

Adaların Varlığı Halinde Yer Dalgası Yayılımı *

Burak Polat

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü,
P.K. 21, 41470, Gebze, Kocaeli

polat@btae.mam.gov.tr

Özet: Bu çalışmada, yayılma doğrultusu üzerinde bir veya birden fazla adanın bulunması halinde yer dalgası zayıflaması elektromagnetik kompanzasyon teoremi kullanılarak formüle edilmiş, zayıflama miktarının 3-30MHz aralığında çalışma frekansına, adaların verici ve alıcı antenlere göre konumlarına, fiziksel ve geometrik parametrelerine bağlı değişimleri sayısal olarak sunulmuştur ve yorumlanmıştır. Formülasyonda, adaların zayıf saçıcı (yani deniz ve ada yüzeylerine ilişkin normalize empedansların farkının çok küçük), dairesel kesitli ve empedans ile yükseklik profillerinin dönел simetriye sahip olduğu ve yükseklik fonksiyonunun yavaş değişim gösterdikleri kabulleri yapılmıştır.

1. Giriş

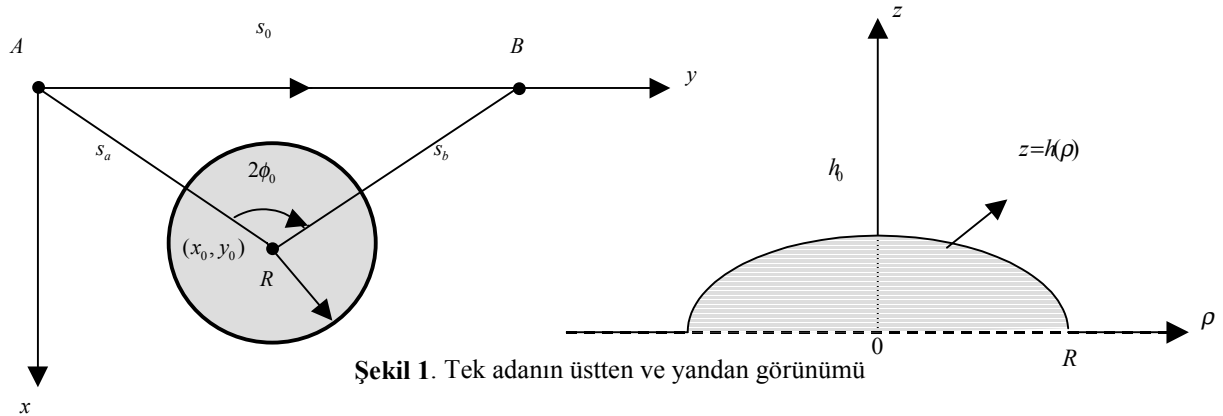
Yer dalgalarının deniz üzerinde boyutları çalışma dalga boyuna göre ihmal edilemeyecek üç boyutlu ve amorf arazi şekillerinden (adalardan) saçılımı probleminin en genel formülasyonu Wait tarafından verilmiştir[1]. Wait, ilgili çalışmasında elektromagnetik kompanzasyon teoremi yardımıyla bir adanın varlığı halinde alıcı ve verici anten sistemlerinin ortak empedansındaki değişim miktarını, adanın zayıf saçıcı (yani deniz ve ada yüzeylerine ilişkin normalize empedansların farkının çok küçük), dairesel kesitli ve empedans ile yükseklik profillerinin dönел simetriye sahip olduğu ve yükseklik fonksiyonunun yavaş değişim gösterdikleri kabulleri altında analitik olarak uzak alan için vermiş, ancak herhangi bir sayısal çözüm sunmamıştır. Formülasyon, yeryüzünün eğriliğini ve iyonosferden gelen yansımaları da içine alınabilecek şekilde genişletilmeye uygundur. Kullanılan kısıtlamaların sayısı çok olarak görülebilse de hemen hepsi doğada genellikle kendiliğinden sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, Wait'in sunduğu teknik esas alınarak, yayılma doğrultusu üzerinde bir veya birden fazla adanın bulunması halinde yer dalgası zayıflaması formüle edilmiş, zayıflama miktarının, 3-30MHz aralığında çalışma frekansına, adaların verici ve alıcı antenlere göre konumlarına, fiziksel ve geometrik parametrelerine bağlı değişimleri sayısal olarak sunulmuş ve yorumlanmıştır. Formülasyonlarda adaların yükseklik ve empedans profilleri ikinci dereceden polinomlar şeklinde alınmıştır, ancak ada yapılarını daha yaklaşık bir şekilde modelleyebilmek üzere daha yüksek dereceler (veya çoğunlukla sayısal olarak hesaplanmak üzere üstel değişimli profiller) kolaylıkla uygulanabilir.

