

## BİTKİ ÖRTÜLÜ ORTAMLARDA RF PROPAGASYONUNUN İNCELENMESİ

Ahmet Y. TEŞNELİ

*Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Esentepe Kampüsü 54050, Adapazarı, Türkiye*

**Özet-** Bu çalışma bir orman için radyo frekansı (RF) propagasyon modelini tanımlamaktadır. Orman koherent dalgalarından çok koherent olmayan dalgaların egemen olduğu ayrık metot kullanılarak modellenmiştir. Ağaç gövdeleri, dalları ve iğneleri rasgele yönelmiş, kayıplı dielektrik silindirler olarak karakterize edilmiştir. Yapraklar ise dielektrik diskler olarak karakterize edilmiştir. Saçıcıların yönelim ve dağılımları belirlenmiştir. Modele biyofiziksel giriş parametreleri deneysel bir siteden toplanmıştır. Bitkilerin biyofiziksel parametrelerini temel alan teorik zayıflama düzey ve yatay polarizasyon için ölçülen değerlerle karşılaştırılmış ve çok iyi uyum elde edilmiştir.

**Abstract-** The paper describes a radio frequency (RF) propagation model for a forest. The forest is modelled using discrete method where incoherent waves dominate over coherent waves. Tree trunks, branches, and needles are characterised by randomly oriented, lossy dielectric cylinders. Leaves are characterised by dielectric discs. The scatterer orientation and distribution are prescribed. The biophysical input parameters to the model are gathered from an experimental site. Theoretical attenuation based upon the biophysical input parameters of vegetation is compared with measured values for both horizontal and vertical polarisation and excellent agreement is obtained.

### I. GİRİŞ

Ağaç vb. bitkilerle kaplı bölgelerde radyo dalgası propagasyonunun analizi konusunda bir çok araştırma yapılmaktadır. Radyo dalgalarının yolu boyunca orman örtüsü dalgaların zayıflamasına sebep olur ve iletişim menziline bir azalma oluşur. Ormanlık bölgelerde radyo dalgalarının kayıplarının önceden bilinmesi, iletişimin planlanması açısından önemlidir.

Ormanlık bölgenin bitkisel yapısının boyutlarına göre, VHF (özellikle  $\lambda > 3m$  olan 100 MHz' in altında) ve daha düşük frekanslarda gelen dalganın dalga boyunun daha büyük olması nedeniyle, orman örtüsü homojen bir tabaka gibi kabul edilebilir.

Bu varsayım VHF ve üzerindeki frekans aralığındaki elektromanyetik dalgalar için doğru değildir. Bu nedenle; 400 MHz üzerindeki frekanslarda ormanı homojen bir ortam olarak kabul eden bir teorinin tahminleri ve deneysel sonuçlar arasında uyum elde edilmesi tesadüf olarak görülebilir.

Elektromanyetik dalgaların bitkisel bir çevrede propagasyonu için gerçekçi bir model; saçıcı elemanların olası yönelişleri, büyüklükleri ve konumları için az veya çok rasgele bir dağılımı öngörmelidir.

Mikrodalga bölgesinde bitkilerin modellenmesi çabaları iki temel yaklaşımdan birini izler. İlk yaklaşımda; örtü, ormanın biyofiziksel parametreleriyle doğrudan ilişkili değişken bir bileşene ve ortalama bir dielektrik sabitine sahip, sürekli, rasgele bir ortam olarak verilir. İkinci yaklaşım kullanılarak modelleme yapıldığı zaman; örtü, her biri bir saçılma genliği tarafından karakterize edilen ayrık elemanların toplamı olarak verilir.

Bu çalışmada ormanın çok bileşenli propagasyon modeli için ikinci yaklaşım açıklanmaktadır. Ormanlık bölge, dielektrik silindirler ve eliptik disklerin rasgele dağıldığı bir tabaka olarak modellenenebilir. Mikrodalga frekanslarında, bu silindirler; dallar, gövdeler ve iğneleri, diskler ise yaprakları temsil ederler. Yayılan radyo frekanslarındaki dalgalar için homojen, kayıplı olan bu disk ve silindirler, çeşitli boy ve çaplardadırlar. Bu tabakanın altında uzanan yer ise homojen, kayıplı, dielektrik bir yarı uzay olarak ele alınmaktadır [1-2].

