

## BİTKİ ÖRTÜLERİNİN UZAKTAN ALGILANMALARI İÇİN AYRIK POLARİMETRİK MODEL

Prof Dr. Selim ŞEKER  
Boğaziçi Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Müh. Böl.  
PK.2, 80815 Bebek-İSTANBUL  
Tel: 0212 263 15 40 / 1853  
Fax No: 0212 257 50 30

### ÖZET

Uzaktan algılama cihazlarından etkin yararlanabilmek için elde edilen elektromanyetik bilgileri dalgaların saçılmasına sebep olan ortamın karakteristiklerine en iyi şekilde aktarabilmek gerekir. Bunun için ise ortamın elektromanyetik modelinin geliştirilmiş olması gereklidir. Bitki örtüsü ve orman gibi yeşillik ortamların ve toprakların doğal olarak mevcut olan karışık yapıları bilinemediğinden incelenmelerinde istatistik metodlar kullanılması zorunluluğu ortaya çıkar. Böyle geliştirilmiş bir modelin tabii ki stokastik tabiatlı olacağı ve sonuç olarak da ortalama olarak ölçülmüş değerleri ortalama model özellikleriyle kıyaslayarak değerlendirme yapılacağı aşikardır. Bu yazıda stokastik teknikler kullanılarak bitkilerle kaplı ortamlar için geliştirilmiş modeller mukayeseli olarak açıklanacaktır. Bu çalışmada ayrik saçılma modeli kullanılarak, düz, kayıplı toprak üzerine gelişigüzel dağılmış ince yapraklar ve dallar tabakasından saçılma katsayıları incelenmiştir. Polarimetrik bistatik saçılma matrisi katsayıları türetimi "distorted Born yaklaşımı" kullanılmak yoluyla yapılmış ve sonuçların P, L ve C bandı SAR frekanslarında geçerli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, model tahminleri, gerçek deneysel bilgilerle karşılaştırılmış ve gayet yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yapraklar düz dairesel diskler, dallar ise çubuklar olarak modellenmiştir. Saçılma katsayılarının sayısal sonuçları geliş acısının fonksiyonu olarak, bitki örtülerinde kullanılan tipik parametreler cinsinden hesaplanmıştır. Sonuç olarak, polarizasyon bilgilerinden ve saçılma (Mueller) matrisinden yararlanılarak modellenmiş bitki örtülerinin PS (Polarization Signature) leri elde edilmiştir.

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda mikrodalgalarla uzaktan algılama, gezegen yüzeylerinin ve bilhassa dünyamızın incelenmesinde önemli bir yer almıştır. Mikrodalgalarla uzaktan algılama radyo dalgalarının yayılma fiziğini, maddesel ortam ile olan etkileşimini, yüzeysel ve hacimsel saçılma ve emisyonunu inceler. Mikrodalga sezicilerin hazırlanması ve elde ettikleri bilginin işlenebilmesi için çeşitli teknikler geliştirilmiştir [1-2].

Havadan çekilen fotoğraflarla uzaktan algılama yaklaşık olarak 100, renkli fotoğraflarla ise 40-50 yıldan beri yapılmaktadır. Örneğin son olarak Landsat'ın uzaydan gönderdiği optik görüntüler herkesce bilinmektedir. Mikrodalgalarla yapılan algılama bazı sebeplerden ötürü optik algılamadan farklılıklar gösterir. En önemli sebeplerin başında bulutlar gibi fotoğraf çekimine engel olan çeşitli atmosferik şartların mikrodalgalara engel teşkil etmemeleri, bulutlardan nüfuz edebilme özelliklerinin mevcut olması ve aydınlatma kaynağı olarak güneşe ihtiyaç göstermemeleri gelmektedir.

Mikrodalgalar bitki örtüsüne optik dalgalardan daha fazla nüfuz edebilirler. Bununla birlikte nüfuz etme miktarı ortamın nemine, yoğunluğuna ve mikrodalgaların dalga boyuna bağlıdır. Uzun dalga boyları kısa olanlardan daha fazla nüfuz ederler. Böylece kısa dalga boyuna sahip olan optik dalgalar bitki örtüsü üst yüzeyi, uzun dalga boyuna sahip mikrodalgalar ise ortamın içi ve altında bulunan toprak hakkında bilgiler içerirler. Hatta mikrodalgalar toprağın içine nüfuz edebilme özelliğine sahiptir. Mikrodalgalar vasıtası ile elde edilen bilgiler optik yolla elde edilenden farklı olup bu bilgilerin birbirini tamamlar mahiyettedirler.

Uzaktan algılama cihazları önemli bilgiler vermekte yararlı olmaktadır; Örneğin toprağın nem durumu, sertliği, yeşilliklerin özellikleri gibi... Bu bilgiler geliştirilmiş çeşitli modellerde kullanılarak ileriye yönelik tahminlerde kullanılır.

Uzaktan algılama cihazlarından en iyi şekilde yararlanabilmek için elde edilen elektromanyetik bilgileri dalgaların saçılmasına sebep olan ortamın karakteristiklerine en iyi şekilde aktarabilmek gerekir. Bunun için ise ilgili ortamın elektromanyetik modelinin geliştirilmiş olması gereklidir. Bitki gibi yeşillik ortamların ve toprakların doğal olarak mevcut olan karışık yapıları bilinemediğinden incelenmelerinde istatistiksel metodlar kullanılması zorunluluğu ortaya çıkar. Böyle geliştirilmiş bir modelin tabii ki stokastik tabiatlı olacağı ve sonuç olarak da ortalama olarak ölçülmüş değerleri ortalama model özellikleriyle kıyaslayarak değerlendirme yapılacağı aşikardır. Bu yazının amacı stokastik teknikler kullanılarak bitkilerle kaplı ortamlar için geliştirilmiş modeller açıklamaktır. Model metodları genel olarak sürekli veya ayırık sistemde geliştirilmiş olabilir. Bundan sonraki bölümde bu iki metod karşılaştırılacak ve bunlarla ilgili geçmiş yayınlar hakkında bilgi verilecektir.

## 2. MODELLEME METODLARININ KARŞILAŞTIRILMASI:

Jeofizik ve atmosferik uygulamalarda en çok kullanılan gelişigüzel ortamların modelleme yöntemleri ikiye ayrılır: Sürekli ve Ayırık Yöntemler. Sürekli modelleme yönteminde gelişigüzel ortam kendi dielektrik sabitesi  $\epsilon(x)$ , ortalama ve korelasyon fonksiyonları gibi momentleri bilinen bir gelişigüzel süreç olarak modellenir. Diğer taraftan ayırık modelleme yönteminde ise ortamın durum ve yön istatistikleri bilinen parçacık topluluğundan meydana geldiği kabul edilir. Her iki durumda da ortamın istatistikleri Maxwell denklemleriyle birlikte fiziksel olarak ilgilendiğimiz ortalama değerleri bulmada kullanılır.

