

# Uçak antenleri arasındaki kuplajın sürekli parametrelili Genetik Algoritma ile optimizasyonu

**Mustafa Emre AYDEMİR\***, **Tayfun GÜNEL**

*İTÜ Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul*

## Özet

*Bu çalışmada F-4 Phantom uçağı üzerine yerleştirilmesi planlanan iki UHF-VHF telsizin birbirlerinin antenleri üzerinde meydana gelebilecek girişim etkisinin optimizasyonu hedeflenmiştir. Optimizasyon metodu olarak sürekli parametrelili Genetik ve Memetik Algoritmalar kullanılmıştır. Sayısal analizde uçağın tel ızgara modeli oluşturulmuş, Moment Yöntemi tabanlı Super NEC programı ile MATLAB bir arada kullanılarak antenler arasındaki kuplaj hesaplanmış ve optimize edilmiştir. Ölçüm yönteminde ise, 1:10 ölçekli bakırdan imal edilen uçak modeli üzerinde tam yansız odada kuplaj ölçümleri yapılmıştır. Farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, sayısal analiz ve ölçüm sonuçlarının birbirleri ile uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik girişim, elektromanyetik uyumluluk, genetik algoritma.

## Optimization of the coupling among the aircraft antennas via the continuous parameter genetic algorithm

### Abstract

*High density of electronic equipment, receiver and transmitters used in modern aircraft makes Electromagnetic Interference (EMI) of high priority concern. In such platforms, providing Electromagnetic Compatibility (EMC) among systems is difficult due to the simultaneous operation modes. Antenna mounting on an aircraft needs special attention and experience. The conducting surfaces of these aircraft seriously affect the radiation patterns of the antennas in a manner of re-radiation or cross polarization. In this study, the optimization of the electromagnetic interference induced by two on-board VHF-UHF transceiver antennas is aimed. The continuous parameter Genetic and Memetic Algorithms are chosen for the optimization method. In the numerical analysis, the wire-grid model of the aircraft is constructed; the Method of Moments (MoM) is utilized for calculating the coupling between the antennas by using SuperNEC. In the measurement process, coupling and S-parameters are measured on a 1:10 scaled model in an anechoic chamber. The originality of this study is that it combines the MoM Computational Electromagnetics (CEM), CPGA and CPMA optimization methods for the minimization of coupling between the F-4 Phantom aircraft antennas. When applied together, it is seen that these methods solve very complex and time-consuming problem efficiently. It can be concluded the selected method is an accurate and low-cost alternative for the expensive and time-consuming measurement methods and a suitable tool for verifying the validity of the measurement results.*

**Keywords:** Electromagnetic interference, electromagnetic compatibility, the genetic algorithm.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mustafa Emre AYDEMİR. e.aydemir@hho.edu.tr; Tel: (212) 663 24 90 dahili: 4345.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Uçak antenleri arasındaki kuplajın genetik algoritma ile optimizasyonu" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 19.09.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 18.10.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

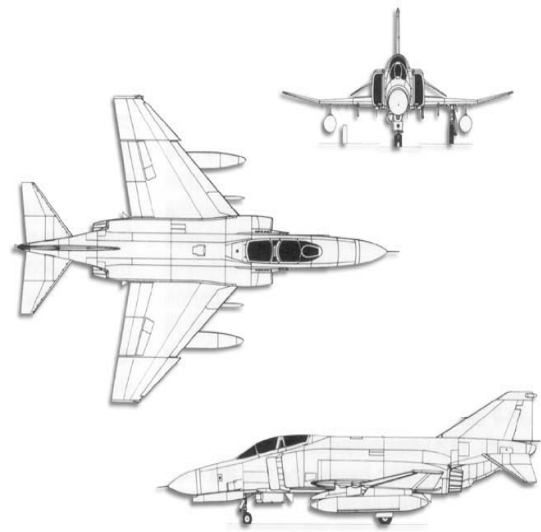
## Giriş

Elektromanyetik uyumluluk (Electromagnetic Compatibility - EMC) etkin elektronik iletişim sistem performansının sağlanabilmesi için gerekli koşulların tanımıdır (Duff, 1998). Diğer bir deyişle, EMC cihaz ve sistemlerin hedeflenmiş çalışma koşullarında olumsuz şekilde diğer sistemlerden etkilenmeden veya diğer sistemleri etkilemeden çalışabilme yeteneğidir. Bu şekildeki bir girişime elektromanyetik girişim (Electromagnetic Interference - EMI) denilir. Modern uçaklarda kullanılan yüksek yoğunlukta alıcı-verici telsizler ve elektronik malzemeler elektromanyetik girişim problemini birincil öncelikli duruma getirirler. Bu tür platformlarda eşzamanlı çalışma durumunda elektromanyetik uyumluluğun sağlanması bir hayli zordur. Eğer iki antenin çalışma frekansları arasındaki fark yeterli değilse, bu iki antenin eşzamanlı çalışması ciddi problemler ortaya çıkarabilir. Kuplaj ile bir vericiden diğer alıcıya aktarılan güç çıkış katlarında problem veya arızalara sebep olabilir.