2. Formülasyon

Verici ve alıcı düşey polarize antenler deniz üzerinde A ve B noktalarında konumlanmış olsun (bkz. Şekil 1.).

(x_0, y_0) merkezli ve R yarıçaplı bir adanın varlığı halinde ve $|\tilde{\Delta}(\xi)| \ll 1$, $|\tilde{s}(\xi)| \ll 1$, $s_a, s_b \gg R$ koşulları altında yer dalgası zayıflamasındaki değişim



Şekil 1. Tek adanın üstten ve yandan görünümü

* Bu çalışma Dz.K.K. 'lığı Araştırma Merkezi Komutanlığı (ARMERKOM) tarafından desteklenmiştir.

$$\bar{W}(s_0) = 1 + G(\phi_0) \frac{[W(s_a)/ks_a][W(s_b)/ks_b]}{[W(s_0)/ks_0]} \exp[-jk(s_a + s_b - s_0)] \quad (1)$$

şeklinde elde edilir. Burada k , boş uzay dalga sayısı, W , açık ifadesi yazında iyi bilinen Sommerfeld zayıflama faktörü, $G = P \cos(2\phi_0) + Q \cos(\phi_0)$ adanın “saçılma fonksiyonu”dur (bkz. Tablo 1-3). Birden fazla adanın varlığı halinde ise toplamsallık ilkesi geçerlidir:

$$\bar{W}(s_0) = 1 + \sum_{i=1}^N G_i(\phi_i) \frac{[W(s_{ia})/ks_{ia}][W(s_{ib})/ks_{ib}]}{[W(s_0)/ks_0]} \exp[-jk(s_{ia} + s_{ib} - s_0)] \quad (2)$$

| frekans | deniz $ \Delta_d $ | toprak $ \Delta_y $ | $\Delta_0 = \Delta_d - \Delta_y $ |
|---------|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| 3 kHz | $2.04 \cdot 10^{-4}$ | $1.29 \cdot 10^{-2}$ | $1.27 \cdot 10^{-2}$ |
| 30 kHz | $6.45 \cdot 10^{-4}$ | $4.08 \cdot 10^{-2}$ | $4.01 \cdot 10^{-2}$ |
| 300 kHz | $2.04 \cdot 10^{-3}$ | $1.26 \cdot 10^{-1}$ | $1.24 \cdot 10^{-1}$ |
| 3 MHz | $6.45 \cdot 10^{-3}$ | $2.41 \cdot 10^{-1}$ | $2.36 \cdot 10^{-1}$ |
| 30 MHz | $2.04 \cdot 10^{-2}$ | $2.49 \cdot 10^{-1}$ | $2.34 \cdot 10^{-1}$ |

Tablo 1. Normalize yüzey empedanslarının frekans ile değişimi (deniz için $\epsilon_r=70$, $\sigma=5$ S/m, toprak için $\epsilon_r=15$, $\sigma=10^{-3}$ S/m)

| $\tilde{\Delta}(\xi) \quad \xi \in [0, kR]$ | $P = j \int_0^{kR} \tilde{\Delta}(\xi) J_0(2\xi \cos \phi_0) \xi d\xi$ | $P \quad (kR \ll 1)$ | $G(\phi_0 = \pi/2)$ |
|---|--|------------------------|-------------------------|
| Δ_0 | $j\Delta_0 kR \frac{J_1(2kR \cos \phi_0)}{2 \cos \phi_0}$ | $j\Delta_0 (kR)^2 / 2$ | $-j\Delta_0 (kR)^2 / 2$ |
| $\Delta_0 [1 - \xi^2 / (kR)^2]$ | $j\Delta_0 kR \frac{J_2(2kR \cos \phi_0)}{2 \cos^2 \phi_0}$ | $j\Delta_0 (kR)^2 / 4$ | $-j\Delta_0 (kR)^2 / 4$ |