### II. RASGELE ORTAMDA EM ALANLAR

Bir orman boyunca radyo dalgasının propagasyonu, ortamın rasgele ayrık saçıcılar tarafından karakterize edildiği kabul edilerek ele alınmıştır. Bu çalışmada; ormandaki elektrik alanlar, koherent ve koherent olmayan rasgele bileşenler olarak tanımlanırlar. Düşük frekanslarda (HF ve aşağısı) koherent olmayan bileşen nispeten küçüktür ve sadece koherent alanın düşünülmesi gerekir. Frekans arttıkça alan içindeki mevcut değişimler önem kazanır ve alanın koherent olmayan bileşeni hesaba

katılmalıdır. Radyo dalgasının propagasyonu orman içinde daha derinlere nüfuz ettiği zaman, koherent olmayan bileşenin bağıl olarak paylaşımı daha ileri derecede önem kazanır.

### II.1. Koherent Alanlar

Orman çeşitli bitkisel parçaları temsil eden homojen, kanonik saçıcıların rasgele yerleştiği ve yöneldiği sınırsız bir ortam olarak düşünülmüştür. Bu durumda, koherent dalga denklemi için basit bir düzlem dalga çözümü bulunabilir. Bu, kaynaklar ve sınırların karmaşık özelliklerinin göz ardı edilerek zayıflama oranlarının ve propagasyon parametrelerinin doğrudan kesin olarak hesaplanmasına izin verir. Saıcıların hacimlerini  $V_p$ , bağıl dielektrik sabitlerini  $\epsilon_r$ , yarıçaplarını  $R$  ve sabit bir değer olan saçıcı yoğunluğunu  $\rho$  ile tanımlayalım. Ortamın çevresi boşluk olarak düşünülür. Bu yolla her saçıcının üzerine gelen alanın onun kendi koherent alanı içinde olduğu kabul edilerek Maxwell denklemlerinden bir koherent alan denklemi elde edilebilir (Foldy yaklaşımı). Çok küçük (tipik orman için %0.1 civarında) kesirsel hacim,  $\delta = \rho V_p$ , gösteren saçıcıların seyrek dağılımlı olduğu kabulü ile birlikte bu yaklaşım kullanılarak kolayca çözüm elde edilebilir.

Alan yaklaşımının sonucu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E_{pp} = e^{iK_{pp}L} \quad p \in \{h, v\} \quad (1)$$

Etkin propagasyon katsayısı

$$K_{pp} = k_0 + \frac{2\pi\rho}{k_0} \overline{f_{pp}} \quad (2)$$

şeklinde olup, genelde hem gerçel hem de sanal bileşeni vardır. Gerçel kısım radyan/metre birimi ile verilir; özgül zayıflama adı verilen sanal kısım ise neper/metre birimi ile ifade edilir. Düşey (v) ve yatay (h) polarizasyon için özgül zayıflamayı metre başına desibel olarak (dB/m) ifade etmek istersek,

$$A_{pp} = 8.686 \text{Im}(K_{pp}) \quad (3)$$

bağıntısını kullanabiliriz. Yukarıdaki bağıntılarda  $k_0 = w\sqrt{\mu_0\epsilon_0}$  boşluk propagasyon katsayısı,  $L$  etkin yol uzunluğu,  $f$  ileri yöndeki saçılma genliğinin ortalamasıdır ve  $p \neq q$  için  $\overline{f_{pq}} = 0$ 'dır.

Orman çevresindeki propagasyon sabiti  $K_{pp}$ , mevcut bileşenleri aşağıdaki gibi olan ileri yöndeki saçılma genliği terimleriyle

$$K_{pp} = k_0 + \frac{2\pi}{k_0} \left\{ \rho_t \overline{f_{pp}^{(t)}} + \rho_b \overline{f_{pp}^{(b)}} + \rho_n \overline{f_{pp}^{(n)}} + \rho_l \overline{f_{pp}^{(l)}} \right\} \quad (4)$$

şeklinde açıklanır. Buradaki  $\overline{f_{pp}^{(t)}}$ ,  $\overline{f_{pp}^{(b)}}$ ,  $\overline{f_{pp}^{(n)}}$  ve  $\overline{f_{pp}^{(l)}}$  sırasıyla; gövdeler, dallar, iğneler ve yapraklar için ileri yöndeki saçılma genlikleridir. Saçılma genlikleriyle ilgili daha ayrıntılı bilgi referans [3]'den elde edilebilir.

