

Antenler Arası Etkileşimlerin Eşdeğerlik İlkesiyle Hesaplanması

Sinan Köksoy, Alper Kürşat Öztürk
ASELSAN A.Ş. Radar, Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri Grubu
Anten Teknolojileri Müdürlüğü
Ankara
skoksoy@aselsan.com.tr, akozturk@aselsan.com.tr

Özet: Bu bildiride iki anten arası etkileşimlerin verimli bir biçimde hesaplanabilmesi için geliştirilen bir yöntem işlenmiştir. Etkileşim analizleri için doğrudan yapılan üç boyutlu elektromanyetik benzetimler, uzun analiz sürelerine ve yüksek RAM bellek gereksinimine yol açmaktadır. Bu çalışma kapsamında, eşdeğerlik ilkesi kullanılarak geliştirilen bir yöntemle, orijinal etkileşim problemi gönderme, yayılım ve alma olgularını içeren alt problemlere ayrılarak çözülmüştür. Bu sayede her iki antenin de içinde bulunduğu büyük bir geometri yerine sadece gönderme ve alma antenleri içeren daha küçük boyutlu geometriler dâhilinde çözüm yapılmakta, antenler arası etkileşim hesaplamalarının nispeten kısıtlı donanımlar üzerinde bile hassas bir biçimde yapılabilmesi sağlanmaktadır.

1. Giriş

Bir sistemde bulunan farklı antenler arasındaki etkileşimlerin hesaplanabilmesi, anten yerleşimi çalışmaları açısından büyük önem arz etmektedir. Anten yerleşimlerinin doğru yapılmaması durumunda elektromanyetik girişim etkilerinden dolayı sistem işleyişi olumsuz etkilenebilir, hatta yüksek güçten ötürü bazı bileşenlerin kalıcı zarar görmesi bile söz konusu olabilir. Antenler arası etkileşim analizleri verimli bir biçimde yapılabilirdiği takdirde, farklı konumlandırma senaryolarının değerlendirilebilmesi ve böylelikle sistemin kendi içinde elektromanyetik uyumluluğunun sağlanabilmesi yolunda çözüm alternatiflerinin artırılması mümkün olacaktır.

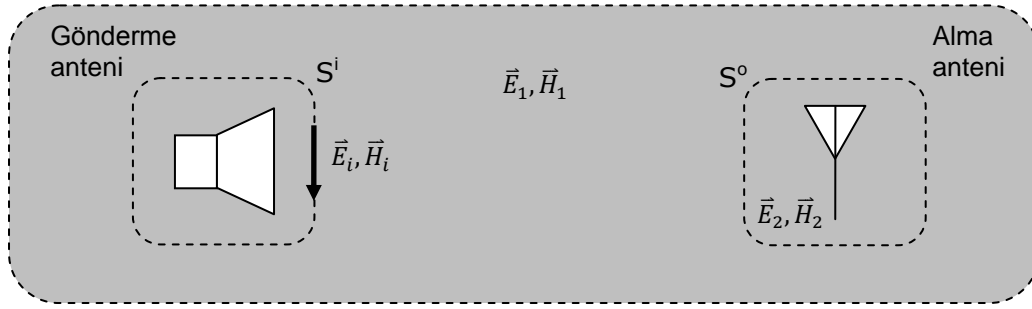
Anten etkileşimi analizlerinin, çeşitli yaklaşımlarla gerçekleştirilmesi mümkündür. İki antenin birbirlerinin uzak alanı içinde bulunduğu durumlarda Friis iletim denklemi [1] kullanılabilir, fakat antenlerin daha yakın konumlandırılması durumunda hesaplama hassasiyetinin yetersiz kalabileceği öngörülmektedir. Öte yandan, iki anteni de içeren tüm geometriyi temsil eden nümerik modelin elektriksel olarak çok yüksek boyutlara çıkabilmesi söz konusudur.