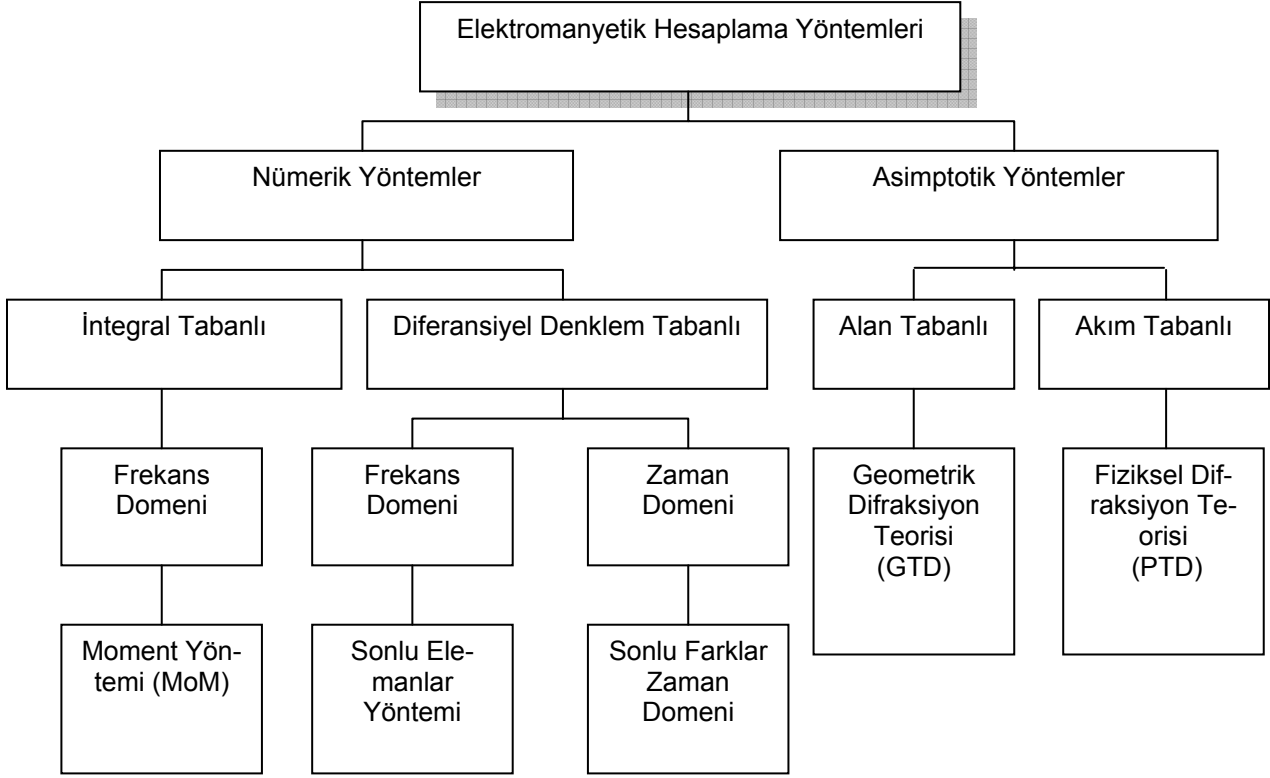
Bu çalışmada uçak gövdesi üzerinde bulunan antenlerin birbirleri üzerindeki olumsuz etkilerinin minimize edilmesi (kuplaj optimizasyonu) hedeflenmiştir. Uçak gövdesi üzerine anten montajı özel dikkat ve deneyim ister. Bu uçakların iletken gövdeleri antenlerin ışınma diyagramlarını tekrar ışınma veya çapraz polarizasyona sebep olacak şekilde etkilerler. Konuyla ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalar özetlenecek olursa, yapılan ilk çalışmalarda ağırlık daha çok radyo ve seyrüsefer sistemlerinin olumsuz etkilerinin giderilmesi üzerindedir. Bu çalışmalarda aynı anda çalışan antenlerin geniş-bantlı ışınma diyagramları elde edilmişti (Lee, Marin 1976). Bu çalışmada uçak silindirik ve küp gibi basit nesnelere modellenmişti. Daha sonraki bir çalışmada ise, Boeing 737 uçağı eliptik ve silindirik objelerin bir bileşkesi olarak modellenmişti ki, uçak üzerindeki antenlerin ışınma diyagramı yüksek doğrulukla elde edilmişti (Pelton, Burnside, Wang, 1978). 1980'lerde Geometrik Difraksiyon Teorisi uçak elektromanyetik girişim problemlerinde uygulandı (Cooke, Ryan 1980). Bu yöntem daha sonraları da başarıyla kullanıldı (Burnside, Nan, Pelton 1980). Mirage uçağı üzerine monte edilmiş antenlerin uzak ve

yakın alan ışınma diyagramları moment yöntemi ile elde edilmiş ve sonuçlar 1:10 ölçekli yansımasız odada yapılan ölçümler ile teyit edilmiştir (Givati, Fourie 1994). Çok yakın zamanda yapılan bir çalışmada, UH-1 helikopteri üzerine yerleştirilen bir elektronik harp cihazının helikopter üzerindeki diğer antenler ile yapacağı girişim modellenmiş ve sonuçlar ölçekli maket üzerinde yapılan ölçümlerle teyit edilmiştir (Üstüner, 2002). Bu çalışmada daha çok ana rotorun pozisyonlarının anten kuplajları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Diğer taraftan, optimizasyon yöntemi olarak seçilen ve 1990'larda geliştirilen Genetik Algoritmalar (Holland, 1992) elektromanyetizma alanı da dahil olmak üzere (Haupt, 1998; Aydemir ve Günel, 2005) geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Bu çalışmada, elektromanyetik girişimin en önemli ögesi olan antenden antene kuplaj mekanizmasından hareketle, F-4 Phantom Savaş Uçağının üzerindeki antenlerin birbirlerinin çalışmalarına olumsuz tesirleri (anten kuplajı) problemi incelenmiştir.

Yapılan çalışmanın ileriye dönük bir altyapı sağlayabilmesi için platform olarak modernizasyonu devam eden ve 2030'lu yıllara kadar hizmette kalması planlanan Şekil-1'de gösterilen (URL, 2004) F-4 Phantom savaş uçağı ve alt sistem olarak da 2 adet ASELSAN 484 Have Quick model VHF/UHF telsiz sisteminin seçilmesine karar verilmiştir.



