

21768

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKRODALGA DİFRAKSİYON TOMOGRAFİSİ İÇİN ADAPTİF

BİR GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA ALGORİTMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Selçuk PAKER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Şubat 1992

Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Şubat 1992

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bingül YAZGAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ercan TOPUZ

Prof. Dr. Ergül AKÇAKAYA

ŞUBAT 1992

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
SUMMARY.....	IV
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Konu ve Önemi.....	1
1.2 Tezin Amacı Kapsamı.....	2
1.3 Elektromagnetik Saçılma Bağıntısı.....	4
BÖLÜM 2 ADAPTİF BİR GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA ALGORİTMASI... İLE GÖRÜNTÜLEME.....	7
2.1 Giriş.....	7
2.2 Moment Methodu ile Elektromagnetik Saçılma Probleminin Nümerik Çözümü.....	7
2.3 Difraksiyon Tomografisinde Deterministik Görüntüleme Algoritması.....	9
2.4 Difraksiyon Tomografisinde Adaptif Algoritma Yardımı ile Görüntü Oluşturulması.....	11
BÖLÜM 3 ADAPTİF GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN UYGULAMA ÖRNEKLERİ.....	18
3.1 Giriş.....	18
3.2 Seçilen Uygulama Örnekleri.....	19
3.3.1 Birinci Uygulama Örneği.....	21
3.3.2 İkinci Uygulama Örneği.....	29
3.3.3 Üçüncü Uygulama Örneği.....	32
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR.....	44
EK.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	48

ÖZET

MİKRODALGA DİFRAKSİYON TOMOGRAFİSİ

İÇİN ADAPTİF BİR GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA ALGORİTMASI

Mikrodalga sistem ve teknolojilerindeki gelişmeler mikrodalga düzenlerinin değişik uygulamalarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Bir cisim yada ortamın fiziksel parametrelerine dokunmaksızın özelliklerini belirlemek, pratikte birçok uygulama alanı bulabilen bir ölçme yöntemidir. Halen değişik kaynaklar (X-ışını, elektromagnetik dalgalar, manyetik rezonans, akustik dalgalar) kullanılarak cisimlerin fiziksel parametre dağılımları bulunmaya çalışılmaktadır. Elektromagnetik dalgalar yardımı ile mikrodalga difraksiyon tomografisinde Fourier difraksiyon teoremine dayanarak zayıf kontrastlı yani Born yaklaşımının geçerli olduğu cisimlerin iki boyutlu kesit parametrelerinin bulunması mümkün olmaktadır. Ancak yüksek kontrastlı dağılımların belirlenmesinde bu teorem yetersiz kalmaktadır. Araştırmacılar bu gibi kuvvetli saçıcı cisimlerin dağılımlarını belirlemek için hızlı ve güvenilir ters saçılma algoritmaları aramaktadırlar. Bu çalışmada halen geliştirilmeye çalışılan algoritmalarından farklı olarak çözüme adaptif hata azaltma yöntemi ile ulaşılması araştırılmıştır.

Tezin birinci bölümünde silindirik bir cisimden saçılan alan değerlerinin ifadesi sunulmuştur. İkinci bölümde ters saçılma bağıntısının moment methodu ile oluşturulması ve saçıcı sistemin modelinin adaptif sisteme uygunluğu gösterilerek, ters saçılma bağıntısının adaptif bir çözümü verilmiştir. Üçüncü bölümde algoritmanın mikrodalga difraksiyon tomografisine uygulanması değişik örnekler ile gösterilip performansı incelenmiştir.

Bu tezde halen kullanılan mikrodalga difraksiyon tomografisinde görüntü oluşturma algoritmaları ile sağlanamayacak resolüsyonda görüntülerinin adaptif algoritmalar yardımı ile basit ve hızlı bir şekilde oluşturulabileceği gösterilerek, adaptif algoritmaların deterministik algoritmalara iyi bir rakip ve tercih edilebilir bir alternatif oluşturduğu ispatlanmıştır.

SUMMARY

AN ADAPTIVE RECONSTRUCTION ALGORITHM FOR MICROWAVE DIFFRACTION TOMOGRAPHY

In the past few years, there has been a growing interest in microwave imaging. However, concerned about the complexity of the mathematical models involved in microwave imaging processes, researchers are currently working on the development of simple, yet efficient and reliable, imaging systems. In the past, several algorithms based on the well-known Fourier diffraction projection theorem were developed for electromagnetic diffraction tomography. Since such algorithms are generally based on Born's or Rytov's approximations, they have been successfully utilized in case of weakly scattering objects. However, they usually fail when applied to strong scatters.

The aim of this thesis is to show that general microwave diffraction imaging formulation illuminates alternative, computationally efficient solution methods for several classes of signal processing problems. Diffraction imaging problems arise in physics, geophysics and acoustics; and in one class of formulations they require a procedure to determine parameters of medium from wave measurements. There exists a close relationship between the physical microwave imaging problems and some issues in signal processing such as the design of digital filters, the development of linear prediction algorithms and their adaptive filter implementations. For many of these problems several efficient algorithms already exist in the literature, but the connection between the different solutions are not always clear.

In this thesis alternative procedures are shown which correspond to conceptually extremely simple, basic ways of solving microwave imaging problems: the so called adaptive prediction methods. Examples include LMS method for determining the optimal medium parameters.

Consider the two dimensional scattering problem shown in Fig.1.; where the formation is characterized by an index of refraction $n(\vec{r})$ which is equal to a real constant (no loss of generality) except over some finite region S that is contained between the source and receiver arrays. No assumption will be made concerning the magnitude of index $n(\vec{r})$ so that the developed theory will be valid for both strongly and weakly scattering formations. However, the formation is two-dimensional so that $n(\vec{r})$ is a function depending only on x and y as illustrated. The plane wavefield is generated by a suitable linearly phased line sources. The wavefield satisfies the reduced wave equation which can be written in the form

$$[\nabla^2 + k^2]U(\vec{r}) = O(\vec{r})U(\vec{r}) \quad (1)$$

where $O(\vec{r})$ is called as object function

$$O(\vec{r}) = k^2[1 - n(\vec{r})] \quad (2)$$

where $\vec{r}$ denotes the two-dimensional position vector, ∇^2 is the two-dimensional Laplace operator and $k=2\pi/\lambda$ is the wave number in the region exterior to S ; in which the index of refraction $n(\vec{r})=1$.

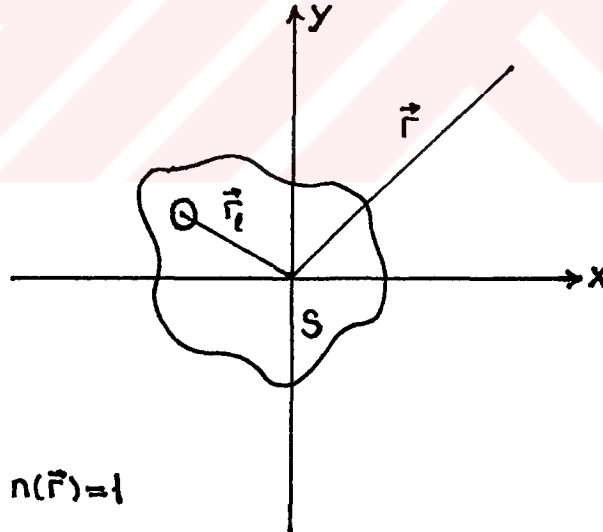


Figure 1. Geometry of the scattering system.