Karmaşık yapıdaki antenlerin hassas bir biçimde modellenmesine olanak sağlayan ve üç boyutlu geometrinin küçük hacimli parçalara bölerek hesaplanması esasına dayalı olan (FDTD, FIT, FEM vb.) yöntemlerin kullanılması halinde, etkileşim hesapları hem bilinmeyen sayısının yüksek olması nedeniyle yüksek miktarda RAM belleğe sahip donanımlara gereksinim duyulmaktadır. Buna ek olarak, problemin yüksek doğrulukla çözülüp çözülmediğine işaret eden yakınsama ölçütleri incelendiğinde, özellikle çok düşük düzeydeki etkileşimlerin gözden kaçırılmaması için, sadece anten benzetimlerinin yapıldığı durumlara göre çok daha hassas modelleme yapılması önem arz etmektedir. Bunun için birçok farklı model üzerinde yakınsama sağlanana dek uzun süreli nümerik deneyler yapılması gerekebilir.

Bu çalışma kapsamında, anten etkileşim problemlerinin verimli olarak hesaplanabilmesi için, eşdeğerlik ilkesinden yola çıkarak ana problemi boş uzayda ışıma yapan eşdeğer akım dağılımlarının etkileşimine indirgenmesi üzerine kurulu ve nümerik çözüm yönteminden bağımsız bir teknik işlenmiştir. Bu bağlamda, öncelikle kuramsal altyapı anlatılmış, daha sonra hesaplama sırasında yapılan işlemler ayrıntılı olarak açıklanmış ve son olarak önerilen tekniğin uygulandığı bir problemin sonuçları incelenmiştir.

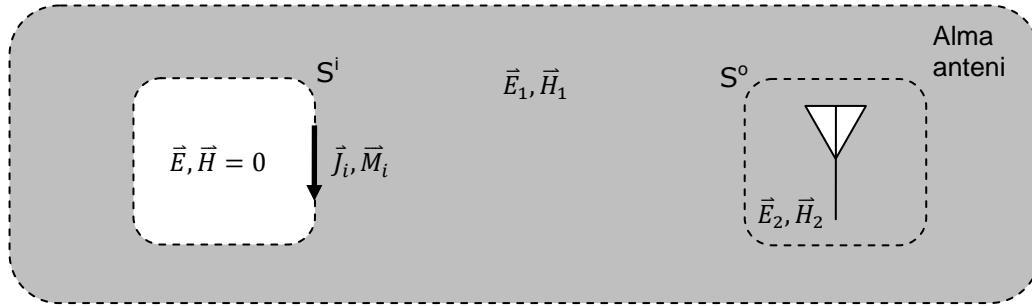
2. Eşdeğerlik İlkesi Formülasyonu

Şekil 1’de, bir gönderme ve bir alma anteninin bulunduğu orijinal etkileşim problemi gösterilmiştir. Orijinal problemde gönderme anteninden yayılıp, alma anteninden saçıldıktan sonra geri dönerek gönderme anteninin yaptığı ışımayı etkileyen ikincil ve daha yüksek seviyeden etkileşimlerin ihmal edilebilir boyutlarda olması halinde, sadece gönderme antenini çevreleyen hayali bir S^1 yüzeyi üzerinde oluşan elektrik ve manyetik alanların, alma anteninin yokluğunda değişmeyeceği varsayılabilir. Bu şekilde gönderme anteninin, S^1 yüzeyi içinde kalan (veya kullanılan yöntemle bağlı olarak hafifçe aşan) bir hacim içerisinde tek başına benzetiminin veya ölçümünün yapılarak hızlı bir biçimde karakterize edilmesi mümkündür.



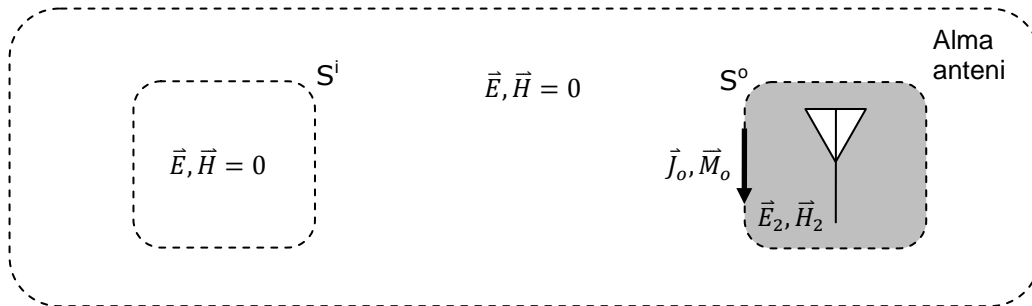
Şekil 1. Orijinal etkileşim problemi.