Şekil 1. F-4 Phantom uçağı



Şekil 2. Elektromanyetik hesaplama yöntemleri

Çalışmada cihaz ve alt sistemlerin önceden tanımlanmış giriş-çıkış karakteristiklerine sahip olan kara kutular oldukları varsayılmıştır. Antenden antene kuplaj probleminin analizi için iki metod uygulanmıştır; ilki, antenler arasındaki kuplajın sistemin analiz edilmesiyle hesaplanmasıdır ki, bu metoda analiz metodu da denilmektedir. İkincisi ise kuplaj seviyesinin gerçek veya ölçekli model üzerinde ölçülmesidir. Sonuçların her iki yöntemde de aynı olması özellikle analiz yönteminin geçerliliğinin doğrulanması bakımından önem arz etmektedir. Bu çalışmada her iki yöntem de uygulanmıştır.

### Elektromanyetik girişim ve analiz yöntemi

Kompleks metal yapılardan meydana gelen ve kablo ve antenleri içeren sistemlerden yayılan elektrik ve manyetik alanlar ancak elektromanyetik hesaplama (Computational Electromagnetics - CEM) yöntemleri olan nümerik veya asimptotik yöntemler ile çözülebilmektedir (Şekil 2).

Moment Metodu (Method of Moments - MoM) bu tür problemlere uygulanmak için idealdir

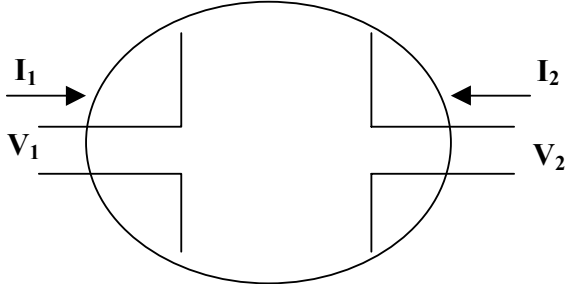
(Harrington, 1968). Moment Metodunda Maxwell'in integral denklemleri matris formuna dönüştürülürler. Daha sonra, dalgaboyuyla orantılı tel ızgaralarla modellenmiş katı yapılardan yayılan elektrik alanı, segmentlere bölünmüş teller üzerinde oluşturulan matrislerin çözümlerinin birleştirilmesiyle hesaplanabilir. Bu metod, kompleks yapılar ve antenler içeren platformların analiz ve sentezi için geniş uygulama alanı bulmuştur.

Alternatif bir yöntem olan Üniform Saçılma Teorisi (Uniform Theory of Diffraction-UTD) ise ışığın optik özelliklerinin elektromanyetik alanlara uyarlanması ile gerçekleştirilen asimptotik bir analiz yöntemidir (Ryan, Cooke 1980). Buradaki kriter, nesne boyutunun dalgaboyunun en az 10 misli büyüklüğünde olmasıdır. Uygun modelleme yapıldığında UTD metodunun işlem süresi MoM'dan çok daha kısadır. İlk aşamada seçilen platformun boyutu ( $\approx 18$  metre) ve dalgaboyu (0.5-10metre) göz önüne alınarak temel iki metod olan MoM veya UTD metodlarından uygun olanını seçmek için uçak gövdesiyle aynı boyutlara sahip basit silindir

objeler ve alt sistemlerle aynı çalışma frekanslarına sahip antenlerin kuplajları ele alınmıştır.

### Kuplajın hesaplanması

SuperNEC programı yalıtım değerini, anten besleme segmanlarının admitans parametrelerinden (Y-parametreleri) hesaplar. Birbirleri arasındaki kuplajın araştırıldığı iki anten iki kapılı bir devre olarak düşünülebilir (Şekil-3).



Şekil 3. İki antenin iki kapılı devre ile temsili

Bu devre için Y-parametreleri şu şekilde verilir:

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \quad (1)$$

$$I_2 = Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \quad (2)$$

Y-parametreleri şu şekilde elde edilebilir:

$$Y_{11} = \left. \frac{I_1}{V_1} \right|_{V_2=0} \quad (3)$$

$$Y_{12} = \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{V_1=0} \quad (4)$$

$$Y_{21} = \left. \frac{I_2}{V_1} \right|_{V_2=0} \quad (5)$$

$$Y_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{V_1=0} \quad (6)$$

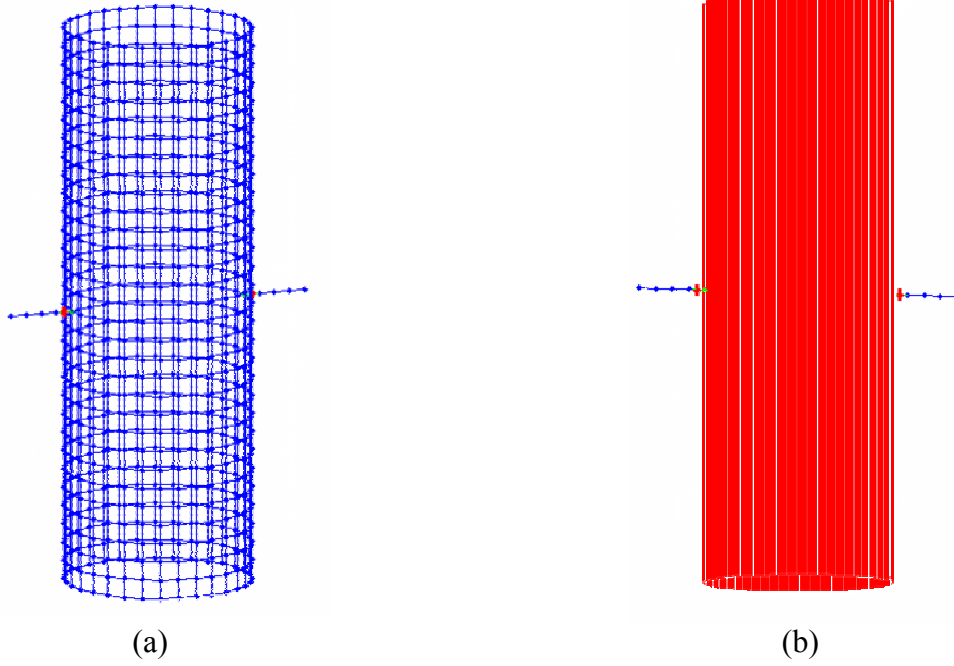
İki kapılı bir devrede maksimum kuplaj ( $C_{max}$ ) hesabında Linville yönteminden yararlanılmaktadır (Rockway ve Logan, 2003):