Sürekli yöntem durumunda, elektrik alanının ortalama korelasyon denklemleri bulunabilir. Bu eşitlikler Dyson ve Bethe-Salpeter denklemleri şeklinde adlandırılır.

Gerçi en ideal şartlar altında bile bu ifadelerin çözümü imkansız gibi görünmesine rağmen, bu eşitlikler ilgilendiğimiz faktörler için gerekli formülasyonu temsil etmektedirler. Küçük korelasyon uzunlukları veya küçük dalgalanmalara sahip ortamlar gibi uygun fiziksel şartlar altında, bozunum teorisi kullanılarak Dyson ve Bethe-Salpeter denklemleri bir dereceye kadar izlenebilir hale indirgenebilir. Ortalama alan için bozunum metodları, Keller, Tartarskii ve Gertsenshtein, Keller ve Karal, Rosenbaum, ve diğerleri tarafından kullanılmıştır. Bu yaklaşık ortalama alan çözümleri, ilk yaklaşımlı tekrar normalleştirilmiş veya değiştirilmiş algılama uygulamalarında kullanılmıştır. Bethe-Salpeter denklemi için de yaklaşım metodları uygulanmıştır. Söyle ki Chandrasekhar tarafından verilen taşınım eşitliğine benzer düzeltilmiş ışınal taşınım eşitliğini bulmuşlardır. Bu yaklaşımlar düz sınırlardan uyumlu yansımayı da dikkate aldıklarından Chandrasekhar'ın eşitliklerinde olmayan ilave terimler mevcuttur. Gelişigüzel dağılmış parçacıklardan dalgaların çoklu saçılmaya uğraması gayet eski bir problemdir. İlk defa Rayleigh'in gökyüzünün rengini bulmak için geliştirdiği teoride bu fiziksel olay kullanılmıştır. Born ise küresel dipol parçacıklarla dolu bir ortamın kırılma katsayısını bulmak için bu metodu kullanmıştır. Foldy ilk defa olasılık açısından problemi sistemli bir şekilde takdim etmiş ve skalar dipol saçıcıları içeren bir ortam için ortalama alanı çıkarmıştır. Lax bu yöntemi akustik rezonans ölçülerindeki saçıcılar için genelleştirmiştir. Twersky, Foldy-Lax metodunu uygulayarak gelişigüzel şekilde olan rezonans ölçülerindeki dielektrik parçacıklar için ortalama alanı ve efektif dielektrik sabitini hesaplamıştır. Bozunum yöntemi ancak parçacıkların işgal ettikleri kısmi hacim hacim küçük olduğu zaman uygulanabilir. Bu kriter bitkilerle ilgili problemlerde kolaylıkla sağlanmaktadır. Ortalama alanın yayıldığı ve küresel olmayan parçacıklardan meydana gelen ortamın izotropik olmadığını teori bize gösteriyor, (Lang). Lang, Sidhu ve Şeker, Foldy-Lax metodunu değiştirilmiş Born yaklaşımı ile beraber kullanarak geriye doğru saçılma katsayılarını gelişigüzel dielektrik saçıcılardan oluşan bir tabaka için bulmuşlardır. Bu metod düşük albedosu olan parçacıklar ve yutma kaybının yüksek olduğu ortamlar için geçerlidir. Albedonun küçük olmadığı durumlarda değişik bir yöntem uygulanmalıdır.

Vektor taşınım denklemi ile yukarıda sözü geçen denklemler arasındaki ilgili literatürde pek çok tartışmalara konu olmaktadır. Henüz belirli bir sonuca varılamamış ancak 1980 yılındaki yayınında Tsang vektor taşınım denkleminin düşük albedo yaklaşımı yapıldığındaki sonucunun Lang'ın bulduğu sonuçla aynı olduğunu göstermiştir.

Bu kısmı bitirmeden önce kısa olarak iki yöntemin, sürekli ve ayrık modellemenin karşılaştırılması yapılacaktır.

Her iki yöntem değişik verileri talep etmektedir. Sürekli model ortalama dielektrik sabitinin ve dalgalanmaların korelasyon fonksiyonunun bilindiğini kabul eder. Ayrık model ise saçıcıların yöneliş istatistiğinin ve her bir parçacığın saçılma genliğinin bilindiğini varsayar. Saçılma genliği deneysel veya her bir parçacığı elektromanyetik olarak modelleme yoluyla elde edilebilir. Bahsedilen son yöntem saçılma genliğini saçıcının fiziksel ölçüleri (örneğin yaprak kalınlığı) ve dielektrik özellikleri cinsinden belirtir. Sürekli modellemenin bir avantajı, örneğin geriye doğru saçılma katsayıları gibi hesaplanan değerlerin direkt olarak ortamın ortalama dielektrik sabiti ve dalgalanmalarının korelasyon fonksiyonu cinsinden olmasıdır.

Ayrık metotta ise, ortalama dielektrik sabiti ve dalgalanmalarının korelasyon fonksiyonu ve geriye doğru saçılma katsayılarının hepsi yönelişe göre alınmış, saçıcının ortalama saçılma genliği

cinsindedir. Bilindiği gibi saçılma genlikleri, saçıcının fiziksel ve elektriksel karakteristiklerinin bir fonksiyonudur. Ayrık yöntem matematiksel açıdan diğerinden daha karmaşık olmakla birlikte bazı önemli avantajları vardır. Bunlardan biri, ortamın ortalama dielektrik katsayısının matematiksel olarak bulunmuş bir diğeri olup, diğeri yöntemde olduğu gibi deneysel veya tecrübeler sonunda bulunmuş olmamasıdır. Ortalama dielektrik sabiti kolayca ölçülebilecek değerler cinsinden bulunduğundan frekans bağımlılığı, polarizasyon karakteristikleri gibi hususlar modelden kolayca tesbit edilebilir.

Ortalama dielektrik sabitinin karakteristikleri belirgin olmayıp, ölçme tesbiti dahi çok zordur. Sürekli metod bu gibi zorlukları bünyesinde taşımaktadır. Dielektrik sabitinin izotropik olarak kabullenmesi yukarıda bahsettiğimiz zorluklardan kaynaklanmaktadır. İzotropik olmama durumu işi bitkisel ortamı oluşturan elementlerin küresel olmamalarından ve ayrıca yöneliş istatistiklerinden kaynaklanır.