### II.2. Koherent Olmayan Alanlar

Bir radyo dalgasının orman boyunca propagasyonu sırasında koherent alanla ilişkili olan güç, koherent olmayan saçılan alana dönüştürülür. Koherent dalga bozulduğu zaman, koherent alanla ilgili alan değişimleri önemli olur. İki frekanslı korelasyon fonksiyonu,

$$\Gamma(x; w_1, w_2) = \langle E(x; w_1) E^*(x; w_2) \rangle \quad (5)$$

koherent alan ve onun değişimlerini karakterize etmek için kullanılabilir. (5) Denkleminde  $E$ , gelen ve saçılan alanların toplamı olan toplam alanı gösterir. Bu yüzden  $\Gamma$  gelen dalganın frekansına bağlıdır. Eğer alan, koherent  $\tilde{E}$  ile ilgili değişimler ve ortalama  $\langle E \rangle$ 'nin toplamı şeklinde ayrıştırılırsa, iki frekanslı korelasyon fonksiyonu

$$\Gamma = \Gamma_c + \Gamma_i \quad (6)$$

olarak yazılır. Korelasyon fonksiyonunun koherent bileşeni,

$$\Gamma_c(x; w_1, w_2) = \langle E(x; w_1) \rangle \langle E^*(x; w_2) \rangle \quad (7)$$

şeklinde, değişim veya koherent olmayan bileşen

$$\Gamma_i(x; w_1, w_2) = \langle \tilde{E}(x; w_1) \rangle \langle \tilde{E}^*(x; w_2) \rangle \quad (8)$$

ile verilir. Korelasyon fonksiyonunun iki parçaya ayrılması, ormanla kaplı bir bölgede propagasyonun koherent ve koherent olmayan kanalın paralel bir birleşiminin oluşturduğunun görülmesini sağlar. Anten koherent bir dalga yayar. Bir miktar ilerledikten sonra, rasgele faz değişimlerine sahip koherent olmayan dalga şeklinde saçılmış olması ve gövdelerdeki ohmik kayıplar arasında yutulmuş olması sebebiyle koherent dalga bozulur. Koherent olmayan dalga da kayıplardan olumsuz olarak etkilenir, ama bu koherent dalgada olduğundan daha düşük bir orandadır. Orman propagasyonu için iki frekanslı korelasyon fonksiyonunun hangi bileşeninin (koherent veya koherent olmayan) baskın olduğunun belirlenmesi önemlidir. Bu  $w = w_1 = w_2$  özel durumu düşünülerek son derece basit olarak yapılabilir. Böylece

iki frekanslı korelasyon fonksiyonu dalga şiddetine indirgenir.

Ortalama değerinin sıfır olarak tanımlanması sebebiyle, koherent olmayan alan bileşeninin davranışı onun korelasyon fonksiyonu temel alınarak tartışılmalıdır. Bu fonksiyonun karmaşık doğası sebebiyle, bir çözüm için teşebbüste bulunmadan önce genellikle basitleştirme amaçlı kabuller yapılır. Orman propagasyonu durumu için, bitkilerin kesirsel hacmi küçüktür ve bu amaç için kullanılabilir. Küçük bir kesirsel hacim için geçerli olan korelasyon fonksiyonunun basitleştirilmiş bir şekli, eşit yükseklikte düşey olarak polarize edilmiş yayıcı ve alıcının koherent bileşeni için koherent denklemin elde edilmesinde kullanılan metodun bir benzeri kullanılarak türetilir.

Koherent dalganın gücü

$$P_c(x, w) = \Gamma_c(x, w) = \frac{A_c}{x^2} e^{-\alpha_c x} \quad (9)$$

şeklinde elde edilir. Buradaki  $A_c$  ve  $\alpha_c$  sırasıyla, eksitasyon katsayısı ve koherent azalma sabitidir. Onlar,

$$A_c = \left( \frac{w\mu_0}{4\pi} \right)^2 \quad (10)$$

$$\alpha_c = \rho\sigma_t \quad (11)$$

şeklinde verilirler.  $\sigma_t$  Toplam tesir kesiti ve  $w = w_1 = w_2$  'dir. Koherent olmayan dalganın gücü,

$$P_i(x, w) = \Gamma_i(x, w) = \frac{A_i}{\sqrt{x^3}} e^{-\alpha_i x} \quad (12)$$

olarak açıklanır. Buradaki  $A_i$  ve  $\alpha_i$  sırasıyla, eksitasyon katsayısı ve koherent olmayan zayıflama sabitidir. Onlar,

$$A_i = \frac{\sqrt{2\pi} W_0 \alpha_c A_c}{\sqrt{\alpha_i}} \quad (13)$$

$$\alpha_i = \alpha_c \sqrt{1 - W_0^2} \quad (14)$$

şeklinde verilirler. Burada  $W_0 = \sigma_s / \sigma_t$  albedo'dur.  $\sigma_s$  Nesnenin saçılma tesir kesitidir. Albedo toplam güç üzerindeki saçılma gücünün yüzdesini gösterir. Albedo'nun daima birden az olması sebebiyle, (12) denkleminin dolaylı olarak koherent olmayan azalmanın her zaman koherent azalmadan daha az olacağını anlatmaktadır. Koherent olmayan dalga, S-bandı ve

üzerinden sorumlu en önemli propagasyon mekanizmasıdır.