$$C_{max} = \frac{1}{L} \left[ 1 - \sqrt{1 - L^2} \right] \quad (7)$$

$$L = \frac{[Y_{12}Y_{21}]}{2 \operatorname{Re}[Y_{11}] \cdot \operatorname{Re}[Y_{22}] - \operatorname{Re}[Y_{12}Y_{21}]} \quad (8)$$

NEC ile modellenen silindir yapılar ve üzerlerindeki antenler Şekil 4'de görülmektedir. Kuplaj değeri MoM yöntemi ile  $-31.6\text{dB}$ , UTD yöntemiyle ise  $-39.9\text{dB}$  olarak bulunmuştur. Seçilen uçağın boyutları ve frekans aralığı için UTD ile elde edilen sonuçların kesin sonuç veren ama çok daha uzun işlem süresi gerektiren MoM sonuçlarına göre 9 dB farkettiği görülmüştür ki bu da UTD'nin ele alınan problem için uygun olmadığını, seçilen platform için UTD yönteminin GHz frekanslarında gerçekçi sonuçlar vereceğini göstermektedir. F-4 uçağının gerçeğe çok yakın modellenebilmesi için silindir, küp, plaka gibi basit nesnelere yetersizdir. Bu sebeple kuplaj hesabında kullanılacak model yapısal interpolasyon ve ızgaralama (Structure Interpolation and Gridding-SIG) yazılımı yardımıyla SuperNEC'e tanıtılmalıdır. Bu amaçla F-4 uçağının kesit diyagramları elde edilmiş, bu diyagramlar TraceArt ve CAD programları ile sayısallaştırılmıştır. CAD ile tespit edilen F-4 uçağının koordinatları SIG programı ile SuperNEC için kaynak koduna dönüştürülmüş ve Şekil 5'teki ızgara-model elde edilmiştir. Izgara modelin elde edilmesinde ise Tablo 1'deki segmentasyon kuralları uygulanmıştır. Dalgaboyu için VHF-UHF telsizlerinin kullandığı 35-140 MHz frekans aralığı seçilmiştir.

Tablo 1'deki kuralların uygulanması ile elde edilen sayısal model ise, Şekil 5'de görülmektedir. Bu model 6000'den fazla segmentten oluşmaktadır ki MoM'de işlem süresi segment sayısının karesi ile doğru orantılı olduğundan ortaya çıkan işlem yükü günümüz PC'lerinin kapasitelerini zorlamaktadır. Daha yüksek frekanslardaki analizlerde UTD metodunun veya paralel işlemcili bilgisayarların kullanılması daha doğru olacaktır. Elektromanyetik girişim, her iki telsiz de eşzamanlı çalışırken harmonik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu harmonikler genellikle ana taşıyıcı frekansının tamsayı katlarında ortaya çıkmaktadırlar.



Şekil 4. MoM (a) ve GTD (b) yöntemleri ile hesaplanan kuplajın hesaplanmasında kullanılan gövde modelleri

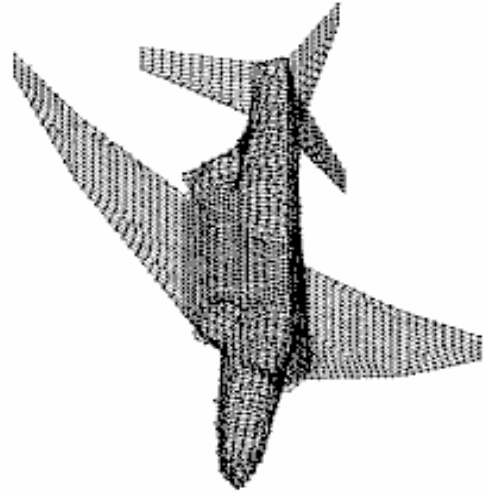
Genetik algoritmanın oluşturulmasındaki en önemli basamaklardan bir tanesi de, hedef fonksiyonun tanımlanmasıdır. Hedef fonksiyonu problemin çözümü için belirlenen kriterdir. Bu çalışmada amaç en etkili harmonik olan ikinci harmoniğin alıcı anten üzerinde oluşturacağı kuplajın minimize edilmesidir. Bu durumda hedef fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{Hedef fonksiyonu} = (C_{70} + C_{140} + C_{280})/3 \quad (9)$$

Burada  $C_{70}$ ,  $C_{140}$  ve  $C_{280}$  35, 70 ve 140 MHz'lik çalışma frekanslarının ikinci harmoniklerine denk düşen 70, 140 ve 280 MHz'deki antenler arasındaki kuplajı temsil etmektedir.

