

# İletken Yüzeylerin Geçici Elektromanyetik Tepkisi

Hayriye Elagoz<sup>1</sup>, Adnan Köksal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aselsan A.Ş., Yenimahalle, 06172, Ankara

[elagoz@aselsan.com.tr](mailto:elagoz@aselsan.com.tr)

<sup>2</sup> Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Hacettepe Üniversitesi, 06532, Ankara

[koksal@hacettepe.edu.tr](mailto:koksal@hacettepe.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada, kapalı çözüm yöntemi ve Moment Metodu kullanılarak ve zaman uzamı elektrik alan integral denklemi (ZUID) çözümleri yapılarak, mükemmel iletken iki veya üç boyutlu, gelişigüzel sonlu yapıların geçici elektromanyetik tepkileri bulunmuştur. İletken yüzey üçgenlerle modellenmiş ve darbe genişliği ile yüzeyin modellenmesi için gerekli üçgen sayısı arasındaki ilişki verilmiştir. Kararlı bir çözüm için gereken uygun zaman adımının hesaplanmasında kullanılan yöntem anlatılmış ve uygulanmıştır. Son olarak ilgili benzetim sonuçları verilmiştir.

## 1. Giriş

Birçok radar sisteminde, yüksek menzil çözünürlüğü ve hedef tanıma amacıyla kısa darbe genişliğine sahip işaretler kullanılmaktadır. Ayrıca bazı askeri uygulamalarda, karmaşık yapıların geniş frekans bantlarındaki davranışı hesaplanmaktadır. İletken yüzey üzerinde indüklenen akımın ve akımdan dolayı oluşan saçılan uzak elektrik alanın geniş bir frekans izgesinde, nümerik yöntemler kullanılarak, hesaplanması oldukça zordur. Nümerik açıdan kolaylık sağlaması nedeniyle iletken yüzeyin darbe tepkisi zaman uzamında kısa bir aralıkta hesaplanır.

Rao ve Wilton [1], Gauss düzlem dalgasıyla aydınlatılan, gelişigüzel iletken yapılardan saçılan uzak alanları elde edecek bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde ZUID, iletken yapının üçgenlere bölünmesi, RWG açılım fonksiyonunun kullanılması ve açık çözüm yönteminin uygulanması ile çözülmüştür. Elde edilen uzak alanların, geç zamanlarda kararsız olduğu gözlenmiştir.

Rynne [2], [1]'deki ile benzer bir problemi, aynı yapı modellemesi ve açılım fonksiyonunu kullanarak açık çözüm yöntemiyle çözmüştür. Geliştirilen bu metodda, iletken yapı, gelen dalganın darbe genişliğine göre üçgenlere bölünmektedir. Yüzey akımında geç zamanlarda ortaya çıkan kararsızlıklar, akıma ortalama işlemi uygulanarak kontrol altına alınmıştır.

Manara [3], geç zaman kararsızlıklarının, uygun zaman adımının kullanılması ile giderileceğini belirtmiş ve uygun zaman adımının bulunması için, nümerik testlere ve yaklaşımlara dayanan bir yöntem geliştirmiştir.

Bu çalışmada, kapalı çözüm yöntemi ve Moment Metodu kullanılarak yapılan ZUID çözümleri ile mükemmel iletken iki veya üç boyutlu yapıların geçici elektromanyetik tepkileri bulunmuştur. Hesaplamalar sırasında, yüzeyin uygun modellenmesi için [2]'deki, zaman adımının uygun seçilebilmesi için ise [3]'teki yöntem uygulanmıştır.

## 2. Analiz Yöntemi

Mükemmel iletken, gelişigüzel sonlu yapıların geçici elektromanyetik tepkilerinin hesaplanması için gerekli olan ZUID'nin oluşturulmasında, açık veya kapalı yüzeylere uygulanabilen EİAD (Elektrik Alan İntegral Denklemi) kullanılmıştır [2]. Oluşturulan ZUID bir integro-diferansiyel denklemdir. Moment Metodu (MM) ile integral ve diferansiyel denklemlerin yaklaştırmasının yapılabilmesi mümkün olduğundan ZUID'nin nümerik çözümünde MM kullanılmıştır. Saçıcının anlık darbe tepkisinin bulunması için, ideal anlık darbeye uyarılması nümerik çözümleme için uygun olmadığından Gauss darbesi kullanılmıştır.