### III. BİTKİLERİN KARAKTERİZE EDİLMESİ

Bitkilerin karakterize edilmesi konusunun birkaç aşamada ele alınması yararlı olur. İlk olarak benzer dielektrik özelliklere sahip olan yeşil ağaç ve yapraklar (çok miktarda su içeren)'m temel materyalleri bulunur. Düşünülen ikinci aşama temel olarak geometriktir. Bu ayrıntılarıyla beraber son derece karmaşıktır ve elektromanyetiğin dahil olmasıyla daha da karmaşık hale gelmektedir. Yönelimler, büyüklükler ve yoğunluklar gibi parametrelere bağlı olarak, gövdelerin, dalların ve yaprakların tanımlanmasını içermektedir. Üçüncü aşama, ormanı örtü olarak görmek için, tamamen dışarı çıkmadan, ağaçlara ait parçalardan hatta ağaçların kendilerinden geri durmayı gerektirir. Bu örtü çoğunlukla, toprak üzerindeki gövdelerle desteklenen dallar ve yaprakları içermektedir.

#### III.1. Elektriksel Özellikler

Yeşil ağaç ve yaprakların elektriksel özellikleri, onların bağıl elektriksel geçirgenlikleri ( $\epsilon_r$ ) ve manyetik geçirgenlikleri ( $\mu_r$ )'ne bağlı olarak oluşturulabilir. Biyolojik materyallerin çoğunda  $\mu_r$  bire çok yakındır. Bağıl elektriksel geçirgenlik  $\epsilon_r$  komplekstir ve

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (15)$$

ifadesi ile verilir. Burada;  $\epsilon_r'$  ve  $\epsilon_r''$  sırasıyla, elektriksel geçirgenliğin gerçek ve sanal kısımlarıdır. Sanal kısım aşağıda görüldüğü gibi iletkenlik ( $\sigma$ ) ile orantılıdır.

$$\epsilon_r'' = \frac{\sigma}{w\epsilon_0} \quad (16)$$

Burada  $\epsilon_0$  boşluğun elektriksel geçirgenliğidir. Genellikle gerçek kısım  $\epsilon_r'$  dielektrik sabiti ve sanal kısım  $\epsilon_r''$  de kayıp faktörü olarak adlandırılır.

Ağaç ve yaprakların dielektrik sabitleriyle ilgili kapsamlı bilgi edinmek ve ormanı oluşturan değişik türlere ait  $\epsilon_r'$  ve  $\epsilon_r''$  değerleri için referans [3]'e başvurulabilir.

#### III.2. Fiziksel Özellikler

Bitki bileşenlerinin elektromanyetik özellikleri, elektriksel özelliklerin yanında büyüklük, şekil ve yönelme gibi geometrik faktörlere de bağlıdır. Ağaç gövdeleri en geniş orman saçıcıları olmaları nedeniyle çok ayrıntılı olarak tanımlanırlar.

Genel olarak, bir orman veya fidanlığın gövde çapı olasılık yoğunluk fonksiyonu Gauss dağılıma uyar ve

$$p(D) = \left(\sqrt{2\pi}\sigma\right)^{-1} e^{-\left\{\frac{(D-\bar{D})^2}{2\sigma^2}\right\}} \quad (17)$$

ile tanımlanır. Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu biri standart sapma ( $\sigma$ ), diğeri ortalama ağaç gövdesi çapı ( $\bar{D}$ ) olmak üzere sadece iki parametre tarafından belirlenir. Daha yaşlı ağaçların daha büyük gövde çapına sahip olmaları sebebiyle, düzgün yaşlı (aynı zamanda ekilmiş ağaçların bulunduğu) bir ormanın ortalama gövde çapı o ormanın yaşına bağlıdır. Ve belirli türlerin diğerlerine göre daha hızlı büyümesi sebebiyle türlerin kompozisyonuna bağlıdır. Ortalamayla ilgili olan gövde çapının standart sapması da ormanın yaş ve kompozisyonuna bağlıdır, ancak kompozisyon daha önemli bir parametre olarak görünmektedir. USDA Orman Servisi'nin gövde çapı verilerine göre, çeşitlilik katsayısının ( $\sigma/D$  oranı) yaklaşık olarak 0.7 (genç, düzensiz ormanlar) ile 0.1 (yaşlı, düzenli ormanlar) arasında değer aldığını göstermektedir.