İki metod arasında çözülememiş diğeri bir fark ise sürekli metodun çapraz polarize geriye doğru saçılma katsayısının ( $\sigma_{hv}^0$ ) albedoya göre yapılan ilk yaklaşım değerinde olmayacağını, ayrık metodun ise olacağını söylemesidir. Bu zorluk büyük bir olasılıkla sürekli yöntemin veri değerlerinde bulunan sınırlamalarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenlerden ötürü ayrık modelleme yönteminin, uzaktan algılama bilgilerinin ortamın gerçek fiziksel karakteristiklerine transferinde daha yararlı olacağı belirgindir, [1].

### 3. BİTKİ ÖRTÜLERİNİN AYRIK YÖNTEMLE MODELLENMESİ

Bu yöntem ile yapraklar disk, gövde ve sapsar ise dielektrik silindir olarak kabul edilir ve ayrık gelişigüzel ortam metodları kullanılarak mikrodalga sezicinin ölçeceği değerler hesap edilir.

Geçmişte yapılan modelleme çalışmalarını şöyle özetleyebiliriz:

i) Dipol saçıcılarla dolu yarım uzay yaklaşımı:

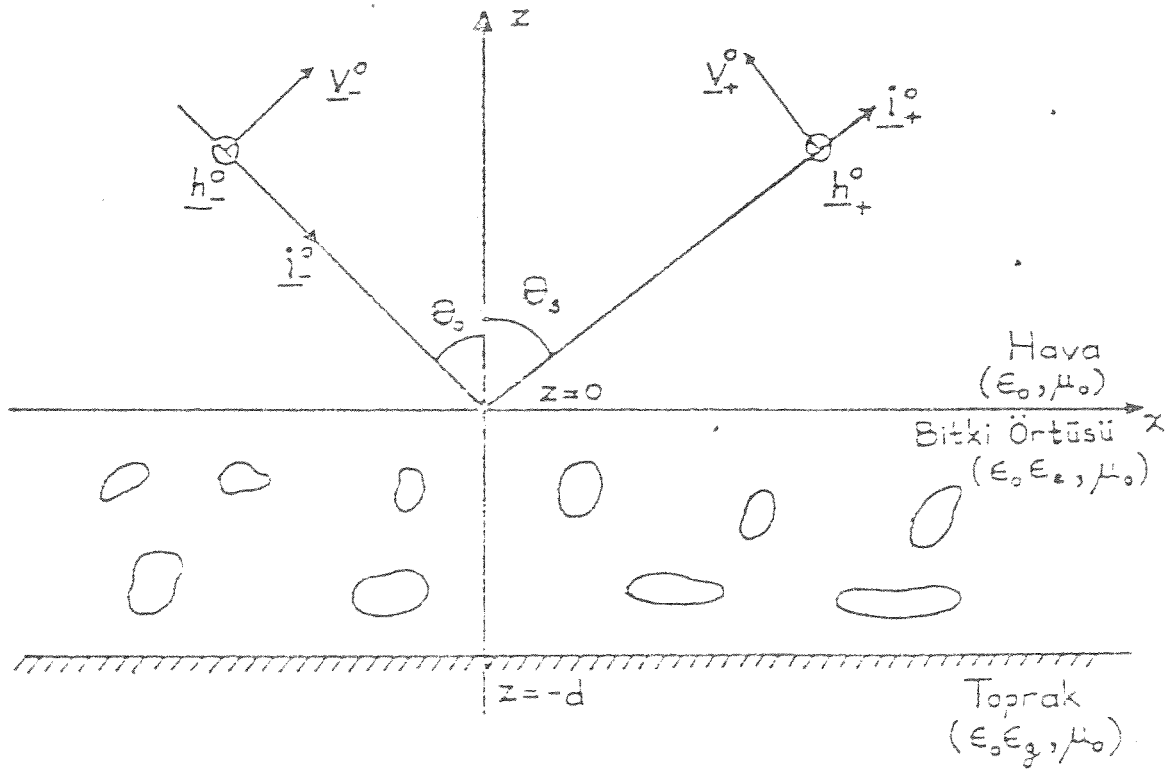
İlk yaklaşım olarak ortamın yeterince yoğun olduğu, dolayısıyla toprağın etkisi dikkate alınmadan, ortamın dielektrik disk olarak modellenmiş yapraklarla dolu olduğu Lang tarafından varsayılmış ve böylece yeşillik ortam, bu durumda orman, Rayleigh bölgesinde (400 MHz'den 1 GHz'e kadar olan frekans bölgesi) modellenmiştir. Yaprakların açılma yönelişleri  $\phi$  koordinatına göre aynı alınmış,  $\theta$  koordinatına göre açılma eğilim dağılımı ise literatürden yararlanılarak seçilmiştir. Yarım uzay durumu için ortalama alan denklemi ve bu denklemden de ortamın eşdeğer dielektrik sabiti bulunmuştur. Bu eşdeğer dielektrik sabiti yaprakların geometrisinden ve bunların yönelişlerinden dolayı izotropik değildir. Muteakiben değiştirilmiş Born yaklaşım yöntemi kullanılarak geriye doğru saçılma katsayıları  $\sigma_{pq}^0$  ( $p, q \in (h, v)$ ), sözü geçen yarım uzay durumu için hesaplanmıştır. Bu metod Bush'un deneysel olarak bulduğu değere yakın bir oranda çapraz polarize geri saçılma değeri vermektedir.

ii) Dipol saçıcılarla dolu tabaka:

Düz toprağın etkisini hesaplamalara dahil etmek için Şekil 1.'de görüldüğü gibi yeşillik ortamı hava ile toprak arasında dipol disklerle dolu bir tabaka olarak düşünelim. Yine değiştirilmiş Born yaklaşımını kullanarak Lang ve Sidhu geriye doğru saçılma katsayılarını bulmuşlardır. Şekil 1.'de  $h_-$ ,  $v_-$ ,  $i_-$ , gelen dalganın,  $h_+$ ,  $v_+$ ,  $i_+$ , ise saçılan dalganın yatay, düşey ve ilerleme yönündeki birim vektörlerini,  $\theta_0$  geliş,  $\theta_s$  ise saçılma açısını göstermektedir.

iii) Gelişigüzel ölçülerdeki saçıcılarla dolu tabaka:

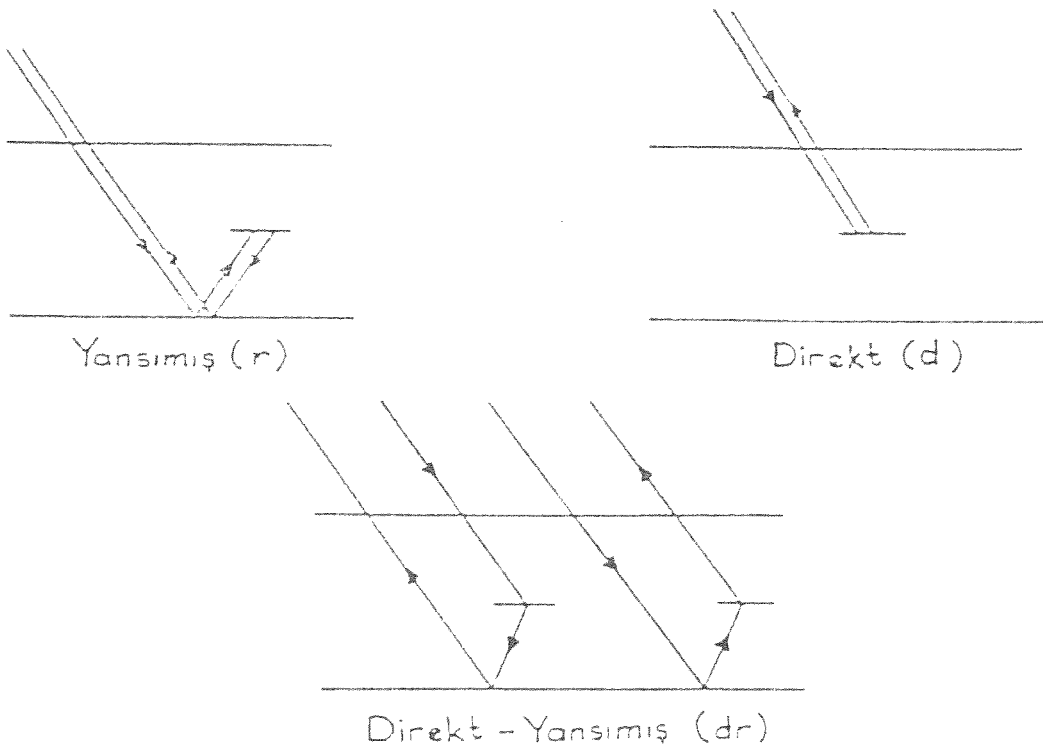
Bundan önce bahsedilen metod, dipol yerine daha genelleştirilerek, ölçüleri gelişigüzel olan saçıcılar için uygulanmıştır. Bahsedilen saçıcılar Şekil 1.'de görüldüğü gibi düz bir toprak üzerine yerleştirilmiş bir tabakada bulunmaktadır. Geriye doğru saçılma katsayıları saçıcıların saçılma genlikleri cinsinden bulunmuştur. Daha önceki (i) ve (ii) yaklaşımları sadece elektrik alanı için geliştirildiği halde bu çalışmada her iki alan için yöntem, diyadik notasyonları kullanarak genelleştirilmiştir. Dipol tabaka probleminde olduğu gibi geriye doğru saçılma katsayıları 3 terim cinsinden ifade olunabilir.



Şekil 1. Problemin geometrisi

$$\sigma_{pq}^0 = \sigma_{pqd}^0 + \sigma_{pqr}^0 + \sigma_{pqdr}^0 \quad p, q \in (h, v) \quad (1)$$

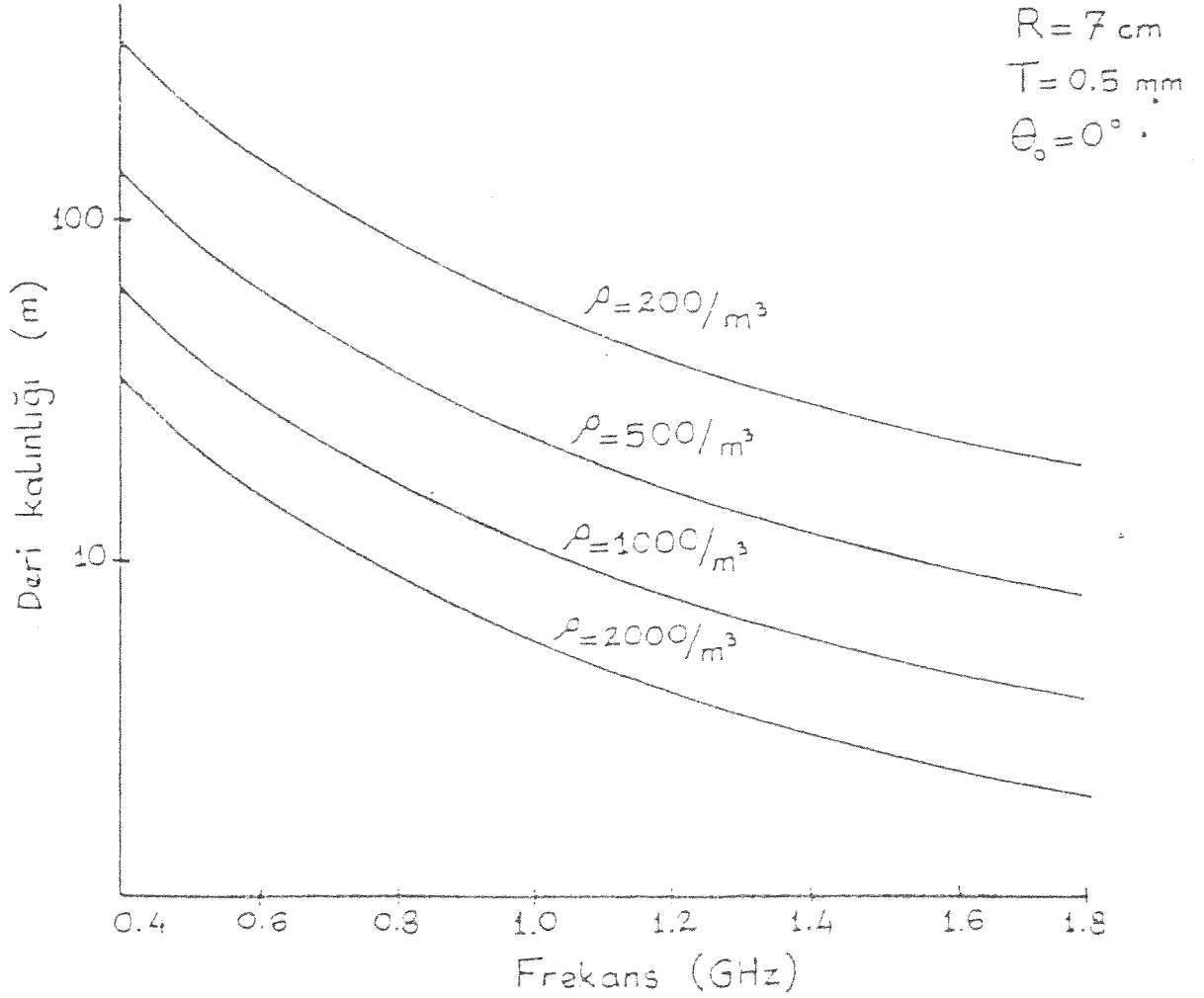
$\sigma_{pqd}^0$  direkt dalganın katkısını,  $\sigma_{pqr}^0$  yerden iki defa yansıma yapan dalganın katkısını,  $\sigma_{pqdr}^0$  ise direkt-yansıyan eleman olup yerden bir defa yansımış olan dalganın katkısını temsil etmektedir. Bu değişik saçılma çeşitleri Şekil 2.'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Geriye doğru saçılma çeşitleri