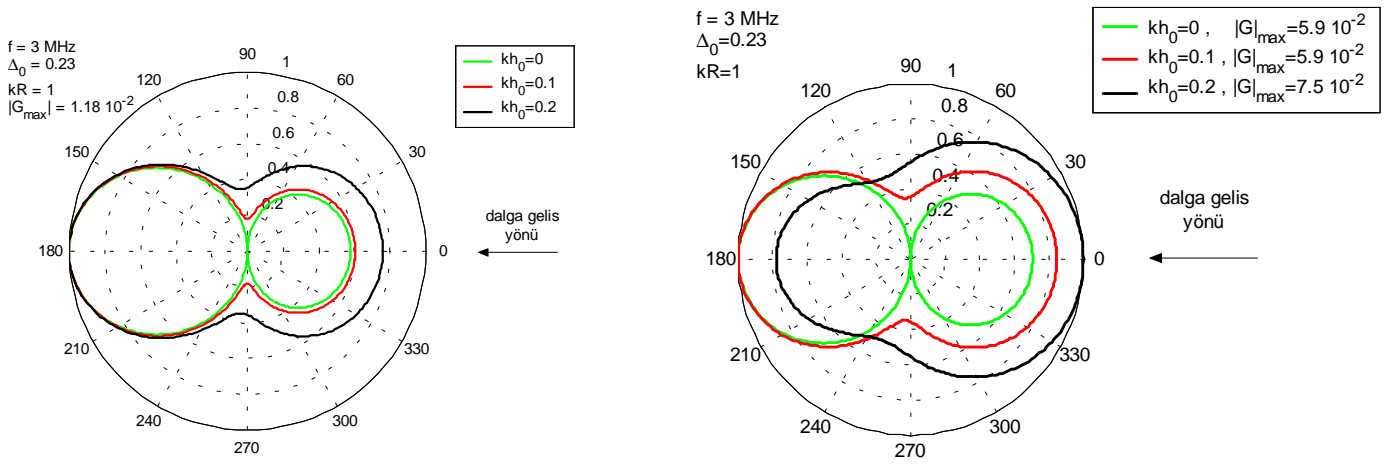
Tablo 2. Normalize yüzey empedanslarının sabit ve parabolik değişimli alındığı durumlar

| $\tilde{h}(\xi) \quad \xi \in [0, kR]$ | $\tilde{s}(\xi) = \frac{d\tilde{h}}{d\xi}$ | $ \tilde{s}(\xi) _{\max}$ | $Q = - \int_0^{kR} \tilde{s}(\xi) J_1(2\xi \cos \phi_0) \xi d\xi$ | $Q \quad (kR \ll 1)$ |
|--|--|---------------------------|---|-------------------------------------|
| $kh_0 [1 - \xi^2 / (kR)^2]$ | $-2kh_0 \xi / (kR)^2$ | $2kh_0 / (kR)$ | $kh_0 \frac{J_2(2kR \cos \phi_0)}{\cos \phi_0}$ | $\frac{kh_0}{2} (kR)^2 \cos \phi_0$ |