The solution to equation (1) are given as

$$U(\vec{r}) = U_{in}(\vec{r}) + \int_s O(\vec{r}') U(\vec{r}') G(\vec{r}, \vec{r}') d\vec{r}' \quad (3)$$

where $U_{in}(\vec{r})$ represents incident wave into the object from source and $G(\vec{r}, \vec{r}')$ is the Green function for a homogeneous medium

$$G(\vec{r}, \vec{r}') = -\left(\frac{j}{4}\right) H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}'|) \quad (4)$$

with $H_0^{(2)}$ the Hankel function of the second kind representing an outgoing wave for assumed $\exp(j\omega t)$ time dependence. The scattered wavefield is defined to be the difference between the total and incident wavefields.

$$U_s(\vec{r}) = U(\vec{r}) - U_{in}(\vec{r}) \quad (5)$$

$$U_s(\vec{r}) = \left(\frac{j}{4}\right) k^2 \int_s O(\vec{r}') U(\vec{r}') H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}'|) d\vec{r}' \quad (6)$$

Let us divide the cross section of the object into L cells sufficiently small so that the index $n(\vec{r}) = n_l$ and total wavefield intensity $U(\vec{r}) = U_l$ are essentially constant over each cell. The scattered wavefield outside the object can then be written [1]

$$U_s(\vec{r}) = \frac{(j\pi k)}{2} \sum_{l=1}^L (n_l - 1) U_l a_l J_1(ka_l) H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}_l|) \quad (7)$$

where a is the radius of the circular region and J_1 is the Bessel function of the first kind. The scattered wavefield at any point $\vec{r}$ outside the object is given by

$$U_s(\vec{r}) = \sum_{l=1}^L w_l v_l(\vec{r}) \quad (8)$$

$$w_l = \frac{(j\pi k)}{2} (n_l - 1) U_l a_l J_1(ka_l) \quad (9)$$

$$v_l(\vec{r}) = H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}_l|) \quad (10)$$

The scattering system of Fig.1 models a general linear system with input ($v_1(\vec{r})$) and output ($U_s(\vec{r})$) relation. Where the coefficients w_1 are simply the spatial mapping of the system's weighting. In the scattering terminology, the w_1 provide the local parametrization of the propagation medium.

For each scattered wave, one equation can be written relating these unknowns to the measured data. Doing this for each scattered wave enables one to obtain a system of K equations in L unknowns. The problem of estimating w_1 has now been reduced to solving the set of linear equation in (8). However, several problems remain. First, the data $U_s(\vec{r})$ is not known exactly in any practical case as a result of various sources of noise in the system and approximations in the discrete model. Generally this will cause (8) to be inconsistent. Second, the number of independent equations, as determined by the scanning geometry, is usually insufficient to determine w_1 uniquely. Finally, in many cases the number of equations is too large for direct matrix inversion or pseudo-inversion techniques. For example, if we desire a resolution corresponding to 100x100 cells, then there will be 10000 unknowns and an equation coefficient matrix of perhaps 10000x10000. Although the equation coefficient matrix is sparse, standard solution methods are impractical.

Basically, an iterative method treats one equation at a time. In the case of system (model parameters) identification, the model takes the form of linear combination equations (8) where the significant terms, as well as coefficients, are to be estimated. The difference between $U_s(\vec{r}_m)$ and its estimated value at any time m and location $\vec{r}_m$ is called estimation error.

$$e(\vec{r}_m) = U_s(\vec{r}_m) - W^H V(\vec{r}_m) \quad (11)$$

$$W^T = [w_1 \quad w_2 \quad \dots w_L] \quad (12)$$

$$V^T(\vec{r}_m) = [v_1(\vec{r}_m) \quad v_2(\vec{r}_m) \quad \dots v_L(\vec{r}_m)] \quad (13)$$

where the superscript T denotes transposition and H denotes Hermitian transposition. The minimum mean-square error criterion is used to optimize the coefficients. Specifically, the weights are chosen so as to minimize an index of performance, $J(W)$, defined as the mean-square value of the estimation error or mean-square error (mse):

$$J(W) = E[e(\vec{r}_m)e^*(\vec{r}_m)] \quad (14)$$

where the asterisk denotes complex conjugation and E denotes the expectation operator. Substituting equations (11) and its complex conjugation in (14), one can write the mse as

$$J(W) = \sigma_u^2 - p^H W - W^H p + W^H R W \quad (15a)$$

$$\sigma_u^2 = E[U_s(\vec{r}_m) U_s^*(\vec{r}_m)] \quad (15b)$$

$$p = E[V(\vec{r}_m) U_s^*(\vec{r}_m)] \quad (15c)$$

$$R = E[V(\vec{r}_m) V^H(\vec{r}_m)] \quad (15d)$$

By minimizing $J(W)$, one can obtain the best or optimum coefficient in the minimum mean-square sense. The method of steepest descent uses gradients of the mean-square $J(W)$ in seeking its minimum. The gradient at any point $\vec{r}$ may be obtained by differentiating the mse function, equation (15a), with respect to the coefficients vector W . The gradient vector is

$$\nabla J = -2p + 2RW \quad (16)$$

Setting the gradient to zero to find the optimal coefficients W one obtains,

$$RW_{op} = p \quad (17a)$$

$$W_{op} = R^{-1} p \quad (17b)$$

which is the Wiener-Hopf equation in matrix form. If it were possible to make exact measurements of the gradient vector at any $\vec{r}$ point, the coefficients computed by using the steepest descent method would indeed converge to optimum Wiener solution. However, exact measurements of the gradient vector are not possible, and gradient vector must be estimated from the available data. In other word coefficients are updated in accordance with an algorithm that adapts to incoming scattering waves at any point. One such algorithm is the least-mean-square (LMS) algorithm. The simplest choice of estimators for R and p is the instantaneous estimate which is based on sample values of the scattering wave and $V(\vec{r})$ function, as defined by,

$$\hat{R} = V(\vec{r}_m) V^H(\vec{r}_m) \quad (18a)$$

$$\hat{p} = V(\vec{r}_m) U_s^*(\vec{r}_m) \quad (18b)$$

$$\hat{\nabla} = -2V(\vec{r}_m) U_s^*(\vec{r}_m) + 2V(\vec{r}_m) V^H(\vec{r}_m) \hat{W} \quad (18c)$$

Substituting the estimate of gradient vector (18c) in the steepest-descent algorithm [2], one can get an updating relation for the coefficients

$$e(\vec{r}_m) = U_s(\vec{r}_m) - W_m^H V(\vec{r}_m) \quad (19)$$

$$W_{m+1} = W_m + \mu V(\vec{r}_m) e^*(\vec{r}_m) \quad (20)$$

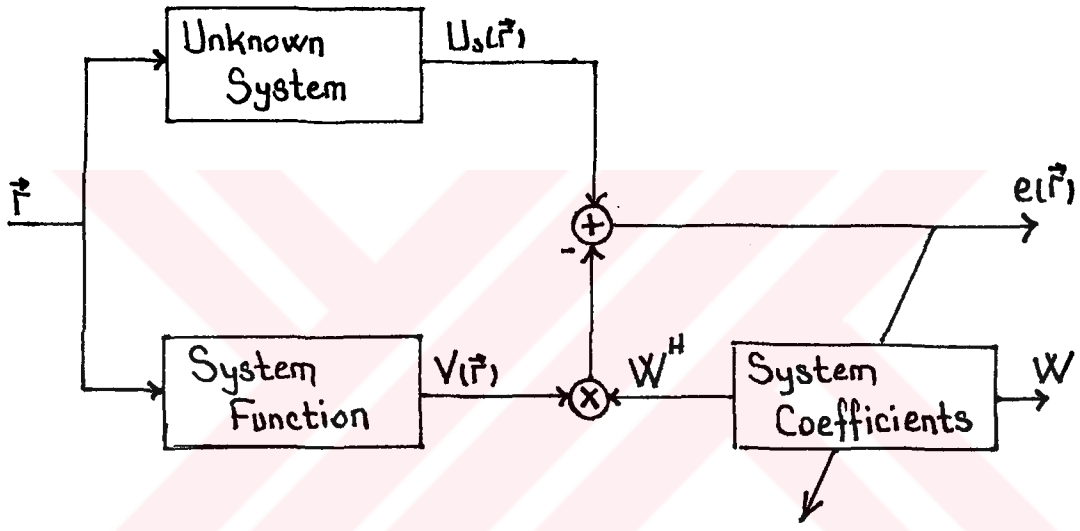


Figure 2. Flow graph of adaptive system

Fig.2 describes the flow graph of the adaptive system defined by (19) and (20). The iterative procedure is started with initial guess W (one may set $W_0 = 0$). μ is a positive real-valued constant and controls the size of the incremental correction. The convergence speed of the LMS algorithm depends on the choice of the step size μ . The larger the step size is, the faster the convergence becomes. However, large step sizes lead to instability. The step size must lie in the following range to insure stability,