Geliştirilmiş bulunan yöntemle sayısal sonuçlar bulunabilmesi için orman dielektrik disklerden oluşmuş olarak modellenmiştir. Diskin yarıçapı R, kalınlığı T ve bağıl dielektrik katsayısı  $\epsilon_r$  olarak alınmıştır. Geliştirilmiş yöntem Rayleigh, rezonans ve geometrik optik bölgelerinde bulunan gelişigüzel yapıli bütün saçıcılar için geçerli olmasına rağmen, saçılma genlik değerlerinin yalnız Rayleigh ve geometrik optik bölgeleri için mevcut olması sonuçların bu iki bölgeye münhasır kalmasına neden olmuştur.

Deri kalınlığı ortalama alanın ortam içindeki davranışının anlaşılmasında çok yararlı olmaktadır. Eğer bitki örtüsünün kalınlığı deri kalınlığından fazla ise hesaplarda toprağın etkisi ihmal edilebilir. Eğer tabaka kalınlığı deri kalınlığından az ise toprağın karakteristikleri radar bilgilerinde önem kazanmış olur. Şekil 3.'te geliş açısı  $\theta_0 = 0$  için deri kalınlığının frekansının fonksiyonu olarak Rayleigh bölgesinde değişik yaprak yoğunluklarına ( $\rho$ ) göre değişimi gösterilmiştir. Yaprak sayısı arttıkça deri kalınlığının beklendiği gibi azaldığı şekilde görülmektedir.



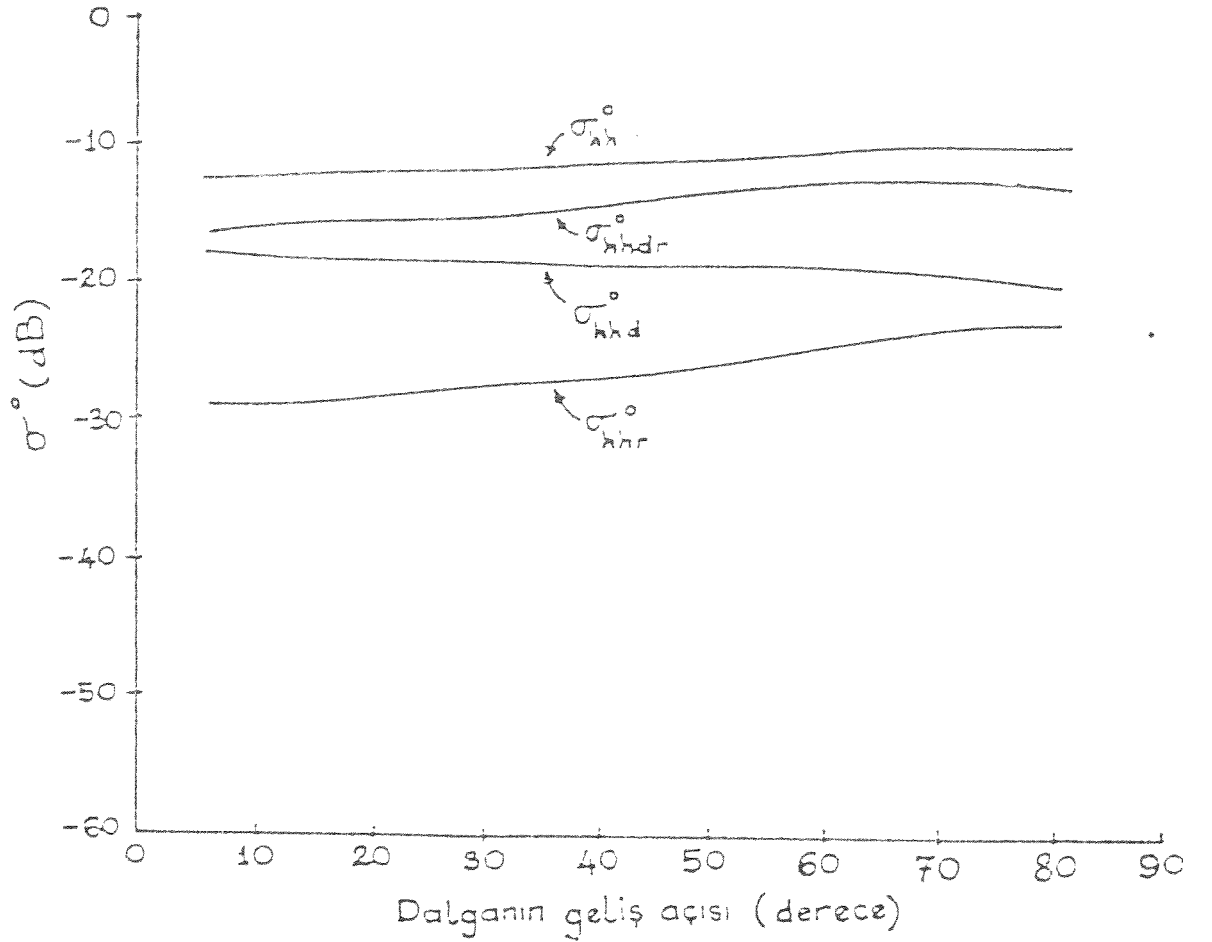
Şekil 3. Deri kalınlığının frekansın bir fonksiyonu olarak Rayleigh bölgesinde yaprak yoğunluğuna göre değişimi

Geometrik optik bölgesi için deri kalınlığının frekansa göre değişimi Şekil 3.'tekine benzer olup en önemli fark, frekansla azalmanın Rayleigh bölgesindeki oranla daha az olmasıdır. Geometrik optik

bölgesinde bulunan deri kalınlıklarının daha küçük değerde olmaları diğer bir faktir. Bu sonuçlar yüksek frekans bölgesindeki saçılann fiziksel ölçülerinin önemli katkılarından kaynaklanmaktadır.