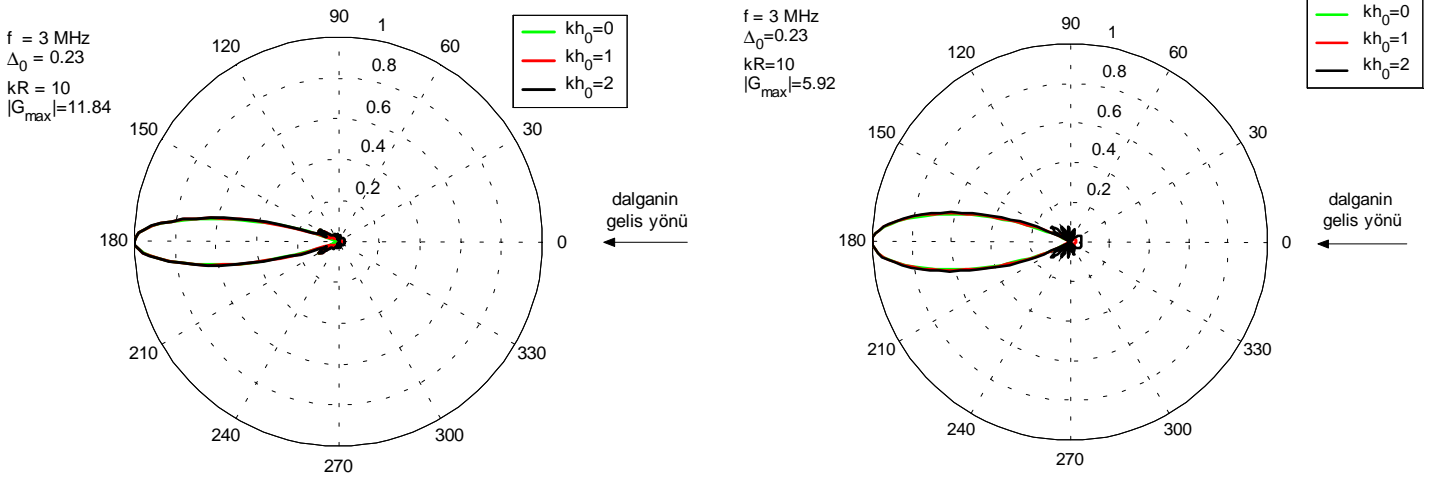
Tablo 3. Yükseklik profilinin parabolik değişimli alındığı durum

3. Yorumlar

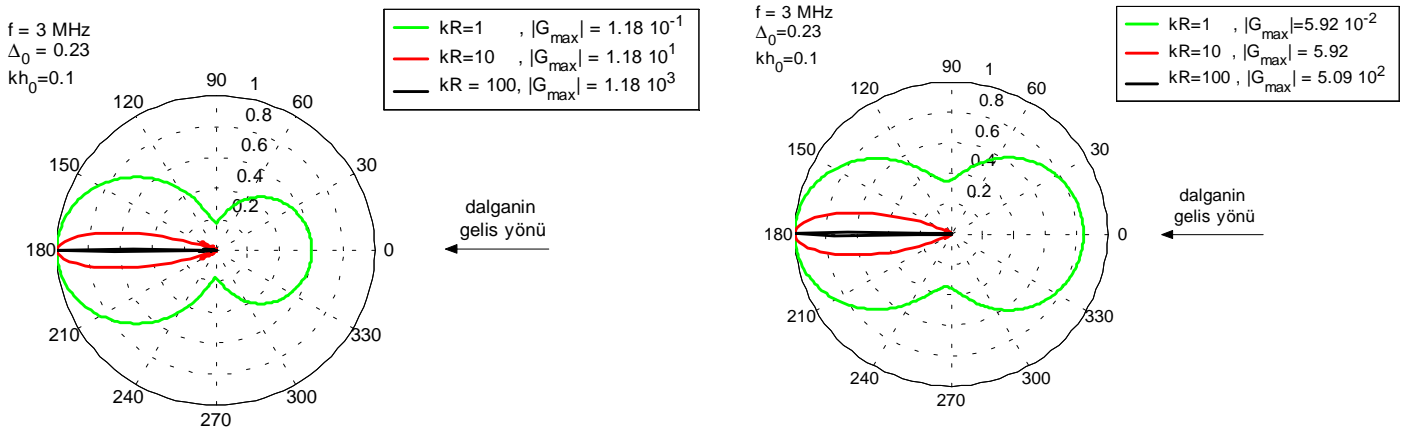
Analizler, grafik sonuçlardan da kısmen görülebileceği üzere, adanın (elektriksel) tepe yüksekliğindeki (kh_0) değişimlerin $|G|$ saçılma diyagramında sadece $kR \in (0.1, 1)$ için gözle görünebilir bir değişim meydana getirdiğini göstermiştir. $kR > 1$ için G 'nin doğrultuculuk özelliğinin kR ile çok hızlı olarak arttığı, yani adanın, üzerine gelen enerjiyi bir mercek gibi arka tarafına aktardığı ve bu durumun adanın arka tarafında yer dalgası zayıflamasını azaltıcı bir etki yaptığı görülmektedir. Buradan da, adanın üzerinden geçmeyen doğrultular boyunca ($|x_0| > R$) adaların yer dalgası zayıflamasına herhangi bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır. Bu mekanizmada formülasyonda kullanılan düşük contrast kabulünün ($|\Delta_0| \ll 1$ Born yaklaşımı) rolü etkindir ve Tablo 1'den de görülebileceği üzere bu yaklaşıklık HF bandının üst sınırına kadar geçerliliğini koruyabilmektedir. Yayılım doğrultusu üzerinde birden fazla adanın varlığı halinde ise yer dalgası zayıflaması mekanizması adaların arasındaki karmaşık etkileşim nedeniyle çok daha farklıdır. Ancak frekans arttıkça adaların varlığının etkisini kaybetmeye başladığı gözlemlenmektedir.