$$0 < \mu < \frac{2}{\text{total input power}} \quad (21)$$

where the total input power refers to the sum of the mean-square values of the system inputs $U(\vec{r}_m)$. If the step size parameter μ could not be chosen suitable, one can use the normalized LMS algorithm, equation (21) turns as

$$W_{m+1} = W_m + \frac{\mu}{||V(\vec{r}_m)||^2} V(\vec{r}_m) e^*(\vec{r}_m) \quad (22)$$

where $||\cdot||$ is the norm operation and μ have to be chosen as

$$0 < \mu < 2 \quad (23)$$

To demonstrate the performance of the LMS adaptive algorithm, three different type object functions are used in section fifth. These objects shown in Figure 3.1 and Fig.3.2 which does not have any symmetry properties. The adaptive system used in the simulation is depicted in Fig.2. Reconstructed object are given in Fig.3.4, Fig.3.6 and Fig.3.8. Numerical performance of the algorithm presented in for different kinds of SNR.

The adaptive system identification algorithm presented does not require a priori knowledge of, or assumptions about. LMS algorithm can be find the optimal solution slowly. However, in practice, the use of LMS algorithm is wide-spread due to its computational simplicity. Alternatively, the convergence behavior of the another recursive least square (RLS) algorithm is independent of the spectral characteristics of the scattering wavefield. For the LMS algorithm, such a dependence is very strong. The LMS algorithm lead to a computational complexity of $O(L)$, but the RLS solution can be recursively computed using the well-known conventional algorithm with a complexity of $O(L^2)$ computations. Otherwise the usual way of solving linear equations (deterministic inverse scattering problem) requires an $O(L^3)$ computation.

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Konu ve Önemi

Mikrodalga sistem ve teknolojilerindeki gelişmeler mikrodalga düzenlerinin değişik uygulamalarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Elektromagnetik veya akustik dalgalar kullanılarak gerçekleştirilebilen ters saçılma yöntemleri, bir cismin doğrudan ölçme yolu ile belirlenemeyen çeşitli fiziksel özelliklerinin bulunmasına imkan verir. Ölçme tekniğinin pahalı veya cisme erişmenin imkansız olduğu durumlarda ilgilenilen cismin fiziksel özelliklerini dolaylı yollardan bulmak gerekmektedir. Bu tür yöntemler günümüzde tıp, tahribatsız deneyler, uzaktan algılama, geofizik araştırmaları ve benzeri uygulamalarda çok büyük yararlar sağlayabilmektedir.

Genel olarak ters saçılma probleminde, cismin bilinmeyen fiziksel özellikleri ile geometrisi ve malzeme parametrelerinin uzaydaki dağılımı bulunur. Bu amaçla araştırılan cisme nüfuz edebilecek bir dalga gönderilir. Cisimden saçılan alanın uzaktan ölçülmesi ile o cismin çeşitli özelliklerinin belirlenmesi istenir. Bilinen bir cisimden saçılan alanların belirlenmesi ise, yine çok önemli bir konu olan düz saçılma problemini oluşturur. Cisme uygulanan dalga kullanım alanına göre elektromagnetik, akustik veya elastik dalgalar olabilir.

Tomografi, bir cismin bir dalga kaynağı ile aydınlatılması durumunda cisimden saçılan alanların data olarak toplanması ve bu

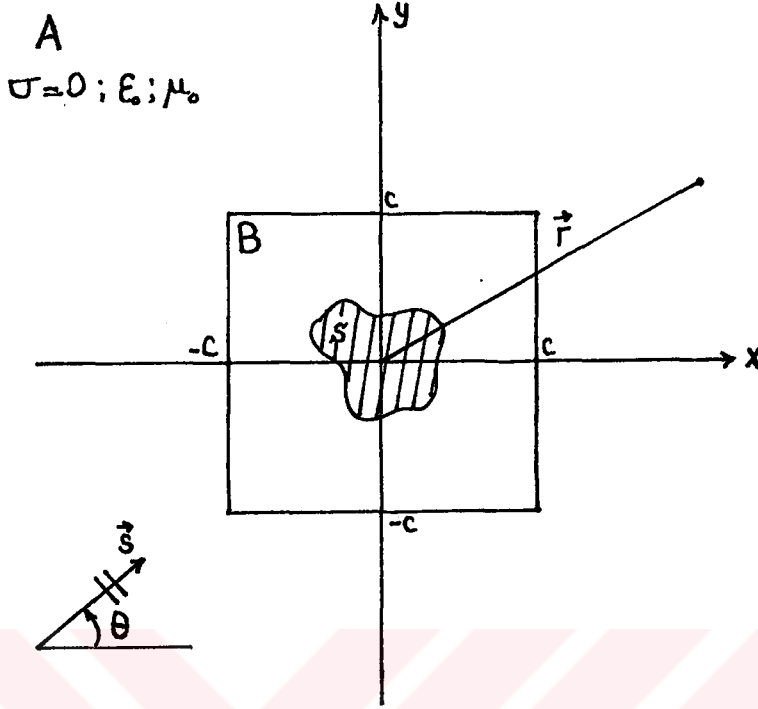
data yardımı ile cismin belli bir kesit görüntüsünün bilgisayarla çıkarılmasıdır. Görüntülenmesi istenilen cisimdeki homogensizlikler, cismi aydınlatan kaynağın ürettiği dalga boyu mertebesinde veya daha küçük ise geometrik optik yaklaşımı kullanılamaz ve difraksiyon tomografisi adını alan bu durumda çözümün dalga denklemlerinden hareketle belirlenmesi gerekir. Difraksiyon tomografisinde kullanılan görüntüleme algoritmalarına Fourier difraksiyon izdüşüm algoritması ve filtreli ters propagasyon algoritmaları örnek olarak verilebilir [3], [4], [5].

Difraksiyon tomografisinde dalga denklemi bazı yaklaşıklıklar altında çözülerek, cismin fiziksel özelliklerini karakterize eden cisim fonksiyonu ile cisimden saçılan alanlar arasındaki ilişki belirlenir. Bulunan integral denklemden cisim fonksiyonunun görüntüsü çeşitli işaret işleme tekniklerinden yararlanarak oluşturulur.

Difraksiyon tomografisi, X-ışınlı tomografi ile karşılaştırıldığında, kullanılan dalgaların iyonize edici olmaması nedeni ile, tıpta zararlı olmayan bir alternatif yöntemdir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeye paralel olarak difraksiyon tomografisi artan bir ilgi ile uygulama alanına girmektedir.

1.2 Tezin Amacı ve kapsamı

Bu tezde, fiziksel özellikleri ve geometrisi bilinmeyen ve homogen olmayan bir cisme uygulanan düzlemsel elektromagnetik dalga boyu saçılması sonucunda oluşan saçılan alanların bir ölçme düzeni ile örneklenerek alınması ve bu datadan yararlanarak cismin daha önceki araştırmacıların kullandıklarından farklı bir algoritma ile görüntülenmesi amaçlanmıştır.