Düzgün yaşlı olmayan (homojen olmayan) bir ormanın olasılık yoğunluk fonksiyonu üstel dağılıma uyar. Matematiksel olarak

$$p(D) = \left(\frac{1}{\bar{D}}\right) e^{-\left\{\frac{D}{\bar{D}}\right\}} \quad (18)$$

ile açıklanan üstel olasılık yoğunluk fonksiyonu sadece tek bir parametre tarafından belirlenir ve o parametrede ortalama ağaç gövdesi çapı ( $\bar{D}$ )'dır. Düzgün yaşlı bir ormana tezat olarak, düzgün yaşlı olmayan olgun bir ormanın ortalama gövde çapı yaşına bağlı olmayıp, sadece türünün kompozisyonuna bağlıdır. Ortalama gövde çaplarının tümü 2.5 inch (6.35 cm)'e yakındır.

Ortalama ağaç gövdesi çapı ( $\bar{D}$ ), denklem (18) kullanılarak, üstel olasılık yoğunluk fonksiyonunun eğiminden matematiksel olarak ölçülebilir. Özellikle; daha büyük ağaçların zayıflatması ve rekabeti sebebiyle, küçük ağaçlar iyi temsil edilemediği zaman, arazide ölçülen ortalama ağaç gövdesi çapı oldukça büyük olabilir.

### III.3. Örtü Yapısı

Düzgün yaşlı bir ormanın örtüsünün yüksekliği içindeki bitki ağırlığının dağılımı, bir Gauss olasılık yoğunluk fonksiyonu tarafından oldukça iyi şekilde tanımlanabilmektedir. Ancak, tüm düzgün yaşlı ormanlar iyi uyum göstermezler.

Örtü kalınlığı verileri nadir olmakla beraber, bazı çalışmalar örtü kalınlığının orman yüksekliğine oranı için şu değerleri sunarlar; bir Sitka ladini ve Lodpepole çamı ormanı için yaklaşık 0.6, Douglas köknarı için yaklaşık 0.5, Norway ladini için yaklaşık 0.4 ve Scots çam için yaklaşık 0.3. Bunların hepsi kozalaklı ağaçlar türüne girerler. Yaprak döken ağaçlar sınıfından olan Yellow Poplar ve Common Beach için bağıl örtü kalınlığı 0.5 bulunmuştur. Bir metre küp örtü içindeki dalların sayısı ( $\rho_b$ ); gövde çapı ( $D$ ), gövde sayısı yoğunluğu ( $N$ ) ve örtü kalınlığı ( $H_c$ )'na bağlı olup

$$\rho_b = 91 \left(\frac{ND}{H_c}\right) \times 10^{-4} \quad (19)$$

ile ifade edilir.

## IV. TEORİK VE DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel sonuçlarla 4 çeşit gövde, 1 çeşit iğne, 4 çeşit dal ve 4 çeşit yaprak dikkate alınarak elde edilen teorik sonuçlar Tablo 1'de; teorik sonuçların ormanı oluşturan bileşenlere göre dağılımı da Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Özgül zayıflama karşılaştırması.

Polarizasyon	Ölçüm Sonucu (dB/m)	Hesaplama Sonucu (dB/m)
Düşey	-0.27279	-0.263
Yatay	-0.26098	-0.237