Herhangi bir yüzey, üçgenlerle kolayca modellenebileceğinden, yapı yüzeyinin, düzlemsel üçgenlerle bölünmesi iyi bir yaklaşımdır [4] ve MM çözümünde RWG fonksiyonunun kullanımı, üçgenlere bölünmüş yüzeyler için en uygun yöntemdir [5]. Bu nedenle yapı yüzeyleri üçgenlere bölünmüş ve RWG fonksiyonu MM çözümünde açılım ve test fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Yapı yüzeyinin kaç üçgenle modelleneceği ya da üçgenlerin boyutlarının ne olacağına karar vermek, ZUID çözümünün doğruluğu açısından önemlidir. Üçgen sayısının çok az olması hesaplanan tepkinin hatalı bulunmasına, çok fazla olması ise yuvarlama hatasına ve işlem süresinin artmasına sebep olacaktır. Üçgen sayısı  $N$  ile Gauss darbesinin genişliği  $T$  arasında aşağıdaki gibi bir ilişki olmalıdır [2];

$$\frac{196S}{T^2} < N < \frac{256S}{T^2} \quad (1)$$

burada S yapı yüzeyinin alanıdır.

Açık çözüm yönteminde zaman adımı  $\Delta t$ ,  $R_{\min}/c$  'den küçük, kapalı çözüm yönteminde ise büyük seçilir.  $R_{\min}$ , yüzey üzerindeki test noktaları arasındaki en küçük uzaklık ve  $c$  elektromanyetik dalganın boşluktaki hızıdır. Açık çözüm yönteminde  $\Delta t$ 'nin küçük olması iterasyon sayısını arttırdığından ve çözümün kararlı olmamasından dolayı [4] kapalı çözüm yöntemi uygulanmıştır. Ancak, kapalı çözüm yöntemiyle hesaplanan tepkilerin dahi kararsız olma olasılığı mevcuttur. Bu nedenle zaman adımı için başka sınırlamalara gerek vardır.

[3]'te, ZUID çözümünde kararlılığın sağlanabilmesi için,  $\Delta t$ 'in bir alt limit  $\Delta t_{\min}$  ve bir üst limit  $\Delta t_{\max}$  aralığında olması gerektiği belirtilmiş ve bu limitler ile ilgili eşitlikler verilmiştir. Yüzey modellemesine bağlı olarak,  $\Delta t_{\min}$ 'un  $\Delta t_{\max}$ 'dan büyük çıkması mümkündür. Bu durumda, modelleme yeniden gözden geçirilebilir ya da  $\Delta t$  hesaplanan sınır değerlerinden birine yakın seçilebilir.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Genişliği  $T = 4.0\text{LM}$  olan darbe ile aydınlatılan ve kenar uzunluğu  $2\text{m}$  olan iletken kare plakanın modellenmesi için yeterli olan üçgen sayısı, Eş.(1)' e göre, 49 ve 64 aralığındadır. Şekil 1-a'da plaka 60, Şekil 2-a'da ise 112 üçgene bölünmüştür.

İndüklenen akımın hesaplanması için kullanılacak olan uygun zaman adımı  $\Delta t$ 'nin alt ve üst sınırı, [3]'teki yöntem uygulanarak, Şekil 1-a için sırasıyla  $0.4180\text{ LM}$  ve  $0.6829\text{ LM}$ , Şekil 2-a için ise sırasıyla  $0.3051\text{ LM}$  ve  $0.5017\text{ LM}$  bulunmuştur.

60 üçgene bölünmüş plakanın yüzeyinde indüklenen akım,  $\Delta t$ 'nin  $0.21$ ,  $0.42$  ve  $0.7\text{ LM}$  değerleri için hesaplanmıştır. Plaka merkezinde indüklenen akımın, x yönündeki bileşeninin zamana göre değişimi Şekil 1-b'de verilmiştir.

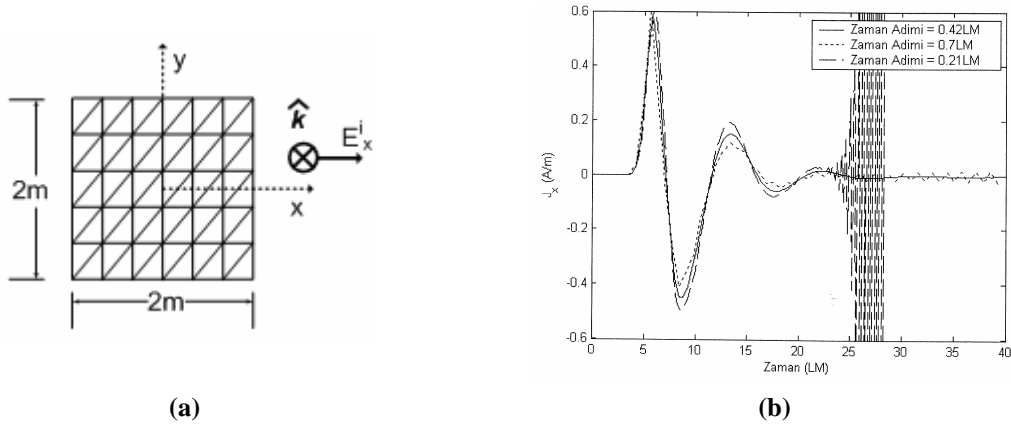
112 üçgene bölünmüş plakanın yüzeyinde indüklenen akım ise  $\Delta t$ 'nin  $0.165$ ,  $0.332$  ve  $0.66\text{ LM}$  değerleri için hesaplanmıştır. Plaka merkezinde indüklenen akımın, x yönündeki bileşeninin zamana göre değişimi Şekil 2-b'de verilmiştir.  $\Delta t$ 'nin, alt ve üst limitler dahilinde seçildiği durumda akımın kararlı olduğu ve limitler dışındaki değerleri için akımın kararlı olmadığı gözlenmiştir.