Sekil-1.1. Saçıcı sistemin geometrisi

Şekil.1.1. de görüldüğü gibi kartezyen koordinatlar sisteminde (Oxyz) verilmiş bir c pozitif sayı için, $|x| > c$ veya $|y| > c$ bölgesinin (A bölgesi), elektromagnetik özellikleri basit (homogen, izotrop, zamanla değişmeyen, lineer) malzemedan oluştuğunu düşünelim. Bu durumda $|x| < c$ ve $|y| < c$ bölgesinde (B bölgesi), ekseni Oz eksenine paralel ve elektromagnetik özellikleri x ve y ile değişen silindirik bir S cismi bulunsun. Tezin kapsamı, A bölgesinde yapılacak bir takım saçılan alan ölçmeleri ile S bölgesinin konumunu, geometrik şeklini, dielektrik sabitini, magnetik geçirgenliğini ve iletkenliğini belirlemektir. Bu amaçla, A bölgesinde yaratılarak, S cismine dik yönde yayılan düzlemsel dalgaların S cismi ile etkileşimi ile oluşan saçılan alanlar yine A bölgesinde ölçülür. Elde edilen datalardan S cismine ilişkin fiziksel parametreler bulunur. Bu parametrelerin ortaminkinden farklı olduğu bölgeler S cisminin yerini ve geometrik şeklini belirler. değerleri ise S'in elektromagnetik özelliklerini verir.

Tezde, matematiksel bağıntıların basitleşmesi amacı ile, bütün uzayda iletkenliğin sıfır, magnetik geçirgenliğin aynı olduğu ve S cisminin izotrop, lineer, zamanla değişmeyen bir malzemeden oluştuğu varsayılacaktır. Genel halde vektörel bir problem olan elektromagnetik saçılma problemi bu varsayımlar yardımı ile elektrik alanı Oz eksenine paralel olan dalgalar kullanıldığında skaler probleme indirgenebilir [6].

1.3. Elektromagnetik Saçılma Bağıntısı

Saçıcı sistemin geometrisinin şekil-1.1'deki gibi olduğunu düşünelim. A bölgesi fiziksel parametreleri $\sigma=0$, ϵ_0 ve μ_0 olan basit bir malzemeden oluşmuştur. B bölgesinin içinde Oz eksenine dik kesiti S ve fiziksel parametreleri $\sigma=0$, ϵ_r ve μ_0 olan izotrop, lineer, zamanla değişmeyen Öz eksenine paralel silindirik $\bar{O}$ cismi bulunmaktadır. Bu bölümde, A bölgesinde yaratılmış elektrik alanı Oz eksenine paralel monokromatik (zaman bağımlılığı $\exp(j\omega t)$ olan) düzlemsel dalgaların $\bar{O}$ cismi ile etkileşimleri ile oluşan saçılan alanların yine A bölgesinde ölçülerek cismin ϵ_r bünye parametresi belirlenmeye çalışılacaktır.

Yukarıda anlatılan ters saçılma probleminin çözümünü bulabilmek için, ilk olarak düzlemsel dalga ile cismin etkileşiminden oluşan saçılan alanın A bölgesindeki ifadesinin bilinmesi gerekir. A bölgesinde elektrik alanı z polarizasyonlu düzlemsel bir gelen dalga yaratılmış olsun. $\vec{e}_x$ ve $\vec{e}_y$, Ox ve Oy eksenleri doğrultusundaki birim vektörler, $\vec{r}$ ise Oxy koordinat sisteminde yer vektörüdür.

$$E_x = 0 \quad E_y = 0 \quad E_z = U_z(\vec{r}) \quad (1.1)$$

Bu şartlar altında, saçılma problemi fiziksel ve geometrik özelliklerinden dolayı Oz koordinatından bağımsız hale gelmektedir.

Gelen düzlemsel dalganın elektrik alan bileşeni z polarizasyonlu olduğunda bütün uzayda var olacak toplam dalganın elektrik alan bileşeni de yalnızca z polarizasyonludur.

$$U_i(\vec{r}) = \exp(-jk(\vec{r})s\vec{r}) \quad (1.2a)$$

olmak üzere

$$\vec{s} = \vec{e}_x \cos(\theta) + \vec{e}_y \sin(\theta) \quad (1.2b)$$

$\vec{s}$ şekil-1.1. de gösterildiği gibi gelen düzlemsel dalganın yayılma doğrultusunu belirleyen vektördür ve pozitif Ox eksenini ile yaptığı açı θ dır. $k(\vec{r})$ ise ortamın dalga sayısıdır ve

$$\epsilon_r(\vec{r}) = \frac{\epsilon(\vec{r})}{\epsilon_0} \quad (1.3a)$$

$$k(\vec{r}) = \frac{w}{c} \sqrt{\epsilon_r(\vec{r})} \quad (1.3b)$$

bağıntıları ile tanımlanır, c boşluk dalga hızı, w açısal frekans, $\epsilon_r(\vec{r})$ bağıl dielektrik sabitidir.

Difraksiyon tomografisinde bulunmak istenilen cisim fonksiyonu

$$O(\vec{r}) = \epsilon_r(\vec{r}) - 1 \quad (1.4)$$

şeklinde seçersek, S bölgesinin dışında $O(\vec{r})=0$, içinde ise $O(\vec{r})>0$ olmaktadır.

Homogen ortamda, yukarıda belirlenen durum için dalga denklemi skaler Helmholtz denklemine indirgenir [6]. Bütün uzayda toplam alan $U(\vec{r})$ bu denklemi sağlamaktadır.

$$[\nabla^2 + k^2(\vec{r})]U(\vec{r}) = 0 \quad (1.5)$$

iki boyutlu gradyant operatörüdür. Tüm uzayda saçılan alan, toplam alanla gelen alan arasındaki fark olarak tanımlanır ve (1.5) denkleminde yerine konulursa, gelen alanın skaler Helmholtz denklemini sağladığı göz önüne alınarak ve (1.4) yardımı ile,

$$[\nabla^2 + k^2]U_s(\vec{r}) = -k^2 O(\vec{r})U(\vec{r}) \quad (1.6a)$$

$$k = 2\frac{\pi}{\lambda} \quad (1.6b)$$

elde edilir. Burada k , S cisminin dışındaki ortamın dalga sayısını göstermektedir. (1.6a) denklemi Green fonksiyonu kullanılarak integral denkleme indirgenir [7],

$$U_s(\vec{r}) = k^2 \int_S O(\vec{r}')U(\vec{r}')G(\vec{r},\vec{r}')d^2r' \quad (1.7)$$

(1.7) ifadesinin sağ tarafındaki integralin içindeki $U(\vec{r})$, S bölgesindeki toplam alanı göstermektedir. Bu nedenle S bölgesinde toplam alan bilinmeden cismin dışındaki bir $\vec{r}$ noktasındaki saçılan alan analitik olarak bulunamaz.

İKİNCİ BÖLÜM

ADAPTİF BİR GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA ALGORİTMASI İLE GÖRÜNTÜLEME

2.1. Giriş

Birinci bölümde çıkarılan (1.7) integral denkleminde saçılan alanın açık ifadesini elde etmek ancak bazı yaklaşıklıklar altında mümkün olmaktadır. Fourier difraksiyon teoreminde kullanılan Born ve Rytov yaklaşımları ile S bölgesini alt bölgelere ayırarak saçılan alanı ifade eden moment methodu en çok kullanılan yaklaşıklık yöntemleridir [8], [1]. Bu bölümde geniş uygulama imkanına sahip olan moment methodu kullanılmıştır. A bölgesindeki saçılan alan, integral denklem ayrıştırılarak toplam formülü ile ifade edilmiş ve bulunan ifadenin çözümü için alternatif bir algoritma geliştirilmiştir.