Tablo 1. MoM için uygulanan segmentasyon kriterleri

Segman nitelikleri	Kabul edilen aralık
Segman uzunluğu	$\frac{\lambda}{10} < \Delta < \frac{\lambda}{5}$
Çap	$30 < \frac{\lambda}{a} < 100$
Segman uzunluğu/çap oranı	$0.5 < \frac{\Delta}{a} < 2$



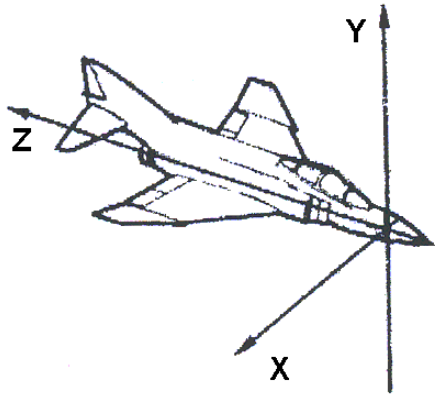
Şekil 5. F-4'ün tel ızgara modeli

Bu çalışmada, yapısında lokal optimizasyon içeren ve Genetik Algoritmanın bir türevi olan Memetik Algoritmanın performansı da denenmiştir (Caorsi, vd, 2003). Genetik ve Memetik algoritmaların kromozom yapılarındaki genlerin değişim aralığı (arama uzayı) ise Tablo 2'de görülmektedir. Burada amaç, antenleri en uygun pozisyonlara yerleştirerek kuplajı olabildiğince azaltmaktır. Bu tablo için baz alınan uçağın eksenleri ise Şekil 6'da görülmektedir.

Tablo 2. Genetik ve Memetik Algoritma için uygulanan arama uzayı sınır değerleri

Parametre	Değişim aralığı
Üst anten x eksen	+0.19...-0.19m
Üst anten y eksen	0.0...-0.097m
Üst ve alt anten z eksen	+7.087...+14 m
Alt anten x eksen	+0.19...-0.19m
Alt anten y eksen	0.0...-0.097m
Üst anten $\theta$ açısı (y ve z eksenleri arasındaki açı)	+45...+135 <sup>0</sup>
Alt anten $\theta$ açısı	-45...-135 <sup>0</sup>
Üst anten $\phi$ açısı (y ve x eksenleri arasındaki açı)	-27...+27 <sup>0</sup>
Alt anten $\phi$ açısı	-5...+5 <sup>0</sup>

Genetik Algoritmayı oluşturan popülasyonun yapısı ise Tablo 3'te görülmektedir. İterasyonun sonlanma kriteri olarak ise, iki ardışık hedef fonksiyonu arasında nicel bir fark olmaması hedeflenmiştir. Bütün bu kriterler uygulandığında genetik algoritmanın sonlanma kriterine ulaşması 2 gigabyte hafızalı ve Pentium 4 işlemcili bir bilgisayarda Genetik ve Memetik algoritmalar için sırasıyla 64 ve 47 saat sürmüştür. Hedef fonksiyonunun iterasyon sayısına göre değişimi ise Şekil 7'de verilmiştir. Memetik algoritmanın bulduğu anten pozisyonları ise Genetik Algoritmanın kadar başarılı sonuçlar vermemiştir. Genetik algoritmanın uygulanması sonucunda hesaplanan anten pozisyonları Şekil 8'de görülmektedir. Bu sonuçlar analiz için doğruluğunun teyit edilmesi için ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmışlardır.



Şekil 6. Uçağın kartezyen koordinatlardaki eksenleri

Tablo 3. Popülasyon yapısı

Parametre	Değer
Gen sayısı	6
Gen tipi	Reel
Kromozom sayısı	30
Çaprazlama oranı	%30
Mutasyon oranı	%30 (GA için)
Mutasyon oranı	%15 (MA için)
Optimizasyon oranı	%15 (MA için)

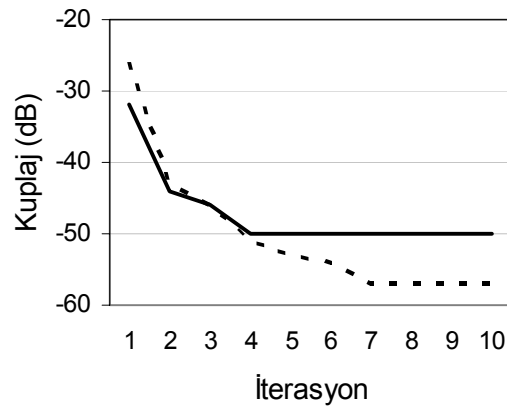
### Ölçüm yöntemi

Ölçekli modelin hazırlanmasında dalgaboyu ve frekans parametreleri 1:10 ölçekli modele uygun olacak şekilde değiştirilmiştir (Tablo 4).

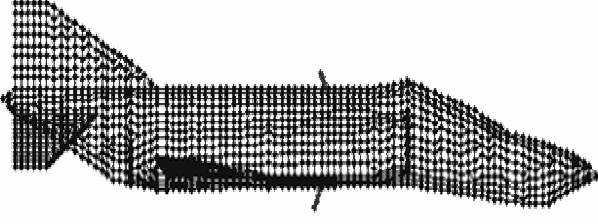
Yansıma katsayısı;

$$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \quad (10)$$

şeklinde tanımlanabilir ki burada  $\eta_1$  birinci ortamın,  $\eta_2$  ise ikinci ortamın empedansdır. Eğer birinci ortam olarak hava, ikinci ortam olarak da iletken yüzey alınır, ölçekli model için kullanılan bakır ve gerçek uçakta kullanılan alüminyum alaşımı ile havanın yansıma katsayıları  $\Gamma_{\text{hava-alüminyum}} = -0.9999745$  ve  $\Gamma_{\text{hava-bakır}} = -0.9999381$  olarak bulunur ki, buradaki hata ihmal edilebilir düzeydedir. Bu durumda ölçüm için elektromanyetik girişim frekans aralığı dönüşümü Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 7. Hedef fonksiyonunun iterasyona göre değişimi (kesikli:GA, sürekli:MA)