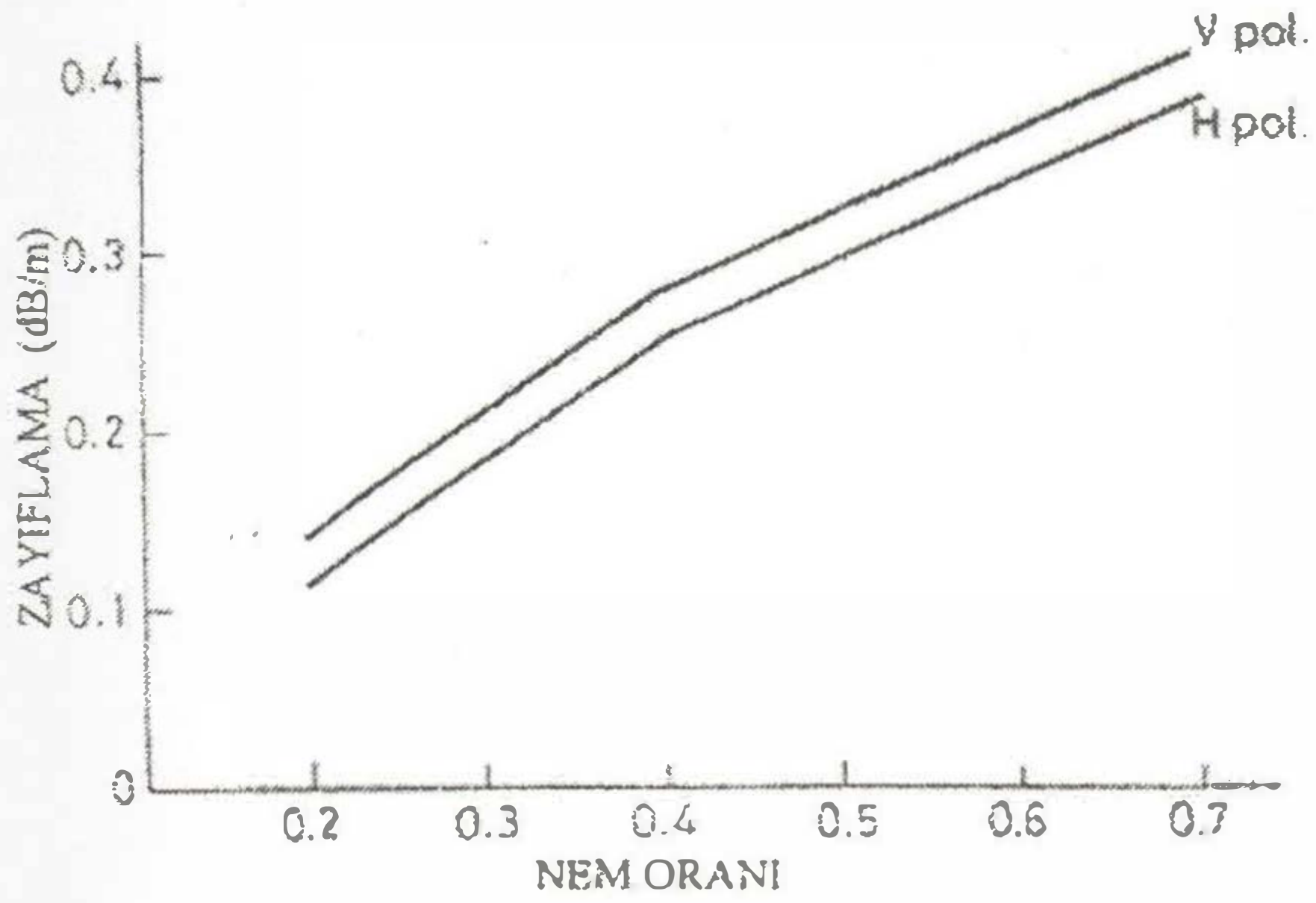
Tablo 2. Zayıflamanın ana bileşenlere göre dağılımı (dB/m).

Saçıcı Tipi	H-zayıflama	V-zayıflama
İğneler	-0.062	-0.086
Yapraklar	-0.100	-0.100
Dallar	-0.022	-0.015
Gövdeler	-0.053	-0.062
Toplam	-0.237	-0.263

Tablo 1 incelendiğinde, düşey polarizasyon için özgül zayıflamanın yatay polarizasyona göre daha fazla olduğu görülmektedir. Düşey dalgalar yatay dalgalara göre daha fazla soğurulmakta ve saçılmaktadır. Zayıflamanın önemli bir kısmı gövde ve yapraklardan kaynaklanmaktadır. Ayrıca geliştirilen model kullanılarak elde edilen sonuçların deneysel verilerle iyi bir uyum gösterdiği açıktır.