Şekil 3'te plakanın 60 ve 112 üçgene bölündüğü durumlarda elde edilen kararlı akımların karşılaştırması verilmiştir. Her iki modelleme için, hesaplanan akım değerinin birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Yapı yüzeyinin hesaplanan uygun üçgen sayısı aralığının çok üzerinde bir üçgenle modellenmesi akım değerinin daha hassas hesaplanmasını sağlamamakla birlikte işlem süresini artırmaktadır.

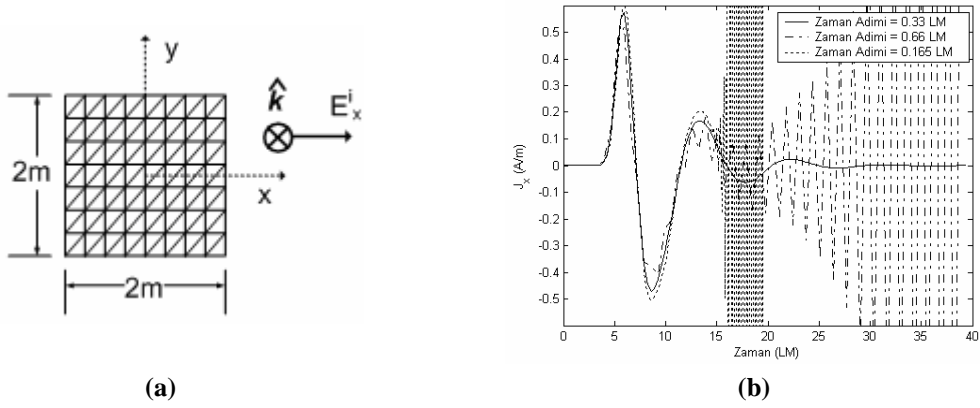
Anlatılan yöntemler, herhangi bir mükemmel iletken iki veya üç boyutlu gelişigüzel sonlu yapıya uygulanabilmektedir. Zaman adımının alt limitinin üst limitinden büyük hesaplanması durumunda elde edilen tepkinin kararsız olduğu gözlenmiştir. Son olarak, yapıyı yeterli sayıdan fazla miktarda üçgenle modellemek daha erken zamanlarda kararsızlığa yol açmaktadır.

### Kaynaklar

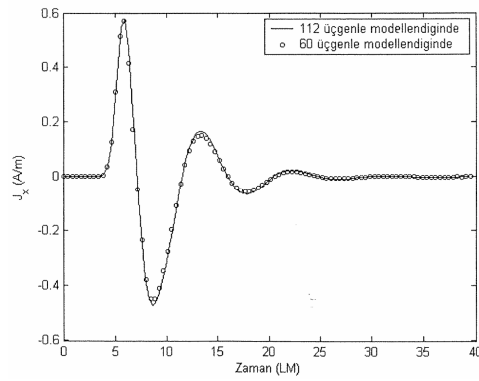
- [1] S. M. Rao, D. R. Wilton, "Transient Scattering by Conducting Surfaces of Arbitrary Shape," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Cilt. 39, s. 56-61, 1991
- [2] B. P. Rynne, "Time Domain Scattering from Arbitrary Surfaces Using the Electric Field Integral Equation," *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Cilt. 5, No. 1, s. 93-112, 1991
- [3] G. Manara, A. Monorchio, R. Reggiannini, "A Space-Time Discretization Criterion for a Stable Time-Marching Solution of the Electric Field Integral Equation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 45, No. 3, s. 527-532, 1997
- [4] S. M. Rao, *Time Domain Electromagnetics*, Londra, Academic Press, 1999.
- [5] S. M. Rao, D. R. Wilton, A. W. Glisson, "Electromagnetic Scattering by Surfaces of Arbitrary Shape," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Cilt. Ap-30, No. 3, s. 409-418, 1982



Şekil 1: (a) Kenar uzunluğu 2m olan 60 üçgenle modellenmiş iletken kare plaka, (b) plakanın merkezinde indüklenen yüzey akımının x-bileşeni.



Şekil 2: (a) Kenar uzunluğu 2m olan 112 üçgenle modellenmiş iletken kare plaka, (b) plakanın merkezinde indüklenen yüzey akımının x-bileşeni.



Şekil 3: Kenar uzunluğu 2m olan iletken plaka 60 ve 112 üçgenle modellendiğinde, hesaplanan kararlı akım değerlerinin karşılaştırılması.