Şekil 8. Sayısal analiz neticesinde bulunan antenler

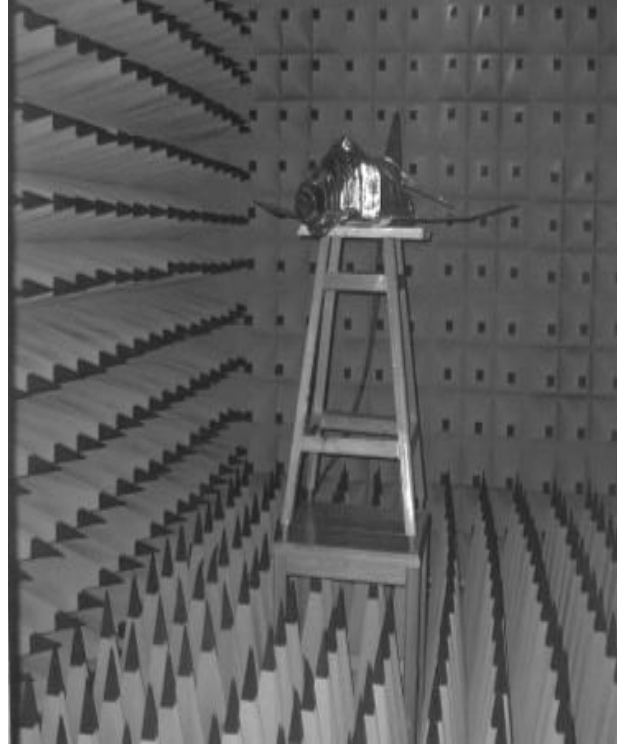
Tablo 4. Parametrelerin 1:n boyutlu modele uygun şekilde ölçeklendirilmesi

Parametre	Değer
Uzunluk	$l/n$
Frekans	$nf$
Dalgaboyu	$\lambda/n$
İletkenlik	$n\sigma$

Ölçekli model, sayısal analizde kullanılan kesit diyagramlardan yola çıkılarak hazırlanmıştır. Model üzerinde sayısal analiz neticesinde elde edilen iki anten pozisyonunun yanı sıra, karşılaştırma yapabilmek için ek olarak dört adet daha anten için tesisat döşenmiştir. Yansız odadaki ölçekli model Şekil 9’da ve monopul antenin yakından çekilmiş fotoğrafı Şekil 10’da görülebilir.

Tablo 5. Sayısal analiz ve ölçümde kullanılan frekanslar

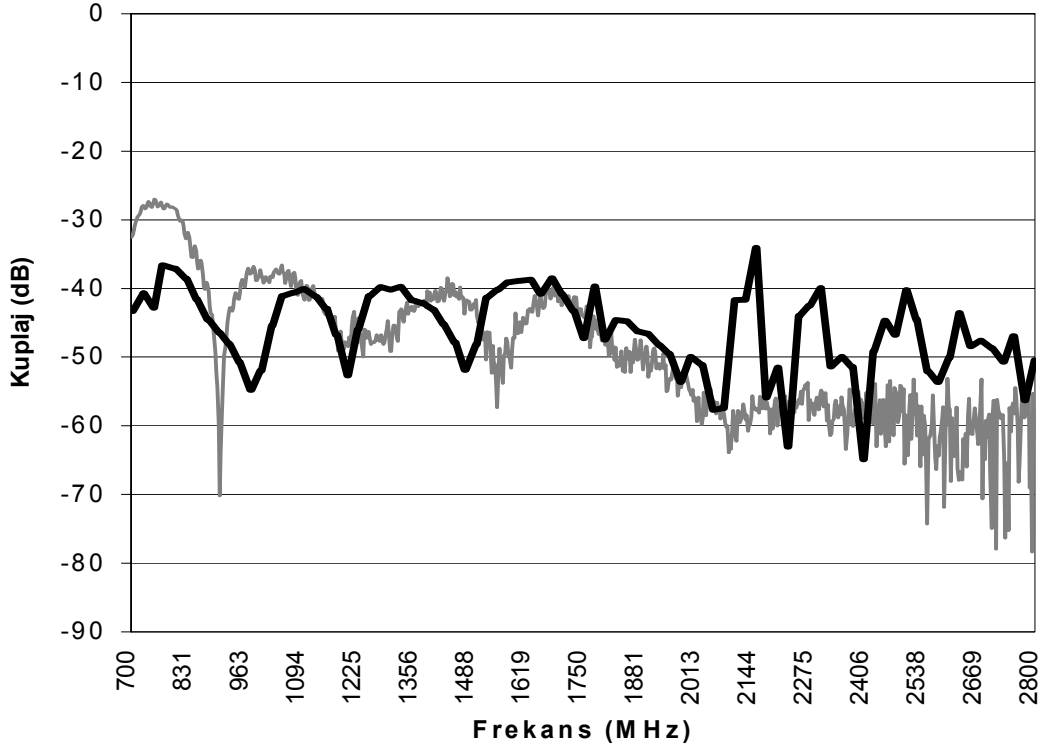
Çalışma Frekansı	Girişim Frekansı	Ölçekli Model için Frekans
35 MHz VHF-FM	70 MHz	700 MHz
70 MHz VHF-FM	140 MHz	1.4 GHz
140 MHz VHF- FM/AM (ATC and Marine)	280 MHz	2.8 GHz