Şekil 4.'te yatay geriye doğru saçılma katsayısı ve bileşenlerinin geliş açısına göre değişimi Rayleigh bölgesi için verilmiştir.

$$\begin{array}{ll}
 f = 400 \text{ MHz} & d = 1 \text{ m} \\
 \rho = 500 / \text{m}^3 & \Delta\theta = 10^\circ \\
 \epsilon_r = 30.8 + j0.62 & R = 7.5 \text{ cm} \\
 \epsilon_g = 12 + j3 & T = 0.5 \text{ mm}
 \end{array}$$



Şekil 4. Yatay geriye doğru saçılma katsayısı ve bileşenlerinin geliş açısına göre değişimi

Bu şekilde  $\epsilon_r$  yaprakların,  $\epsilon_g$  toprağın bağıl dielektrik katsayıları olup verilen frekansa göre empirik olarak tesbit edilmiştir. Şekil 4.'te tabaka kalınlığı  $d = 1$  m ve yaprakların  $\theta$  koordinatına göre eğilimi

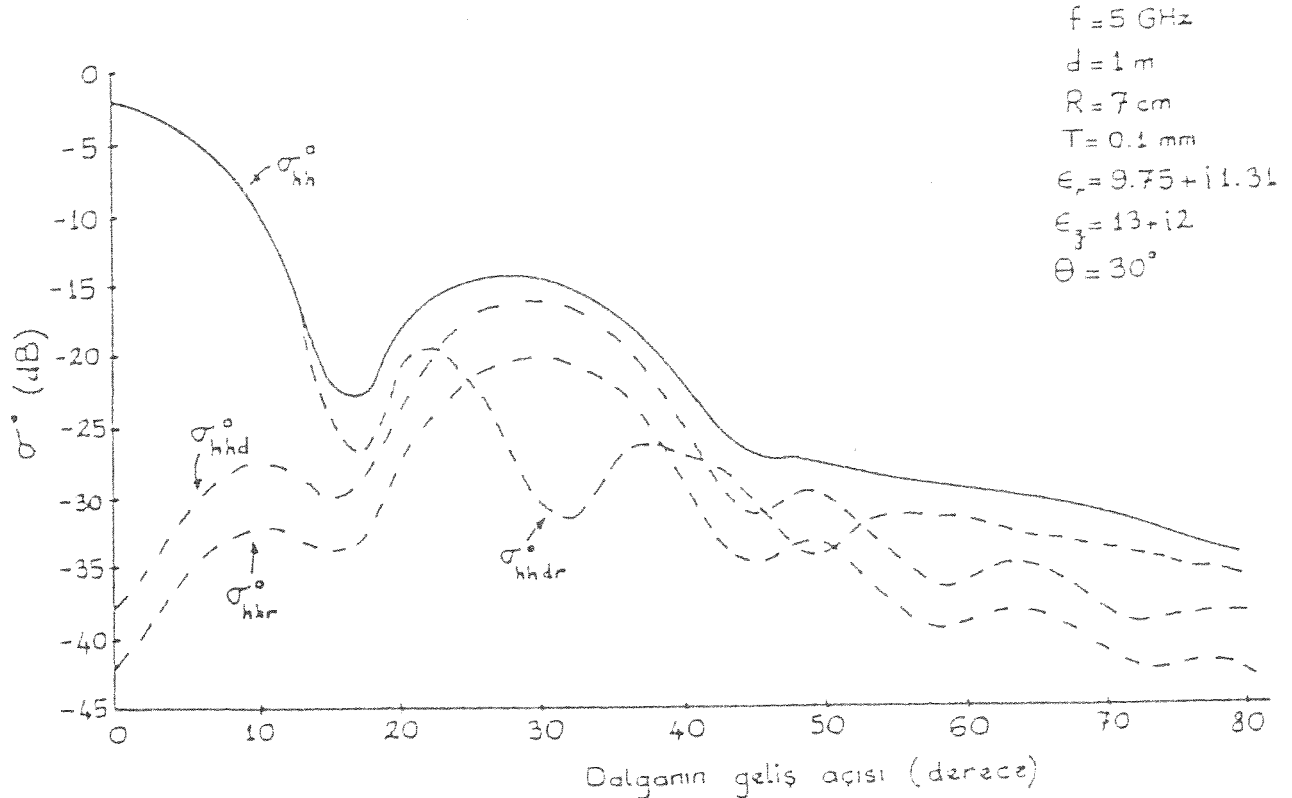


$\Delta\theta = 10^0$  seçilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi geriye doğru saçılma katsayıları dağaların geliş açısına göre hemen hemen düz bir değişim gösterirler. Bu değişim dipolün ısıma düzeninin dairesel olmasından kaynaklanmaktadır.

Geometrik optik bölgesinde sayısal değerleri bulmak için diydik saçılma genliği kullanılmış ve bulunan sonuçlara göre yaprakların mikrodalga frekansları bölgesinde eski tahminlerin üstünde bir albedo değerine sahip oldukları ortaya çıkmıştır.

Bulunan sonuçlara bir örnek Şekil 5.'te yatay polarizasyon için verilmiştir. Bu örnek için yaprakların tabakanın normali ile  $30$  derecelik bir açı yaptığı fakat  $\phi$  koordinatına göre dağılım istatistiklerinin düzgün olduğu varsayılmıştır. Sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için direkt, yansımış ve direkt-yansımış bileşenler de şekilde gösterilmiştir. Şekil 5.'den  $\sigma_{hh}^0$  in biri geliş açısı sıfır, diğeri ise geliş açısı  $30^0$  ye takabul eden iki tane büyük tepesi olduğu görülüyor. Otuz derecedeki tepede direkt ve yansımış bileşenlerinin yaprakların ön ve arka yüzeylerinden yansımalara uğramasından kaynaklanmaktadır. Yaprakları geçerek yerden yansıyan enerjinin geriye doğru yansıyan bileşene etkisi sıfır derecede bulunan büyük tepeyi oluşturmaktadır. Bu tepelerin genişliği her bir yaprağın ısıma düzenine bağımlı olarak değişir. Değiştirilmiş Born yaklaşımını uygulayabilmek için albedonun değerleri düşük olmalıdır. Bu nedenle yapraklar ince seçilmiştir.

Yapraklar için  $\phi$  koordinatına göre uygun bir istatistiksel dağılım seçildiğinde, eğride kayda değer düzelmelerin olacağı görülecektir.