2.2. Moment Methodu ile Elektromagnetik Saçılma Probleminin Nümerik Çözümü

(1.7) integral denkleminin sağ tarafındaki Green fonksiyonu, A bölgesindeki homogen ortamda,

$$G(\vec{r}, \vec{r}') = -\left(\frac{j}{4}\right) H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}'|) \quad (2.1)$$

olarak alınabilir. $H_0^{(2)}$, sıfıncı mertebeye ikinci çeşit Hankel fonksiyonudur. (2.1) ve (1.4) bağıntıları (1.7) integral denkleminde yerine yazılırsa:

$$U_e(\vec{r}) = -\left(\frac{j}{4}\right)k^2 \int_S (\epsilon_r(\vec{r}') - 1) U(\vec{r}') H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}'|) d^2 r' \quad (2.2)$$

elde edilir. S bölgesini kaplayan $\bar{O}$ cisminin, dielektrik parametresi $\epsilon(\vec{r})$ ve toplam elektrik alanın z-polarizasyonlu bileşeni $U(\vec{r})$ 'nin sabit kaldığı yeteri kadar küçük S alt bölgelerine ayrıldığını var sayalım. Bu durumda (2.2) ifadesinin sağ tarafındaki integral içinde bulunan, integral değişkeninden bağımsız terimler ayrıştırılarak (2.2) bağıntısı bir toplam formülü ile ifade edilebilir.

$$U_e(\vec{r}) = \sum_{i=1}^L w_i v_i(\vec{r}) \quad (2.3a)$$

$$w_i = -(\epsilon_i - 1) U_i \quad (2.3b)$$

$$v_i(\vec{r}) = \left(\frac{j}{4}\right)k^2 \int_{S_i} H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}'|) d^2 r' \quad (2.3c)$$

Burada, S_i l'inci alt bölgenin kesit alanını, ϵ_i ve U_i yine l'inci bölgede değişmediği kabul edilen dielektrik sabiti ile toplam alandır. (2.3c) integrali çeşitli nümerik integrasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanabilir. Ancak çok fazla hesaplama zamanı alacak olan bu yol kullanım açısından uygun değildir. Bunun yerine $v_i(\vec{r})$ nin analitik ifadesi bulunmaya çalışılır. S_i alt bölgelerinin a_i yarıçaplı seçildiği ve $\vec{r}$ noktasının S hücresinin dışındaki olduğu varsayılırsa,

$$v_i(\vec{r}) = \frac{(j\pi k a_i)}{2} J_1(k a_i) H_0^{(2)}(k|\vec{r} - \vec{r}_i|) \quad (2.4)$$

elde edilir. Bu eşitlikte, J_1 birinci çeşit Bessel fonksiyonu, $\vec{r}_i$ ise l'inci alt bölgenin merkezinin yer vektörüdür. (2.4) bağıntısındaki $\vec{r}$ den bağımsız sabitler w_i nin içine alınır ve gerekli olmamakla

birlikte kullanımda kolaylık sağlamak amacı ile S_1 hücrelerinin yarıçapları birbirine eşit seçilirse $a=a_1$, (2.3b) ve (2.3c) şu şekilde yeniden ifade bulurlar.

$$w_1 = -\frac{(j\pi k a)}{2} J_1(ka) (\epsilon_1 - 1) U_1 \quad (2.5a)$$

$$v_1(\vec{r}) = H_0^{(2)}(k |\vec{r} - \vec{r}_1|) \quad (2.5b)$$

(2.3a), (2.5a) ve (2.5b) denklemleri ile tanımlı, düzlemsel dalga ile aydınlatılan bir cisimden saçılan alan formülü literatürde Richmond veya moment metodu olarak adlandırılmaktadır [6]. Bu bağıntılar yeteri kadar küçük alt bölgeler seçmek şartı ile kuvvetli saçıcı cisimler içinde kullanılabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, Born yaklaşımının geçerli olmadığı yüksek kontrastlı cisimlerin görüntülenmesinde bu bağıntılar sıkça kullanılmaktadır [9], [10].

2.3. Difraksiyon Tomografisinde Deterministik Anlamda Görüntü Oluşturma

Cisimin, eksenine paralel polarizasyonlu düzlemsel bir dalga tarafından aydınlatıldığını düşünelim. Bu durumda gelen alanın propagasyon doğrultusu $\vec{s}$, (2.3a) ifadesinde açıkça görüldüğü gibi yalnızca w_1 katsayılarındaki U_1 toplam alan değerlerine etki etmektedir. $v_1(\vec{r})$ fonksiyonu ise yalnızca seçilen hücrelerin merkez koordinatları r ile saçılan alanın ölçüm noktasına $\vec{r}_1$ 'ye bağlıdır. w_1 katsayıları belirlenmek istenildiğinde, gelen alanın genliği ve propagasyon doğrultusu sabit kalmak üzere A bölgesinde istenildiği kadar farklı $\vec{r}$ noktasında ölçüm yapılabilir.

Mikrodalga difraksiyon tomografisinde hedeflenen, ölçülebilen tüm saçılan alan değerlerini kullanarak en iyi kalitede görüntüyü en hızlı şekilde oluşturmaktır. Halen kullanılmakta olan algoritmalarda, cismin bulunabileceği B bölgesi yukarıda açıklanan şartlara uygun olarak $N \times N$ alt bölgeye ayrılmaktadır. Bu şekilde $L = N \times N$ bilinmeyen katsayı ortaya çıkmaktadır. Bu katsayıların belirlenmesi için L ayrı noktada ölçüm yapılarak oluşturulan lineer denklem sistemi çözülmektedir.

$$VW = U \quad (2.6a)$$

$$W_l = w_l \quad (2.6b)$$

$$V_{(m,l)} = v_l(\vec{r}_m) \quad (2.6c)$$

$$m = 1, 2 \dots L \quad l = 1, 2 \dots L$$

Herhangi bir $\bar{O}$ cisminin belirli bir gelen alan $U(\vec{r})$ değişimi için tüm uzayda $U_s(\vec{r})$ saçılan alan yapısını oluşturduğunu var sayalım. Aynı alan yapısını oluşturacak $\bar{O}$ dan başka bir cisim bulunamaz, aksi takdirde birden fazla bulunacak cisim, sonsuz tanedir yada bütün cisimler aynı alan dağılımını yaratır ve uzayda var olabilecek alan dağılımı tekdir. Bu ise problemin doğasına aykırıdır. Tersine uzayda sonlu sayıdaki noktada aynı alan dağılımı yaratacak cisim sonsuz tanedir. Bu nedenle lineer denklem sistemi sonucunda bulunacak çözüm sonsuz elemanlı bu kümenin bir elemanıdır. Bulunacak çözüm, ölçüm noktaları dışında saçılan alan dağılımını sağlamayabilir. Çözümün daha küçük bir çözüm kümesi içinden bulunması için mümkün olduğu kadar çok noktada ölçüm yapılması gerekir. Bu durumda, bilinmeyen sayısından fazla noktalarda yapılan ölçümler denkleminin iki tarafıda V nin tanspozesinin kompleks eşleniği, V^H , ile çarpılarak

$$V^H V W = V^H U \quad (2.6d)$$

$$[V^H V] W = [V^H U] \quad (2.6e)$$

bulunabilir. (2.6a) veya (2.6e) denklemleri kullanılarak durum

parametreleri w_q 'nin bulunması için doğrudan ters alma yada iteratif algoritmalarla denklem sistemini çözme yoluna gidilebilir. Cisim yüksek çözünürlükle bulunmak istendiğinde ise sistemin boyutları çözülmemeye kadar büyümektedir. Kullanıcılar bu sorunu aşmak için bilinmeyen sayısını az tutarak sistemi çözülebilir boyuta indirmektedirler.

(2.6e) çözümü tek değildir. Çözüm kümesinin çok küçültülebilmesi için sonsuz ayrı noktada ölçüm yapılması gerekir. Bu şekilde bulunabilen görüntü çok sınırlı alanlarda, cisimler hakkında bir ilk tahmin oluşturmakta kullanılabilir.