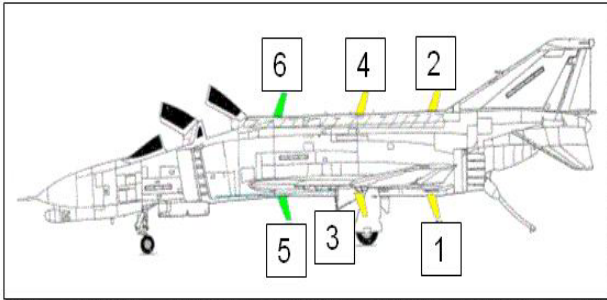
Şekil 9. Ölçekli model yansız ölçüm odasında



Şekil 10. Gövde üstündeki VHF-UHF anten



Şekil 11. Analiz (siyah) ve ölçüm(gri) sonuçlarının 10 cm'lik anten için karşılaştırılması



Şekil 12. Gövde üstündeki VHF-UHF monopol antenlerin numaralandırılması

### Ölçüm parametreleri

Ölçekli model üzerinde ölçümü yapılan parametreler monopol VHF-UHF antenleri modelleyen iki kapılı devrelerin S-parametreleridir.  $S_{21}$  iki anten arasındaki kuplajı temsil eder.  $S_{11}$  ve  $S_{22}$  ise giriş ve çıkış kapılarındaki uyumsuzluğa karşılık düşerler. Sayısal analiz ile gerçekçi karşılaştırmalar yapabilmek için giriş ve çıkışlardaki uyumsuzluk kayıpları da göz önünde bulundurulacaktır. Anten çiftleri arasında üçer farklı anten uzunluğu göz önünde bulundurulularak 700-2800 MHz frekansları aralığında toplam 800 adet ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sonucunda 6

ile 5 no'lu antenlerin kuplaj seviyelerinin sayısal analiz sonuçları ile mukayesesi Şekil 11'de verilmiştir. Antenlerin numaralandırılması ise Şekil 12'de verilmiştir. Burada 5 ve 6 no'lu antenler sayısal analiz neticesinde GA ile koordinatı kesinleşmiş antenlerdir.

Uyumsuzluk kaybı ( $ML_{1,2}$ ) ve kuplaj ( $C$ ) aşağıdaki gibi hesaplanır:

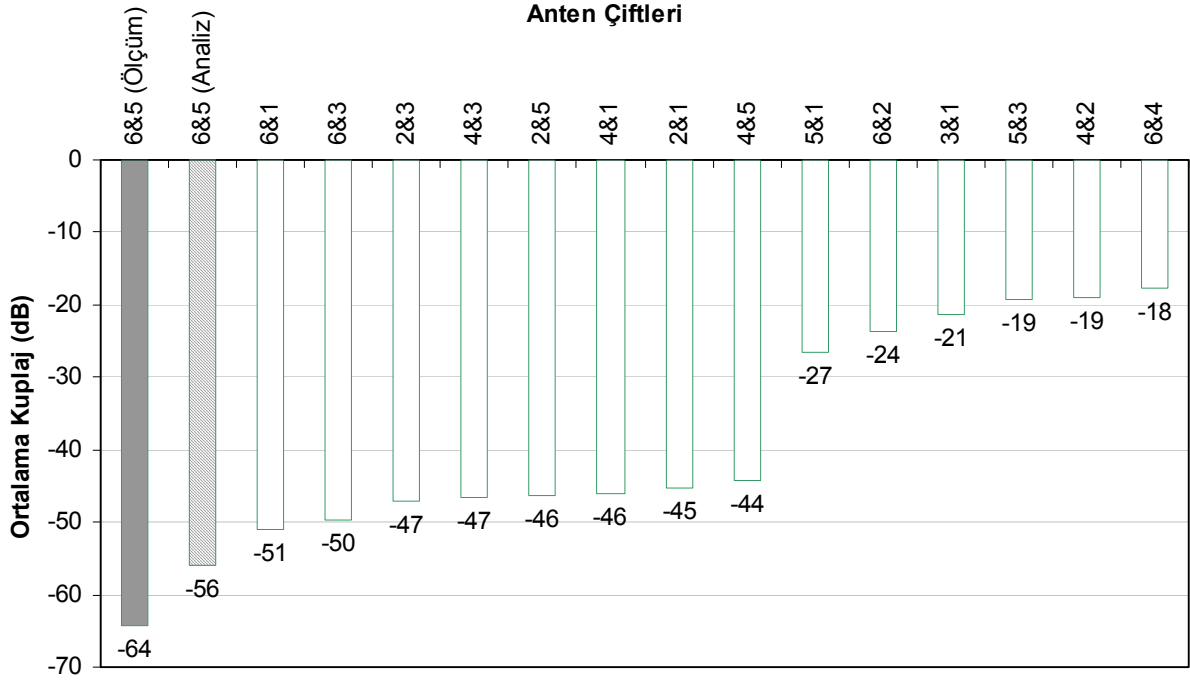
$$ML_1 = 10 \cdot \log(1 - |S_{11}|^2) \quad (11)$$

$$ML_2 = 10 \cdot \log(1 - |S_{22}|^2) \quad (12)$$

$$C = 20 \log |S_{21}| - 10 \log(1 - |S_{11}|^2) - 10 \log(1 - |S_{22}|^2) \quad (13)$$

Şekil 13'ten de görüleceği üzere, sayısal analiz ile bulunan optimum anten pozisyonları diğer pozisyonlara göre ortalama 13 ile 46 dB daha düşük değere sahiptir. Özellikle antenlerin birbirlerinden mümkün olduğunca uzak konumlanması prensibinin, iletken gövdeli bir yapıda fazla etkili olmadığı göze çarpmaktadır.