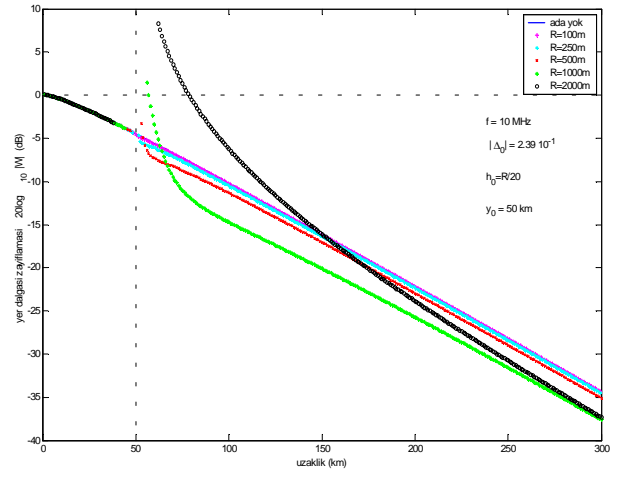
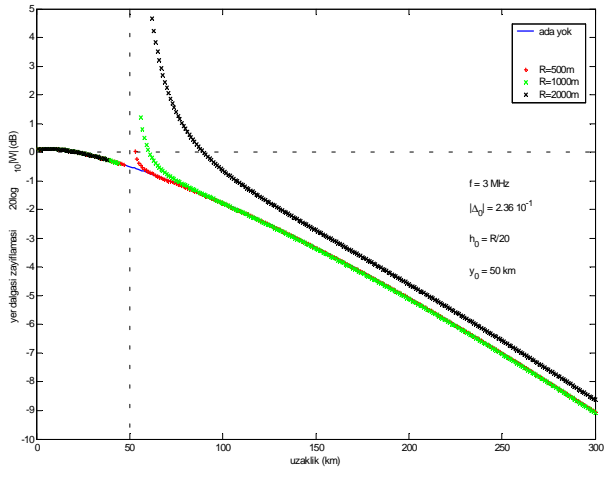
Şekil 2. $|G|$ saçılma fonksiyonunun adanın tepe yüksekliği ile değişimi
 (a. sabit empedans – parabolik profil b. parabolik empedans – parabolik profil)