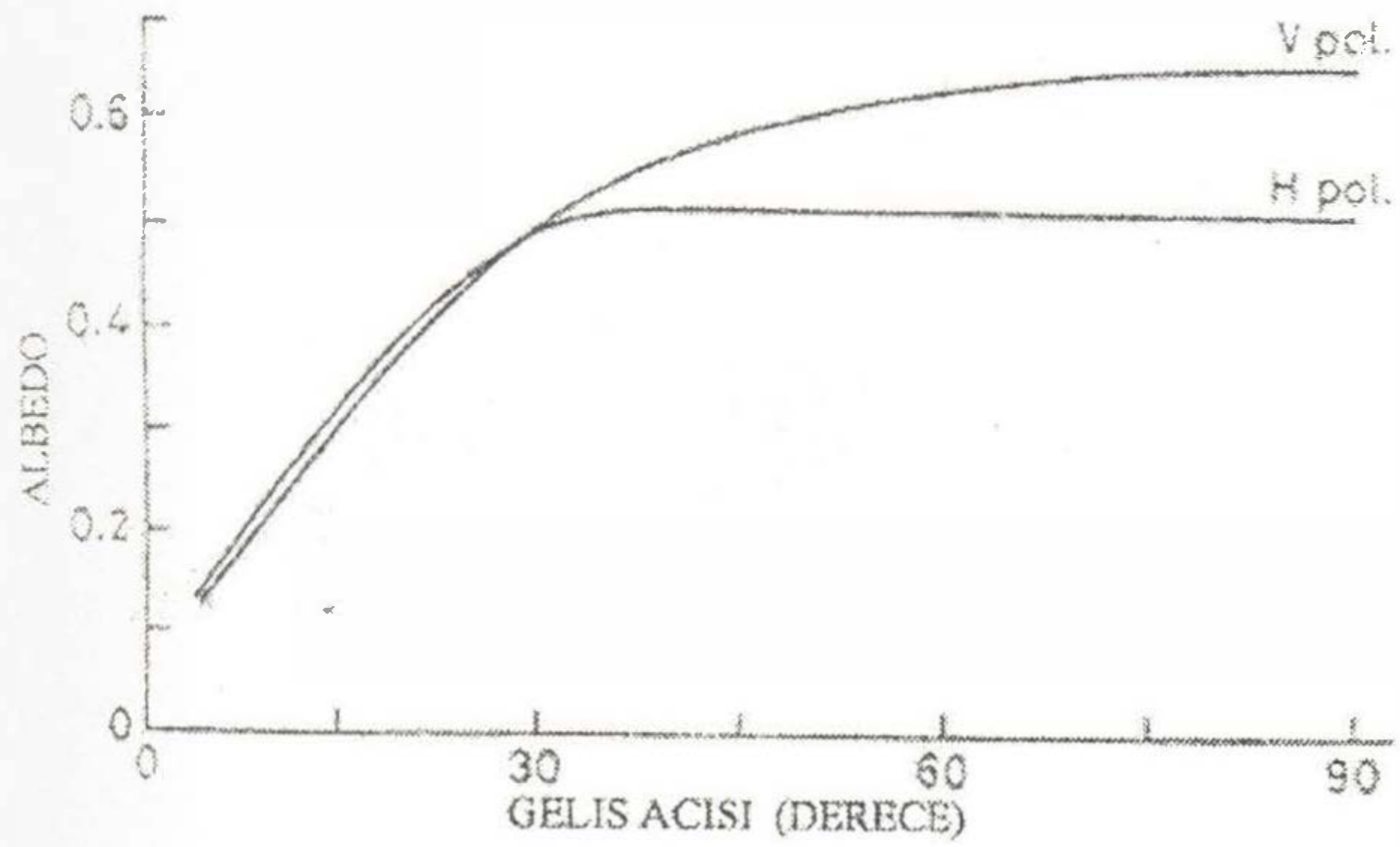
Algılayıcı örtü tabakasında, yapraklar, iğneler ve dallar zayıflamada en etkin rolü oynarlar. Eğer algılayıcı örtü ile yer arasında ve her ikisinden uzakta olursa bu sefer gövdeler zayıflamada etkin rol oynarlar. Yaprak, dal ve iğnelerin etkisi örtüden yere doğru gidildikçe azalmaktadır. İğne ve yaprakların yoğunluğu 5 kat artırıldığında, hem yatay hem de düşey polarizasyon durumları için iğne ve yapraklardan kaynaklanan zayıflamanın da 5 kat arttığı görülmüştür.

Elektromagnetik dalgaların bitki örtüsü içinde propagasyonunda bitkilerin içerdiği su miktarı, frekans ve sıcaklık önemli bir rol oynamaktadır. Zayıflamanın nem miktarına bağlı olarak değişiminin sunulduğu Şekil 1 'de bu etki görülmektedir.

