eşik değerlerini

$$30-300 \text{ MHz 'de } |E_{\max}|^2 = 0.4 \frac{V^2}{\text{cm}^2}$$

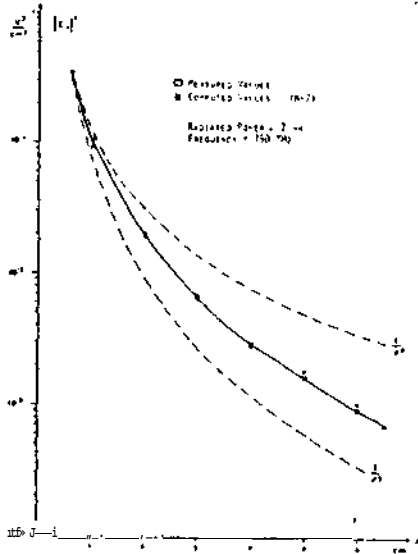
$$300-1500 \text{ MHz'de } |E_{\max}|^2 = 0.4(f/300)^2 V^2/\text{cm}^2,$$

ve uzak alan için ise,  $2.5 \text{ mW/cm}^2$  ,yanlı yaklaşık olarak  $0.94 \text{ V/cm}$  olarak önermiştir. Yetişkin bir insanın başı yaklaşık olarak  $5000 \text{ cm}$  alınırsa, uzak alanda  $12.5 \text{ W/lık}$  gÜç soğurulmasına izin verildiği anlaşılmaktadır. Seki 1-5' de görülen başın tümüyle beyin dokusu ( $\epsilon = 50$ ,  $\sigma = 0.8 \text{ S/m}$ ), gövdenin kas dokusu ( $\epsilon = 60$ ,  $\sigma = 1.1 \text{ S/m}$ ) ile mo-

dellendiği bir durum için,  $450 \text{ MHz'de}$  akımla beslenen  $30 \text{ cm}$  boyunda,  $2 \text{ cm}$  kalınlığında, başın yllz kısmına  $7.5 \text{ cm}$  uzaklıktaki bir dipol antenin ışıması nedeniyle baş ve gövde içindeki SAR (Spesific Absorbttion Rate) değerleri verilmiştir, /6/.

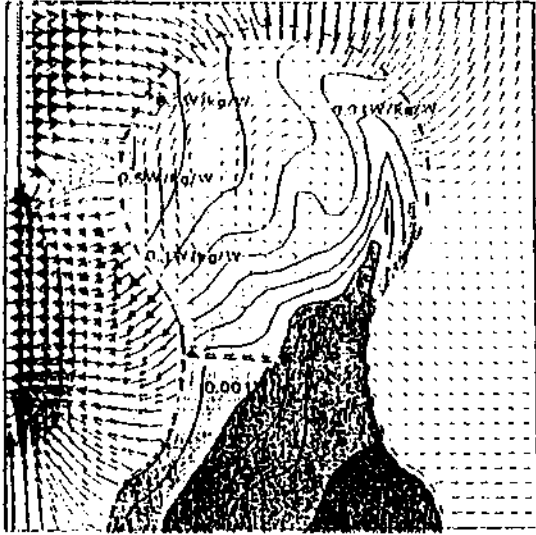


Şekil-3.



Seki 1-4

Homojen biyolojik doku dağılımı koşulunda, insan başı Üzerindeki SAR değerleri Seki 1-5'de görüldüğü gibi dir.



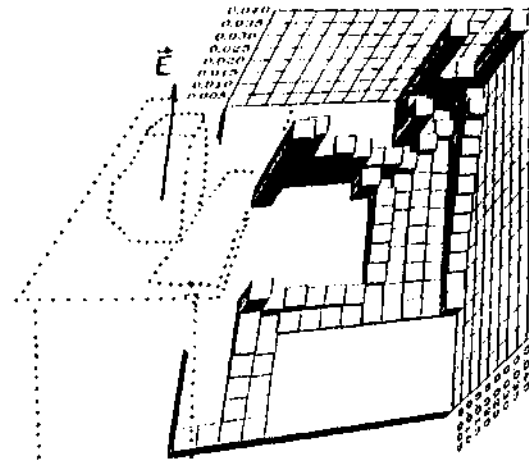
Seki 1-5 Homojen insan başı ve gövdesinde soğurduğu SAR değerleri.

insan başı, dışarıdan içeriye doğru kas-kemik-kan-beyin dokusu şeklinde modellenmiş olsaydı, yakın alan nedeniyle dikkat çekici olmayan alan dağılımı ile letkenliğin arttığı bölgede daha yüksek olacaktır. Heterojen biyolojik dağılım koşulunda dikkatli terimini i-

çeren Elektrik Alan Integral Denklemi (The Electrical Field Integral Equation, EFIE) sayısal çözüm çalışmalarını sürdürmekteyiz. Şekil 5'deki antene yakın tarafta başta oluşan SAR, Watt başına 0.5 W/kg, 7.5 cm uzaklık için eşik değerlerinin çok altında bir değer alır.