Pratikte ölçülebilecek bütün dalga değerlerini çok hızlı şekilde işleyecek ve mümkün olduğu kadar az sayıda kısıtlaması olan algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

2.4. Difraksiyon Tomografisinde Adaptif Algoritma Yardımları ile Görüntü Oluşturulması

Üçüncü kısımda çıkarılan görüntü oluşturma yöntemi, düşük çözünürlüğün kabul edilebileceği problemlerde iyi sonuç vermesine rağmen yüksek çözünürlüklere ihtiyaç duyulduğunda uygulanamaz hale gelmektedir. Örnek olarak N 'in 100 seçildiği durumda $L=N \times N=10^4$ bilinmeyenli denklem sistemi oluşmaktadır. Bu sistemin çözümü için 10^4 ayrı noktada saçılan alan değerini ölçmek ve $10^4 \times 10^4$ kompleks sabitin olduğu matris ile işlemler yapmak gerekmektedir. Bu kısımda, yüksek çözünürlüklü görüntülerin oluşturulmasına imkan veren ve aynı zamanda hızlı olan ters saçılma algoritması çıkarılacaktır.

(2.3a) toplam formülünü saçılan alanın A bölgesinde bulunan $\vec{r}$ noktasında matrisel formda yeniden yazarsak,

$$U_s(\vec{r}_m) = W^H V(\vec{r}_m) \quad (2.7a)$$

$$W^T = [w_1 \quad w_2 \quad \dots w_L] \quad (2.7b)$$

$$V^T(\vec{r}_m) = [v_1(\vec{r}_m) \quad v_2(\vec{r}_m) \quad \dots v_L(\vec{r}_m)] \quad (2.7c)$$

elde edilir. $\vec{r}_m$ noktası için rastgele seçilen W katsayıları ile ölçülen saçılan alan arasında fark, $e(\vec{r}_m)$ hata fonksiyonu olarak tanımlanır.

$$e(\vec{r}_m) = U_s(\vec{r}_m) - W^H V(\vec{r}_m) \quad (2.7d)$$

Önceki bölümde açıklandığı gibi, görüntüleme algoritmasından beklenen, sonsuz elemanlı çözüm kümesinden enaz hatalı çözümü seçebilmesidir. Bu amaçla ortalama karesel hatanın bilinmeyen katsayılar cnsinden ifade edilebilmesi gerekir. Bütün uzayda tanımlanan bu ortalama karesel hata:

$$J(W) = E[e(\vec{r}_m)e^*(\vec{r}_m)] \quad (2.8)$$

şeklindedir. E "expectation" beklenen değer operatörüdür. (2.7) bağıntısı (2.8) eşitliğinde yerine konulur ve operatörün toplamsallık özelliği kullanılırsa

$$J(W) = \sigma_u^2 - p^H W - W^H p + W^H R W \quad (2.9a)$$

$$\sigma_u^2 = E[U_s(\vec{r}_m)U_s^*(\vec{r}_m)] \quad (2.9b)$$

$$p = E[V(\vec{r}_m)U_s^*(\vec{r}_m)] \quad (2.9c)$$

$$R = E[V(\vec{r}_m)V^H(\vec{r}_m)] \quad (2.9d)$$

elde edilir. Minimum hatayı verecek optimal, W_{op} , çözümünü bulabilmek için ortalama karesel hata $J(W)$ 'nın W değişkenine göre türetilerek

$$\nabla J = \frac{dJ(W)}{dW} = -2p + 2RW \quad (2.10)$$

sıfıra eşitlemesi yeterli olacaktır. Skaler $J(W)$ 'nın kompleks W katsayılarına göre türetilmesi Ek-A'da açıklanmıştır.

$$RW_{op} = p \quad (2.11a)$$

$$W_{op} = R^{-1} p \quad (2.11b)$$

Bu şekilde bulunacak, W_{op} , optimal katsayılar sonsuz ayrı noktada saçılan alan değerini ölçmek şartı ile (2.6e) çözümü ile özdeştir. Fakat, (2.6e)'de olduğu gibi (2.11b)'nin sağ tarafındaki R ve p matrislerinin tam olarak belirlenmesi pratik olarak imkansızdır. $\vec{r}$ noktasındaki gradyanın doğru olarak hesaplanabildiği durumda, steepest-descent algoritması [2] kullanılarak $e(\vec{r}_m)$ hatasını oluşturan W_m katsayıları ortalama karesel hatayı azaltacak doğrultuda bir artım ile

$$W_{m+1} = W_m - \frac{1}{2} \mu \nabla \quad (2.12)$$

daha az hatalı W_{m+1} değerine ulaşırlar. R ve p matrislerinin belirlenmesinin mümkün olmadığı durumda ise ölçülen saçılan alan ve sistemin giriş fonksiyonları $V(\vec{r}_m)$ kullanılarak bir kestirim yapılabilir. En basit yaklaşımda "expectation" operatörleri kaldırılarak gradyant şu şekilde hesaplanabilir.

$$\hat{R} = V(\vec{r}_m) V^H(\vec{r}_m) \quad (2.13a)$$

$$\hat{p} = V(\vec{r}_m) U_s^*(\vec{r}_m) \quad (2.13b)$$

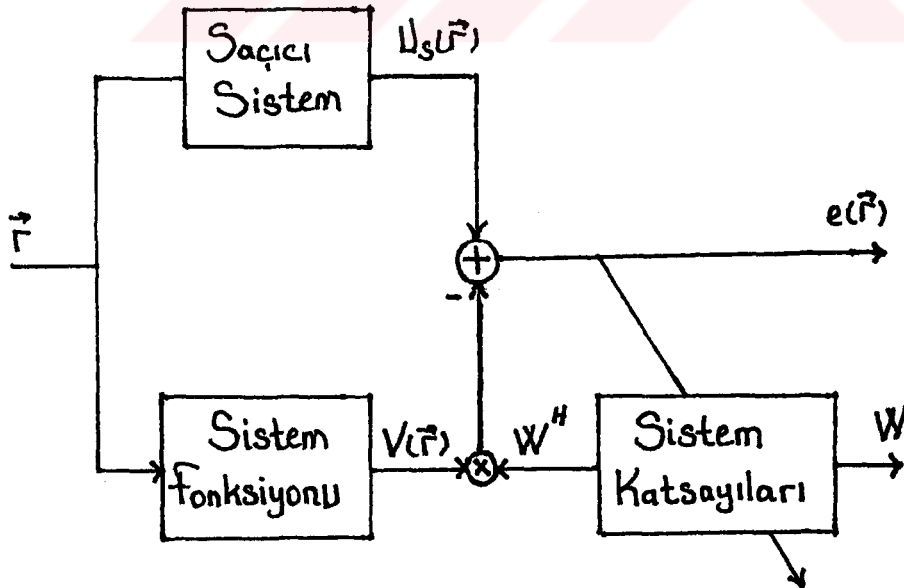
$$\hat{\nabla} = -2V(\vec{r}_m) U_s^*(\vec{r}_m) + 2V(\vec{r}_m) V^H(\vec{r}_m) \hat{W} \quad (2.13c)$$