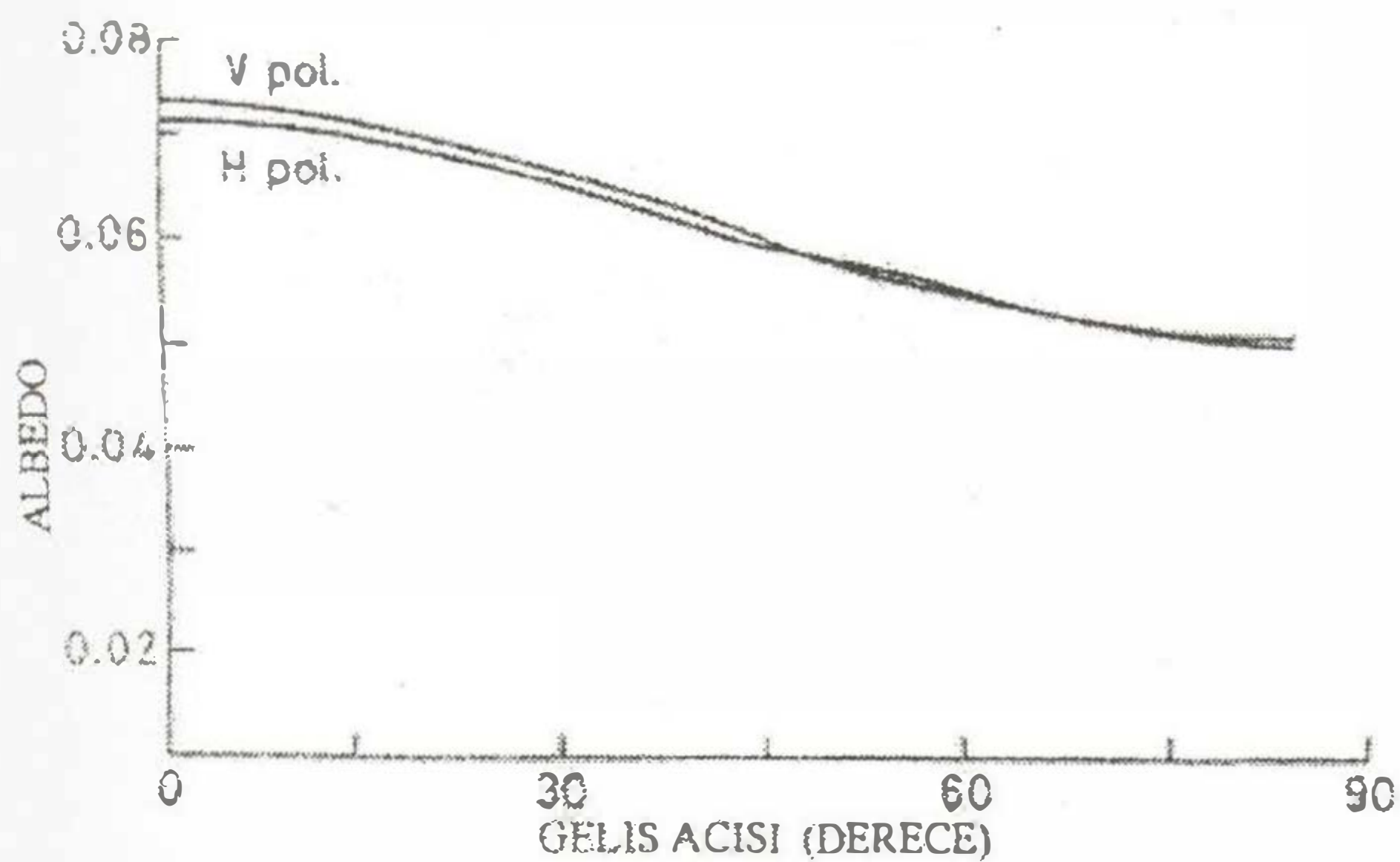


Şekil 1. Nem oranının fonksiyonu olarak zayıflama.

Son olarak şekil 2 ve 3'de sırasıyla gövde ve yapraklara ait albedo üzerinde geliş açısının etkisi sunulmuştur. Bu değerler düşey polarizasyonlu dalgaların, yatay polarizasyonlu dalgalardan daha fazla saçıldığını ( $W_V > W_H$ ) doğrulamaktadır.



Şekil 2. Geliş açısının fonksiyonu olarak bir ağaç gövdesine ait albedo.



Şekil 3. Geliş açısının fonksiyonu olarak bir yaprak çeşidine ait albedo.

## V. SONUÇ

Bu çalışmada sunulan çok bileşenli model orman zayıflaması için deneysel verilerle çok yakın sonuçlar vermektedir. Sayısal sonuçlar koherent olmayan, saçılmış alan şiddetinin kaynağa uzaklığın ve frekansın artmasıyla koherent alana göre bağlı olarak arttığını göstermektedir. Yani orman içinde, koherent olmayan alanlar S-bandı ve yukarısı için en önemli propagasyon mekanizmasıdır. Zayıflama doğal olarak ağaçların yoğunluğuna ve büyüklüğüne bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yaprakla kaplı ağaçların sebep olduğu zayıflama çıplak ağaçlarınkinden daha fazladır ve bitki örtüsü ıslandığı zaman artmaktadır. S-bandı civarında yatay ve düşey polarizasyonlu dalgaların kayıp oranları arasında biraz fark vardır. Genellikle her iki anteninde yüksekliği orman yüksekliğini aştığı zaman propagasyon kayıpları daha belirgin şekilde azalmaktadır.

## VI. KAYNAKLAR

- [1] SEKER, S., "Multicomponents Discrete Propagation Model of Forest", IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., Vol.142, No.3, pp.201-206, June 1995.
- [2] TEŞNELİ, Ahmet Y., "Radyo Frekans Linkler İçin Ağaçların Modellenmesi ve Propagasyon Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2000.
- [3] SEKER, S., "Radyo Dalgalarının Ormanda Yayılmaları İçin Kuram ve Model", Boğaziçi Üniversitesi Dergisi, Cilt 10, s.97-112, 1982.