Şekil 5. Yatay geriye doğru saçılma katsayısının ve bileşenlerinin geliş açısına göre değişimi

#### 4. POLARİMETRİK BİSTATİK SAÇILMA

Bitki örtülerinin polarimetrik bîstatik saçılmalarının ifadesi, literatürde Saçılma (Scattering) veya Mueller matrisi olarak bilinen ve polarimetrik saçılma katsayılarından oluşan matris ve Stokes parametreleri kullanılarak bulunur. Mueller matrisi, M, aşağıdaki gibidir, [2]:

$$\langle M \rangle = \begin{bmatrix} \sigma_{hhhh}^0 & \sigma_{hvhv}^0 & \text{Re}\{\sigma_{hvhh}^0\} & -\text{Im}\{\sigma_{hvhh}^0\} \\ \sigma_{vhvh}^0 & \sigma_{vvvv}^0 & \text{Re}\{\sigma_{vvvh}^0\} & -\text{Im}\{\sigma_{vvvh}^0\} \\ 2\text{Re}\{\sigma_{vhhh}^0\} & 2\text{Re}\{\sigma_{vvhv}^0\} & \sigma_{33}^0 & \sigma_{34}^0 \\ 2\text{Im}\{\sigma_{vhhh}^0\} & 2\text{Im}\{\sigma_{vvhv}^0\} & \sigma_{43}^0 & \sigma_{44}^0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Bu ifadede  $\sigma_{33}^0 = \text{Re}\{\sigma_{vvhh}^0 - \sigma_{hvvh}^0\}$ ,  $\sigma_{43}^0 = \text{Im}\{\sigma_{vvhh}^0 - \sigma_{hvvh}^0\}$ ,  $\sigma_{34}^0 = -\sigma_{43}^0$  dir.

Mueller matrisinde aynen saçılma katsayılarının yazıldığı gibi üç bileşen halinde ifade edilebilir ( direkt, yansıyan ve direkt-yansıyan bileşenleri):

$$\langle M \rangle = \langle M_d \rangle + \langle M_r \rangle + \langle M_{dr} \rangle \quad (3)$$

Mueller matrisinin bilinmesi herhangi bir gönderici yada alıcı anten kombinasyonu için alınan gücün hesabına izin verir; bu işlem Polarizasyon Sentezi olarak bilinir. Genel olarak, dalganın eliptik polarize edildiği farz edilir ve eliptik açısı ve oryantasyon açısı olarak tanımlanır. Mümkün tüm polarizasyonlar için literatürde Poincare olarak bilinen küre şekline bakılabilir ve bu şekilde ekvator çizgisi, elektromanyetik dalga ile taşınan güç ile orantılıdır.

Saçılmayı karakterize etmek için, saçılma çapraz alanı ( scattering cross section) kullanılabilir. Alınan güç saçılma çapraz alanı kullanılarak şu şekilde tanımlanabilir;

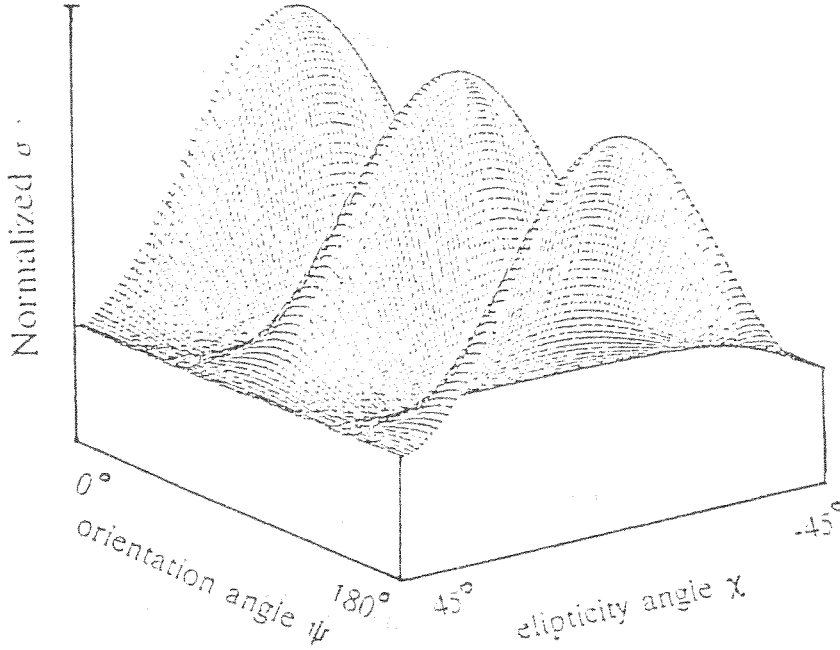
$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &= \lim_{r \rightarrow \infty} (4\pi r^2) \left( \frac{P_{recij}}{P_{transmitted}} \right) \\ &= \frac{4\pi}{k^2} \cdot S_i [M] S_j \end{aligned} \quad (4)$$

Normalize edilmiş bir elektrik alanın döndürüldüğü ve polarizasyon elips oryantasyon açısı  $\psi$  ve eliptik açısı  $\chi$  olduğu varsayılarak ve saçılma matrisi kullanılarak

$$\sigma(\chi_i, \psi_i, \chi_j, \psi_j) = \frac{4\pi}{k^2} \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\chi_i \cos 2\psi_i \\ \cos 2\chi_i \sin 2\psi_i \\ \sin 2\chi_i \end{bmatrix} \left[ \sum_{n=1}^N [M^{(n)}] \right] \begin{bmatrix} 1 \\ \cos 2\chi_j \cos 2\psi_j \\ \cos 2\chi_j \sin 2\psi_j \\ \sin 2\chi_j \end{bmatrix} \quad (5)$$

yazılabilir. Bu fonksiyon literatürde polarizasyon imzası (Polarization Signature) olarak bilinir ve bitki örtülerinden alınan saçılmaların tanımı için üç boyutlu grafikler halinde görüntülenebilir, [3].