Şekil 13. Ölçüm ve analiz sonuçlarına göre bütün anten çiftlerin ortalama kuplajları

Anten kuplajlarının sayısal analiz ile karşılaştırıldığı Şekil 12’de ise, uyumsuzluk kaybının anten uzunluğunun dalgaboyunun 1/4’ünden farklı olduğu frekanslarda arttığı göze çarpmaktadır. Ayrıca bu frekanslarda analiz sonuçlarıyla ölçümler arasındaki fark da artmaktadır. Ancak, sayısal analizdeki hedef fonksiyonunun tanımında geçen 70, 140 ve 280 MHz frekanslarına tekabül eden 10 cm’lik anten için 0.7 GHz, 5 cm’lik anten için 1,4 GHz ve 2,5 cm’lik anten için 2,8 GHz frekanslarında ölçüm sonuçları ile sayısal analiz sonuçlarının gayet uyumlu oldukları gözlemlenmektedir.

## Sonuç

Elektromanyetik girişim bir çok alıcı-vericinin bir arada bulunduğu, sınırlı ve iletken ortamlara sahip olan uçak, savaş gemisi vb. ortamlarda ciddi bir problemdir. Bu çalışmada uçak antenleri arasındaki girişim probleminin, antenlerin pozisyonlarını hesaplayan moment yöntemi ve genetik algoritmanın bileşimi olan bir algoritma tarafından minimizasyonu hedeflenmiştir.

Sayısal analizin sonuçları ölçüm yönteminin sonuçları ile kıyaslandığında birbirleriyle uyumlu oldukları gözlemlenmiştir. Genetik algoritmanın

lokal minimumlarda takılmayarak, en iyi sonucu veren global minimum noktasına yakınsadığı görülmüştür.

Memetik algoritmanın daha iyi sonuçlar (Şekil 13, anten çifti 4&3) vermemesi hedef fonksiyonunun çok yüksek oranda süreksizliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda daha yüksek mutasyon oranına sahip genetik algoritmanın sonuçları daha başarılı olmuştur. Bu çalışmanın bir çok elektromanyetik girişim problemlerinde de başarı ile kullanılabilceği değerlendirilmektedir.

## Teşekkür

Çalışmanın deneysel kısmına verilen desteklerden dolayı TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Enstitüsü teşekkürle anılır.

## Kaynaklar

Aydemir M.E., Günel T., Ustuner F, (2005). Genetic approach to the minimization of the coupling between antennas, *AEÜ International Journal of Electronics and Communications, Urban & Fischer Verlag*, (queued for press in January 2006).

- Aydemir M.E., Günel T., (2005). Electromagnetic Interference Suppression between the GPS and IFF antennas on a UAV by Memetic Algorithm, *IKS'2005 2nd International Conference on Intelligent Knowledge Systems*, July 06-08, Istanbul, 145-149.
- Burnside W., Nan W. ve Pelton E., (1980). Near-field pattern analysis of airborne antennas, *Antennas and Propagation*, 28, 318 –327.
- Cooke W. ve Ryan C. Jr., (1980). A GTD computer algorithm for computing the radiation patterns of aircraft-mounted antennas, *Antennas and Propagation Society International Symposium*, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 18, 631 -634.
- Caorsi S., Massa A., Pastorino M., Rafetto M. ve Randazzo A., (2003). Detection of Buried Inhomogeneous Elliptic Cylinders by a Memetic Algorithm, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 51, 2878-2884.
- Duff W.G., (1988). Electromagnetic Compatibility in Telecommunications, *Interference Control Technologies, Inc.* Gainesville, Virginia.
- Givati O. ve Fourie A.P.C., (1994). Radiation patterns of antennas mounted on a modified mirage aircraft, *AP-S. Digest*, 2, 1158 –1161.
- Günel T. ve Kent S., (1998). An optimization approach for the synthesis of microstrip radial stub, *AEÜ International Journal of Electronics and Communications*, 52, 337-340.
- Günel T ve Kent S., (1997). Dielectric permittivity estimation of cylindrical objects using genetic algorithm, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 32, 109-113
- Günel T., (2000). An optimization approach to the synthesis of rectangular microstrip antenna elements with thick substrates for the specified far-field radiation pattern, *AEÜ International Journal of Electronics and Communications*, 54, 303-306.
- Günel T., Aydemir M.E., (2002). Application of Continuous Parameter Genetic Algorithm to the problem of Synthesizing Bandpass Distributed Amplifiers, *AEÜ International Journal of Electronics and Communications*, Urban & Fischer Verlag, 56, 5, 351-354.
- Günel T., Aydemir M.E., Karakuş G., (2001). Application of genetic algorithms to the synthesis of transmission lines for monolithic microwave integrated circuits, *ELECO'2001 Second International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, Bursa, 231-235.
- Günel T., Kent S., Aydemir M.E., Kargın S., (2002). Genetik algoritma ile yüksek mertebeden tomografik görüntüleme, *SIU'2002 10. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Denizli, 818-823.
- Harrington, R.F., (1968). *Field Computation by Moment Methods*, MacMillan, New York
- Haupt R.L., Haupt S.E., (1998). Practical genetic algorithms, *Wiley*.
- Holland J. H., (1992). *Genetic Algorithms*, Scientific American, 44-50.
- Lee K., Marin L., (1976). Broadband response of aircraft antennas, *Antennas and Propagation Society International Symposium*, Los Angeles, USA, 14, 78 –79.
- Pelton E., Burnside W. ve Wang N., (1978). Analysis for predicting near-field effects of on-aircraft antennas, *Antennas and Propagation Society International Symposium*, Columbus, USA, 16, 81 –84.
- Üstüner F., (2002). Analysis and simulation of antenna coupling on the uh-1 helicopter, *phd thesis*, sakarya university, Adapazarı.
- 
- Rockway J.W., Logan J.C., (2003). Olsen R.G., EMC Applications for Expert MININEC, *EMC Society Newsletter*, Spring.
- URL : [www.militaryaircraft.de](http://www.militaryaircraft.de)