S^i yüzeyi üzerinde kaydedilen elektrik ve manyetik alanlar kullanılarak, eşdeğerlik ilkesi [1,2] uyarınca yine S^i yüzeyi üzerinde akan eşdeğer elektrik ve manyetik akım yoğunlukları \vec{J}_i ve \vec{M}_i hesaplanabilir. Bu durumda S^i yüzeyi dışında kalan uzayda, eşdeğer problem Şekil 2’de gösterildiği gibi olacak, dolayısıyla \vec{J}_i ve \vec{M}_i akım dağılımlarının sebep olduğu ışıma, gönderme anteniyle aynı elektromanyetik alan değerlerini verecektir.



Şekil 2. S^i yüzeyi dışındaki eşdeğer problem.

Bir sonraki aşamada, gönderme anteninden elde edilen eşdeğer modeldeki \vec{J}_i ve \vec{M}_i akımlarının yaptığı ışıma sonucu, bu sefer sadece alma antenini içeren hayali bir S^o yüzeyi üzerinde oluşacak elektromanyetik alanlar ve eşdeğer akım dağılımları \vec{J}_o ve \vec{M}_o serbest uzaydaki Green fonksiyonu kullanılarak hesaplanabilir. Böylelikle S^o yüzeyi içinde kalan ve alma antenini içeren bölgede, eşdeğer problem Şekil 3’te gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 3. S^o yüzeyi içindeki eşdeğer problem.

Son aşamada \vec{J}_o ve \vec{M}_o eşdeğer akımlarının ışıma kaynağı olarak kullanıldığı ve sadece S^o yüzeyi içerisinde kalan hacmin modellenmesinin yeterli olduğu bir elektromanyetik benzetim yapılarak, alma anteninin maruz kaldığı güç değerleri ve dolayısıyla etkileşim düzeyi (kuplaj) hesaplanabilir.

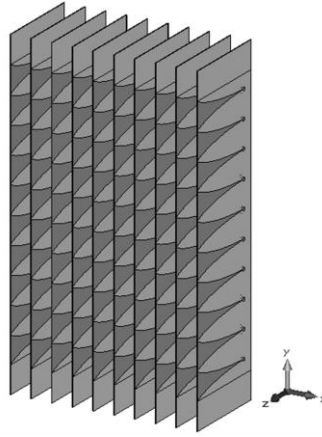
Yukarıda ayrıntılarıyla tarif edilen yöntemin aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Gönderme: Gönderme antenini içeren bir yüzey üzerindeki elektrik ve manyetik alanlar, ölçüm veya elektromanyetik benzetim yoluyla bulunarak kaydedilir.
- Yayılım: İlk aşamada bulunan elektromanyetik alanlardan eşdeğer kaynak modeli bulunur, bundan yapılan ışıma sonucu alma antenini içeren bir yüzey üzerinde oluşan elektromanyetik alanlar hesaplanır.
- Alma: İkinci aşamada hesaplanan elektromanyetik alanlar ışıma kaynağı olarak kullanılarak alma anteni tarafından alınan güç hesaplanır ve böylelikle iki anten arasındaki etkileşim düzeyi bulunur.