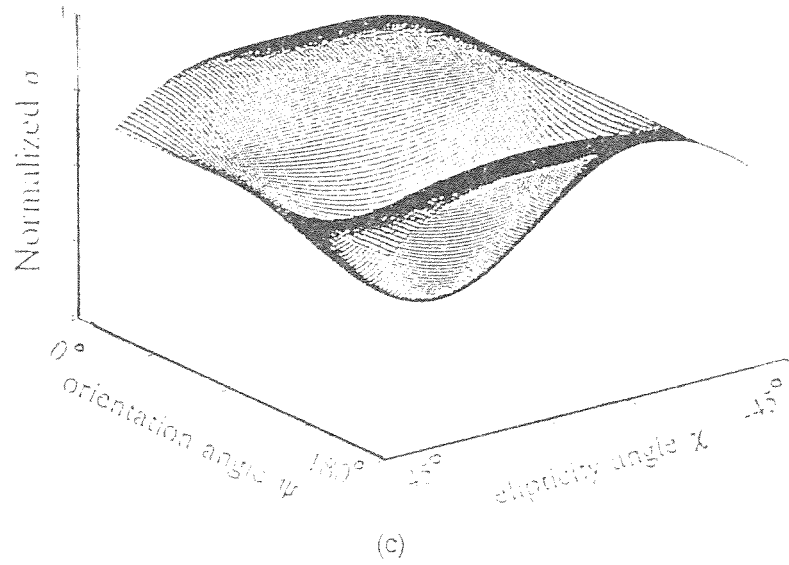
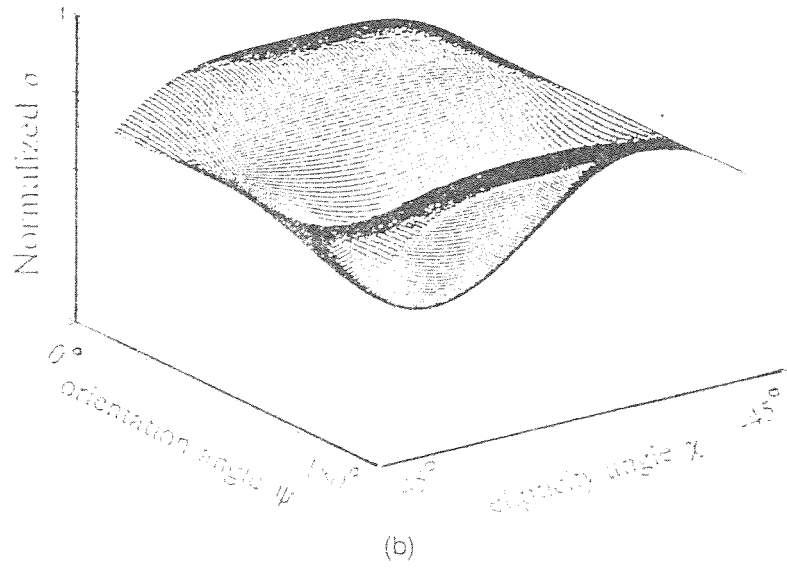
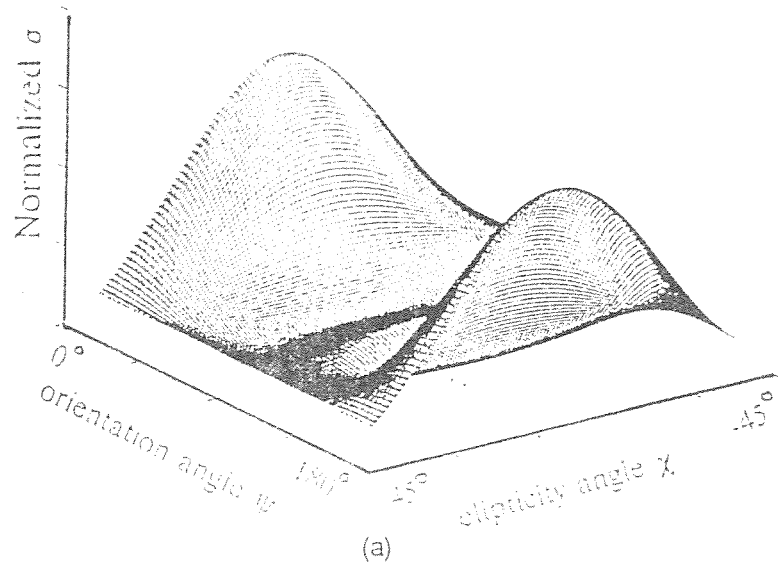
Yukarıda anlatılan teori ve denklemler kullanılarak bir simülasyon programı geliştirilmiş ve literatürden alınan bitki örtüsü istatistiksel bilgileri kullanılarak modelleme işlemi disk ve silindirler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu modellenen bitki örtülerinden alınan simülasyon sonuçları ile gerçek deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve kabul edilebilir bir tolerans ile yakın çıkmışlardır.



Şekil. 6 Hesaplanmış co-polarize PS grafiği

Örneğin Şekil 6.'da geliştirdiğimiz simülasyon programından yararlanılarak ve literatürde yayınlanmış makalelerden elde edilen istatistiksel bitki örtülerine ilişkin parametreler kullanılarak hesaplanmış co-polarize PS grafiği görülmektedir. Yayınlanan sonuçlara oldukça yakın sonuçlar ve benzer bir grafik şekli elde edilmiştir [4],[5].

Yine karşılaştırma yapabilme amacı ile, geliştirilen simülasyon programı, 3.65 cm çap ve 92.8 cm uzunluğunda dal ve 2.5 cm çap ve 0.02 mm kalınlığında yapraktan oluşacak şekilde modellenmiş bir bitki örtüsü için 1.62 GHz koşturulmuş ve verdiği sonuçlar ile aşağıdaki Şekil. 7 (a),(b) ve (c) de görülen polarizasyon imzaları elde edilmiştir. Bu şekillerden çıkartılan sonuç ise böyle bir bitki örtüsünde saçılmalarda baskın olan saçıcı dallar olmaktadır.



Şekil 7.(a)Yaprak modeli için hesaplanmış co-polarize PS grafiği,(b)Dal modeli için hesaplanmış co-polarize PS grafiği,(c)Birlikte yaprak ve daldan oluşmuş model için hesaplanmış co-polarize PS grafiği.

## 5. KAYNAKÇA

- [1] Şeker Selim, 1986, "MICROWAVE BACKSCATTERING FROM A LAYER OF RANDOMLY ORIENTED DISCS WITH APPLICATION TO SCATTERING FROM VEGETATION", Proc. IEE-H cilt 133, Nr.6, ss. 497-502.
- [2] Evren Şenol, 1993, "POLARIMETRIC RADAR DISCRETE SCATTER MODEL OF VEGETATION", Boğaziçi University, MSc Thesis.
- [3] Şeker Selim, Evren Şenol, 1994, "POLARIMETRIC RADAR DISCRETE SCATTER MODEL OF VEGETATION", Melecon'94. Cilt.1, ss. 390-393.
- [4] Karam M.A., Fung, A.K., 1991, " A FULLY POLARIMETRIC SCATTERING MODEL FOR A CONIFEROUS FOREST" IEEE, ss. 19-21.
- [5] Jakob Van Zyle, J., Howard Zebker, A., 1987, "IMAGING RADAR POLARIZATION SIGNATURES: THEORY AND OBSERVATION", Radio Science Cilt.22 Nr.4, ss.529-543.