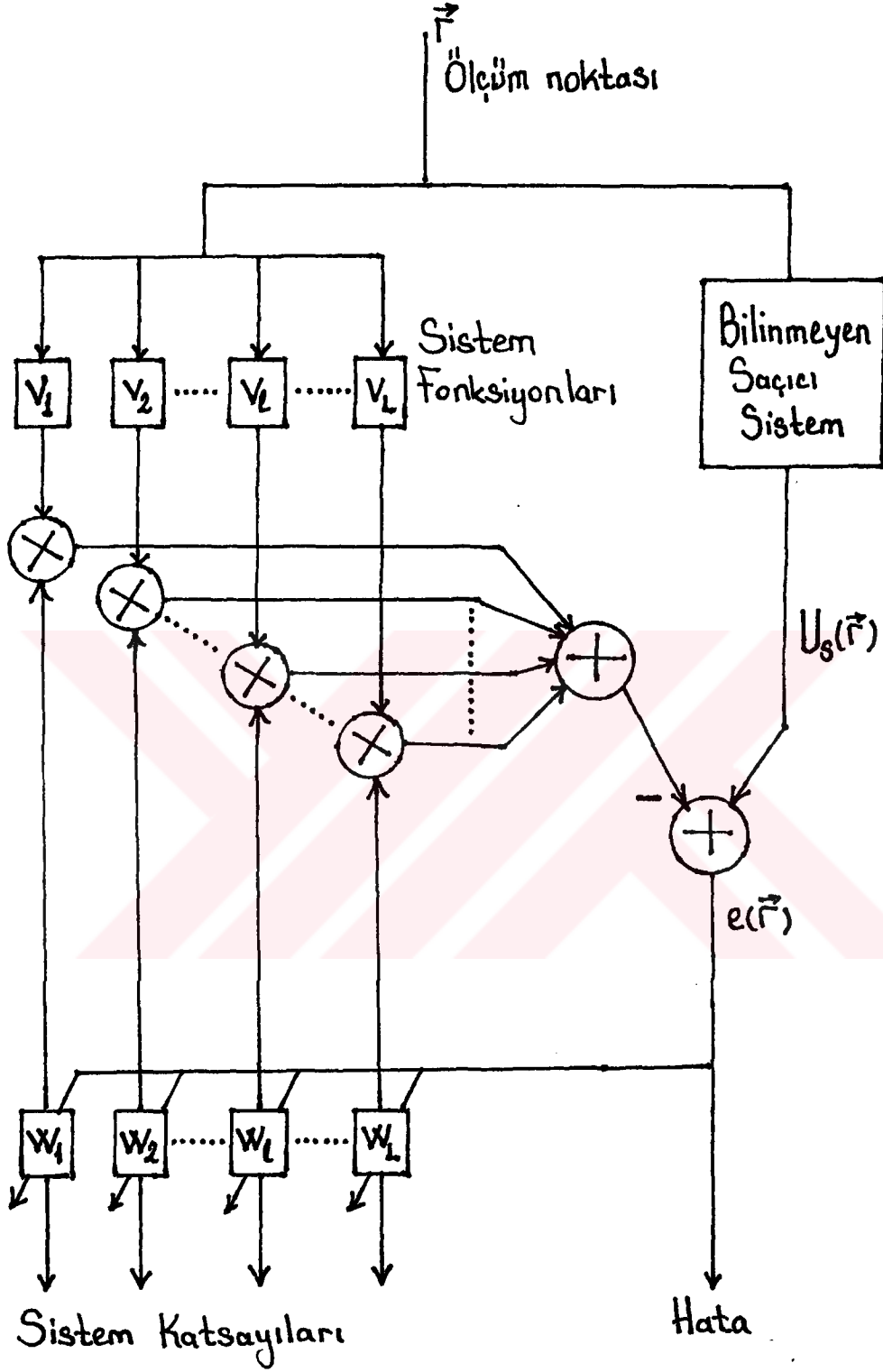
(2.13c) deki gradyanın kestirimi (2.12)'de yerine yazılarak, (2.7) bağıntısı kullanılarak sadeleştirilirse. Ortalama karesel hatayı azaltarak görüntüyü adaptif olarak oluşturan şu bağıntılar elde edilir.

$$e(\vec{r}_m) = U_s(\vec{r}_m) - W_m^H V(\vec{r}_m) \quad (2.14a)$$

$$W_{m+1} = W_m + \mu V(\vec{r}_m) e^*(\vec{r}_m) \quad (2.14b)$$

μ reel değerli skaler bir sabit olup algoritmanın yakınsama hızını belirler. Algoritmanın ilk koşulu W_0 'ı rastgele seçmek mümkündür. Çoğu zaman bu değer $W_0 = 0$ alınarak algoritma başlatılır. Her ölçülecek saçılan alan değerine karşı bir hata hesaplanarak W_m katsayıları daha az hata verecek şekilde yeniden hesaplanır. Algoritmanın blok diyagramı Şekil.2.1'de gösterilmiştir. Algoritmadan W_m katsayıları ve m'inci andaki hata çıkış olarak alınabilir. W katsayılarından görüntülenmek istenilen cismin özellikleri bulunurken hata değerinden ise bulunanların doğrulukları hakkında bilgi sahibi olunabilir. (2.14) bağıntıları ile tanımlanan adaptif algoritma her iterasyonda ortalama karesel hatayı azaltma doğrultusunda ilerlediği için literatürde, LMS "Least-Mean-Square", olarak adlandırılmaktadır. (2.8) 'dekinden farklı tanımlanabilen hata fonksiyonları için değişik adaptif algoritmalar kurulabilmektedir [2]. LMS algoritması, yakınsaması yavaş olmasına karşılık basit ve az işlem gerektirmesinden dolayı pratik olarak geniş bir kullanım alanı bulmuştur.





Sekil-2.1. Adaptif görüntü oluşturma algoritması

LMS adaptif algoritmasının çeşitli özellikleri ayrıtılı olarak literatürde incelenmiştir [2]. Pratikte birçok kullanım alanı bulan algoritmanın görüntü oluşturmada kullanılabilesi için algoritmanın temel kabullerinin probleme uygunluğunun belirlenmesi yeterlidir. Bu kabuller şunlardır [2].

a) Her hangi bir $\vec{r}$ noktası için algoritmanın giriş fonksiyonu $V(\vec{r})$, uzaydaki diğer bütün noktalardaki değerinden istatiksel olarak bağımsızdır.

b) Her hangi bir $\vec{r}$ noktasındaki $V(\vec{r})$ uzaydaki diğer bütün noktalardaki saçılan alan değerinden istatiksel olarak bağımsızdır.

c) Her hangi bir $\vec{r}$ noktası için giriş fonksiyonu ve saçılan alan değeri Gaussien dağılımlı $\vec{r}$ 'nin rastgele fonksiyonlardır.

Algoritma kullanılarak rastgele seçilen W_m değerinden optimal değere yakınsaması μ parametresinin uygun seçilmesine bağlıdır. Pozitif değerli skaler μ parametresi yakınsamayı sağlayacak şekilde aşağıdaki arada değerler alması gerekir.

$$0 < \mu < \frac{2}{\text{toplam giriş gücü}} \quad (2.15)$$

toplam giriş gücü problemimizde algoritmanın giriş fonksiyonlarının enerjisidir. Algoritmanın giriş gücünün üst sınırı tahmin edilemediği durumda algoritmanın yakınsamasını sağlamak amacı ile normalize LMS algoritması kullanılabilir. Bu durumda katsayıların yeniden hesaplanma bağıntısı ile μ 'nün yakınsama kriteri şu yapıda olacaktırlar [2].

$$W_{m+1} = W_m + \frac{\mu}{||V(r_m)||^2} V(\vec{r}_m) e^*(\vec{r}_m) \quad (2.16)$$

$$0 < \mu < 2$$

(2.17)

μ skaler sabitinin aldığı değerlere göre algoritmanın optimum değere yakınsama davranışı değişmektedir. μ 'nın büyük değerlerinde katsayılardaki değişim hızlı olmakta fakat optimum değer etrafında salınım artmaktadır. μ 'nın küçük değerlerinde değişim yavaş olmasına karşılık optimumda değer etrafında salınım azalmaktadır. Bu yüzden iterasyonların başlangıcında μ 'nın değeri mümkün olduğu kadar büyük seçilir, ilerleyen iterasyonlarda μ küçültülerek yakınsama davranışı iyileştirilebilir. Literatürde hatanın büyük değerlerinde büyük adım büyüklüğü küçük değerlerinde küçük adım büyüklüğü kullanan DS-LMS (Dual-Sign) algoritmasının daha hızlı yakınsadığı gösterilmiştir [11]. LMS algortması basit olmasına karşılık saçılan alanın spektral özelliklerinden çok fazla etkilenmektedir. Kompleks yapıdaki cisimlerin oluşturduğu yüksek frekanslı bileşenleri içeren saçılan alanlar için algoritmanın alan değerlerine kilitlenme kabiliyeti azalmaktadır. Saçılan alanların spektral özelliklerine bağımlılığı az olan RLS ise LMS den daha karışık bir algoritma olmakla birlikte $O(L^2)$ işlem gerektirmektedir. LMS ise her bir iterasyonda $O(L)$ işlem yapmaktadır. Yinede deterministik anlamda çözen algoritmalar yanında bu işlem sayılar boyut arttıkça üstel olarak azalmaktadır. Bu algoritmalar matrisel işlemlerde $O(L^3)$ işlem yapmaktadırlar.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ADAPTİF GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