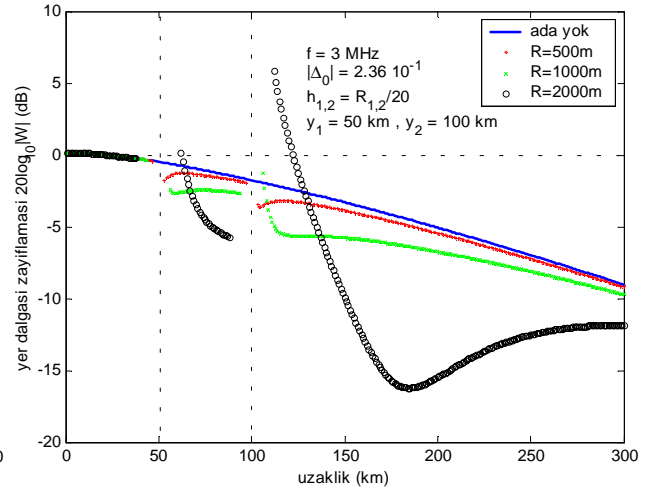
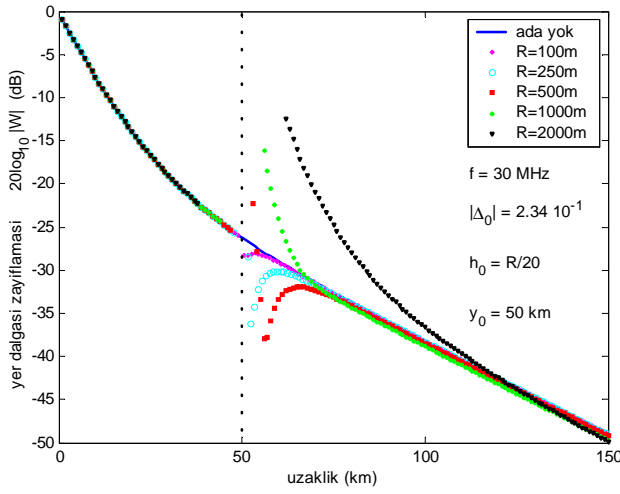
Şekil 3. $|G|$ saçılma fonksiyonunun adanın tepe yüksekliği ile değişimi
 (a. sabit empedans – parabolik profil b. parabolik empedans – parabolik profil)



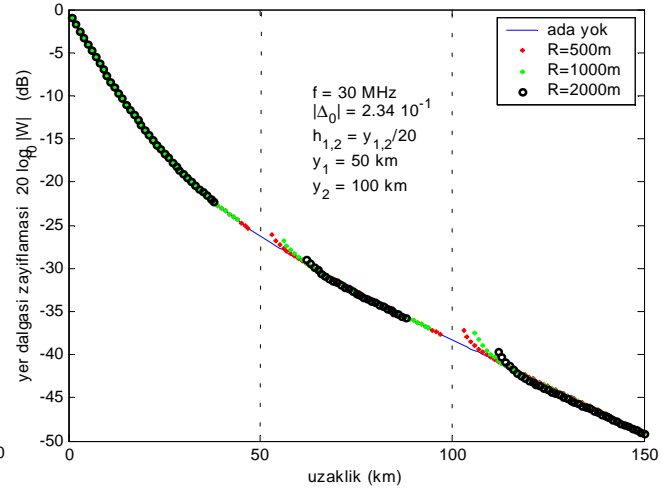
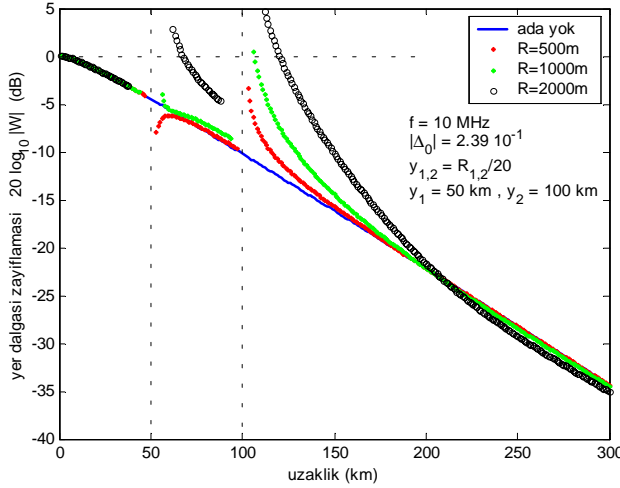
Şekil 4. $|G|$ saçılma fonksiyonunun adanın yarıçapı ile değişimi
 (a. sabit empedans – parabolik profil b. parabolik empedans – parabolik profil)



Şekil 5. Yer dalgası zayıflaması (a. $f = 3\text{MHz}$ – tek ada b. $f = 10\text{MHz}$ – tek ada)



Şekil 6. Yer dalgası zayıflaması (a. $f = 30\text{MHz}$ – tek ada b. $f = 3\text{MHz}$ – çift ada)



Şekil 7. Yer dalgası zayıflaması (a. $f = 10\text{MHz}$ – çift ada b. $f = 30\text{MHz}$ – çift ada)

Kaynaklar

- [1] J.R. Wait, "Low frequency electromagnetic scattering from an island", IEEE Trans. on Antennas and Propagat., cilt 40, no.4, sy.439-442, Nisan 1992.