### III. MASAUSTÜ ELEKTRONİK ARAÇLARIN MODELLENMESİ

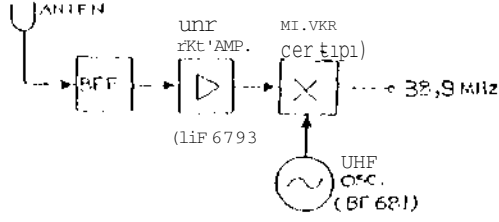
Giriş bölümünde de belirtildiği gibi, kaçınılmayan elektronik araçların çevreye yaydıkları elektromagnetik ışınım, devrelerin tam olarak izole edilememesinden kaynaklanır. Bilgisayar, televizyon, video vb. masalsizli elektronik araçların devre elemanlarından etkin olarak geçen akım ve frekans ışınım hesaplarında göz önüne alınmıştır. Önce, Amstrad bilgisayarın devresi modellenmiş, 4 MHz' de devrelerde etkin olarak akan akım bulunmuştur. Bu frekansta, ışınım elemanlarının boyutları  $1 \ll \lambda$  olduğu için, bilgisayar, Hertz dipolu olarak kabul edilmiş ve karşısındaki insanla etkileşmesi quasi-statik yaklaşım altında Moment Yöntemi (The Methods of Moment, MÜM) ile sayısal olarak çözülmüştür, (Şekil-6).



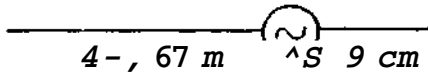
Şeki 1-6

Televizyon için ise, anten girişine UHF (610 MHz) akımı, BF-679 ön yükselticisinden geçerek BF 981 içeren mikserden sonra 38.9 MHz'e dönüşmekte-

dir. Işımaya katkısı olan devre kesimi,  $I_m \approx 25 - 50$  mA akım akıtan bu kesim olarak alınmıştır. Şekil-7a' da yer alan blok devre, Şekil-7b' de görülen lüldü gibi asimetrik beslenmiş anten olarak modellenmiştir, //.



Şekil-7a



Şekil-7b

İşlemlerde ışımaya yerin katkısının ihmal edilmesi sonucunda elde edilen

$$E_e = -\frac{\hat{e} \cdot \hat{r}}{4\pi r} e^{-j\beta r} |f(\theta)| \quad (4)$$

bağıntısı kullanılarak,  $|E_e| \approx 9 \gg V/m$  olarak bulunmuş ve bu değer, daha önce incelenen eşik değerinin çok altında olduğu belirlenmiştir.

#### IV. SONUÇ

GUclicok yliksek olmamak koşuluyla, taşınabilir telefonların ve her tür-İU masallstU elektronik aracın, termal etki yaratması beklenmemekle birlikte, uzun süreli ve sürekli kullanılması koşulunda, konunun moleküller DNA açısından incelenmesi gerekmektedir. Tantenleri, çok yakın alanın etkisinden kaçınmak için, başa 5-10 cm uzaklıkta tutmakta ve uzun süreli kullanımlardan kaçınmakta yarar vardır.

#### KAYNAKLAR

// C.Canbay, N.Ü. Unverdi, S.U. Ay, V. Bay-

rak, "0-100 GHz Frekans Aralığında Işıma Yapan Yapay ve Doğal Elektromagnetik Alan Kaynaklarının Çevre ve İnsan Sağlığı Açısından Analizi", Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, 13-18 Eylül 1993, KTLJ Trabzon (Baskıdadır).

- /2/ S.Szmigelski, et al, "Immunologic and Cancer - Related Aspects of Exposure to Low - Level Microwave and Radiofrequency Fields", Dep. of Biological Effects of Nonionizing Rad. Cent. for Radiobiology and Radiation Safety, Warsaw, Poland.
- /3/ J.R.Lacourse, et al, "Effect of High - Frequency Current on Nerve and Muscle Tissue", IEEE Trans. on Biomed. Eng., Vol. BME-32, No.1, pp. 82-85, 1985.
- /4/ Q.Balzano, et al, "The Near Field of Dipole Antennas, Part I: Theory", IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol. VT-30 No.4, pp.161-174, November 1981.
- /5/ Q.Balzano, et al, "The near Field of Dipole Antennas, Part I: Experimental Results", IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol. VT-30, No.4, pp.175-181, November 1981.
- /6/ N.Kuster, B.Bal listi, "MMP Method Simulation of Antennae with Scattering Objects in the Closer<sup>1</sup> Near field", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.25, No.4, pp.2881-83, July 1989.
- /I/ C.Canbay, "Elektromagnetik Propagasyon ve Anten Problelerinde Fiziksel, Sayısal Modelleme Tekniklerinin Önemi" .Ülkemizin Kalkınmasında Mühendisliğin Rolü Semp., Say.368-377, 20-24 Haziran 1988.

**CAHİT CANBAY, N.ÖZLEM ÜNVERDİ, S.UTKU AY**  
Özgeçmişleri, "0 - 100 GHz Frekans Aralığında Işıma Yapan Yapay ve Doğal Elektromagnetik Alan Kaynaklarının Çevre, İnsan Sağlığı Açısından Analizi" isimli makalenin sonunda yer almaktadır.