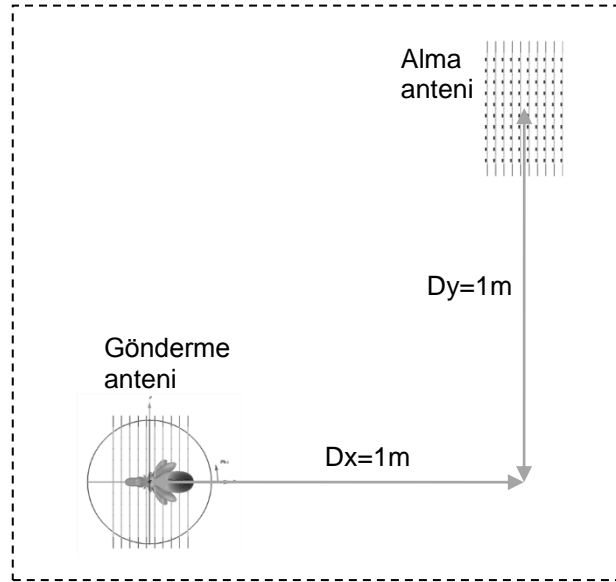
Önerilen yöntemin yayılım olgusunu içeren kısmında antenlerin dışında kalan uzayda saçılıma neden olacak herhangi başka bir nesnenin bulunmadığı durum ele alınmıştır. Fakat yine gönderme anteninin ikinci ve daha yüksek dereceden geri yansılardan etkilenmediği varsayımının geçerli olduğu durumlarda, gönderme anteninin eşdeğer modelini teşkil eden noktasal dipol momentlerinin yaptığı ışımanın, Moment Yöntemi veya benzeri bir teknikle bir veya daha fazla nesne üzerinden saçılımının da dikkate alınarak yayılım olgusunun modellenmesi mümkündür. Bu şekilde örneğin iki anten arasına bloklayıcı nesneler konularak girişim azaltımı çalışmaları yapılabilir.

3. Sonuçlar

Eşdeğerlik ilkesine dayalı anten etkileşimi hesaplama yönteminin doğrulanması için Şekil 4'te gösterilen 10x10 elemanlı, dikdörtgen dizilişli düzlemsel Vivaldi anten dizisinin kullanıldığı bir örnek durum incelenmiştir. Dikey polarizasyonda yayın yapan bu dizi, yüksek sayıda eleman içermesi, geniş bantta çalışması ve geniş açılarda tarama yapabilmesiyle elektromanyetik modelleme karmaşıklığı açısından çok yönlü bir problem teşkil ettiğinden dolayı yöntemin doğrulanmasına uygun bir örnek olarak seçilmiştir.



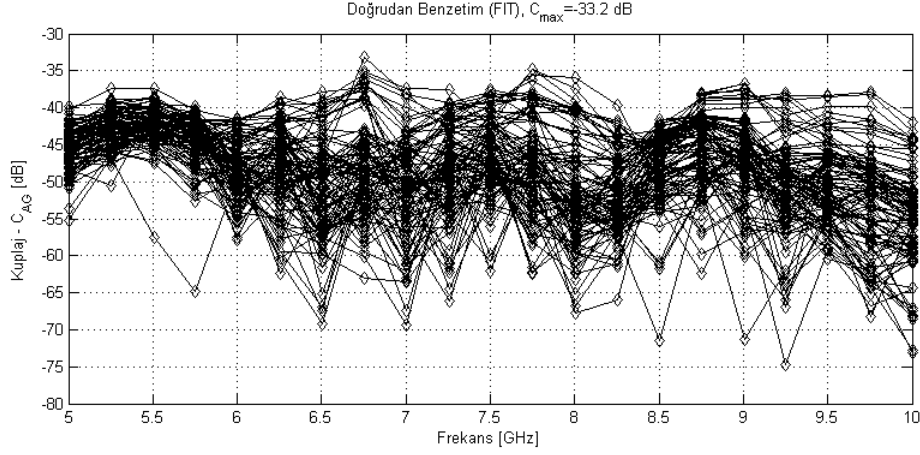
Şekil 4. Gönderme ve alma anteni olarak kullanılan Vivaldi dizisi.



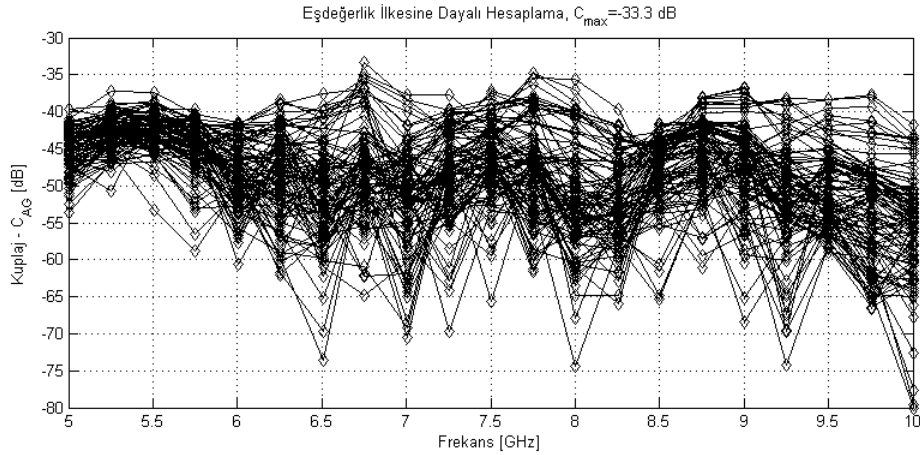
Şekil 5. Gönderme ve alma anten dizilerinin örnek yerleşimi.

Örnek problemde gönderme ve alma aşamalarının benzer karmaşıklık düzeyinde olması açısından aynı anten yapısı hem gönderme, hem alma anteni olarak kullanılmıştır. Şekil 5'te gösterildiği gibi alma anteni, gönderme anteninden $Dx=1m$, $Dy=1m$ öteye yerleştirilmiş ve gönderme anten dizisinin yatayda 40° tarama yaptığı durumda alma anteni dizisinin her bir elemanının çıkışında gözlenen kuplaj değerleri hesaplanmıştır.

Şekil 6’da doğrudan benzetim sonuçları, Şekil 7’de ise eşdeğerlik yöntemiyle elde edilen sonuçlar verilmiştir. İki çözüm karşılaştırıldığında genel karakteristiğin oldukça benzer olduğu ve önerilen yöntem sayesinde maruz kalınan en yüksek gücün de yüksek hassasiyette hesaplanabildiği görülmektedir. Bu örnekte, doğrudan çözümde gereken RAM bellek miktarı 28 GB iken, önerilen yöntemle sadece 8 GB RAM bellek yeterli olmaktadır. Ayrıca antenlerin birbirlerinden daha da uzak konumlandırılması durumunda, doğrudan çözümde bellek ihtiyacı orantılı olarak artacaktır, oysaki eşdeğerlik yönteminin bellek gereksinimi konumlandırmadan bağımsız olarak sabit kalacaktır.



Şekil 6. Doğrudan çözümle elde edilen kuplaj değerleri. (RAM kullanımı: 28 GB)



Şekil 7. Eşdeğerlik yöntemiyle elde edilen kuplaj değerleri. (RAM kullanımı: 8 GB)

4. Değerlendirme

Antenler arası etkileşimlerin verimli bir biçimde hesaplanabilmesi için, eşdeğerlik ilkesine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde etkileşimin gönderme, yayılma ve alma olguları ayrı ayrı ele alınarak çözülmekte, bu şekilde ana problemde mesafeye bağlı olarak büyüyen geometri yerine boyutları gönderme ve alma antenleri tarafından belirlenen daha küçük geometrilerin çözülmesi yeterli olmaktadır. Yöntem karmaşık bir anten dizisi örneği üzerinde doğrulanmış, sonuçların oldukça tutarlı olduğu görülmüştür. Böylelikle nispeten kısıtlı RAM belleğe sahip donanımlar üzerinde bile etkileşim analizlerinin yüksek bir doğruluk düzeyinde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Bu sayede, donanım sınırlamaları nedeniyle daha önce çözülemeyen birçok problemin standart konfigürasyonlu donanımlar üzerinde verimli bir biçimde çözülmesi sağlanmıştır.

Kaynaklar

- [1]. C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [2]. C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, New York, 1989.