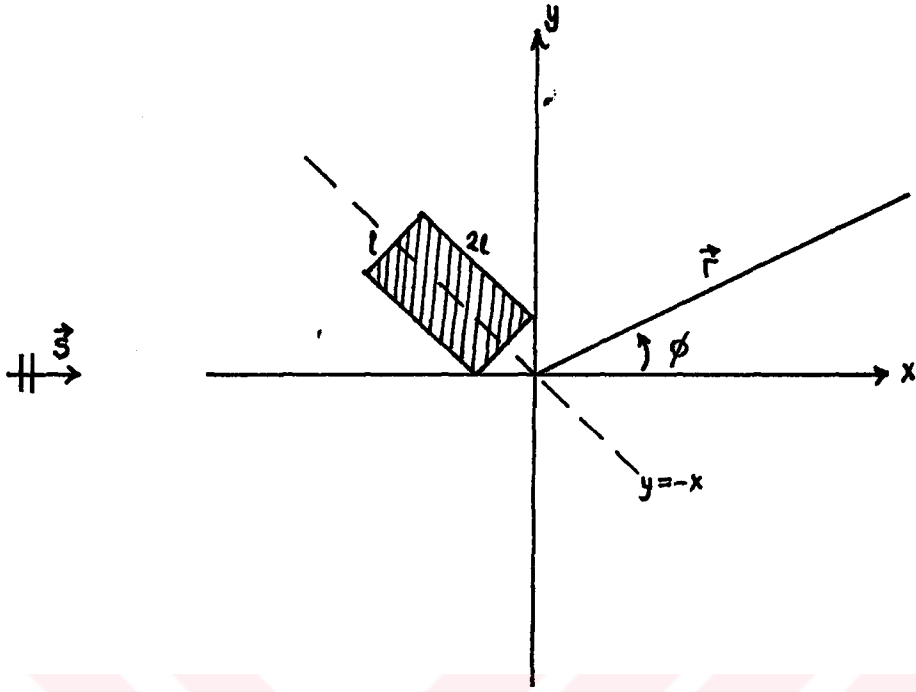
3.1. Giriş

Birinci bölümde tanımlanan iki boyutlu elektromagnetik saçılma problemi, ikinci bölümde moment metodu kullanılarak bir saçıcı sistem olarak modellenmiştir. Bu sistem, ancak bir uyarma halinde çıkışında saçılma üretmektedir. Sistemi uyaran kaynağın birinci bölümde tanımlanan şartlara uygun olarak sabit kaldığı durumda, saçıcı sistemin çıkışı, ölçülmek istenilen saçılan alan noktasına bağlı olarak bilinen fonksiyonların lineer kombinasyonundan oluşmaktadır. Bu ifadede bulunan ve ölçüm noktası ile değişmeyen sabitler cismin yeri, geometrisi ve fiziksel parametresini içeren bilgileri bünyesinde toplamaktadır. Zayıf saçıcı cisimler için bu bilgiler doğrudan bulunabilirken, yüksek kontrastlı cisimlerde cismin fiziksel büyüklüklerini belirlemek için ek bağıntılara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bölümde daha önce kullanılan yöntemlerle gerçekleştirilemeyen yüksek kontrastlı cisimlerin sistem sabitlerinin belirlenmesinin, tezde önerilen adaptif görüntü oluşturma algoritması kullanılarak hızlı bir şekilde elde edilebileceği örnek uygulamalar ile gösterilmiştir.

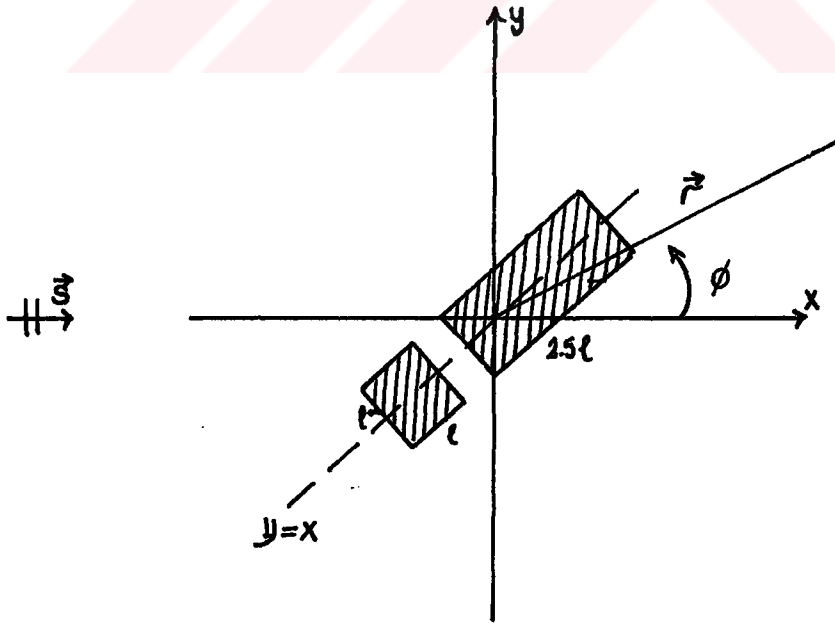
3.2. Seçilen Uygulama Örnekleri

Adaptif görüntü oluşturma algoritmasının çalışması iki farklı geometrik özelliğe sahip cisim üzerinde denenmiştir. Bu tezde örnek olarak seçilen algoritmanın yavaş yakınsama özelliğine sahip olduğu göz önünde tutularak, seçilen örneklerin spektrumlarının yüksek frekanslı bileşenleri içermemesine özen gösterilmiştir. Bu özelliklere sahip iki geometri şekil.3.1. ve şekil.3.2 de gösterilmişlerdir. Bu cisimler, algoritmanın girişini oluşturacak saçılan alanların hiçbir simetri özelliğine neden olmayacak şekilde bir gelen dalga ile Ox doğrultusunda aydınlatılmışlardır. Cismin çevresinde saçılan alanlar cisimden sabit bir uzaklıkta dairesel ölçme düzeni ile ölçülmüştür. Fourier difraksiyon teoreminde Born yaklaşımının geçerli olduğu haldeki gibi dairesel ölçme düzeni görüntünün oluşturulmasında daha iyi sonuç vermektedir. Cisim hakkındaki bilgiyi içeren saçılan alan değerlerinin cisimden uzaklaştıkça $1/r$ ile söndükleri gözönüne alınırsa, cismin çevresindeki tüm değişim cisim bilgisini tam içermektedir. Bu nedenle adaptif görüntü oluşturma algoritmasında da dairesel ölçme düzeni ile daha iyi sonuç alınacağı doğaldır.[12].

Bu bölümde verilen tüm grafikler normalize olarak sunulmuştur. Kullanılan adaptif sistem sabit bir katsayı ile çarpılarak bu normalizasyon işlemi yapılabilir. Negatif değerlerde alabilen büyüklükler mutlak maksimumlarına göre normalize edilmişlerdir. Seçilen örneklerde birinci bölümde açıklandığı gibi iletkenliğin tüm uzayda sıfır ve magnetik geçirgenliğin ise tüm uzayda sabit olduğu varsayılmıştır. Bu durumda cismi yalnızca dielektrik özellikleri karakterize etmektedir.



Şekil:3.1- Uygulama Örneği 1'in geometrik şekli



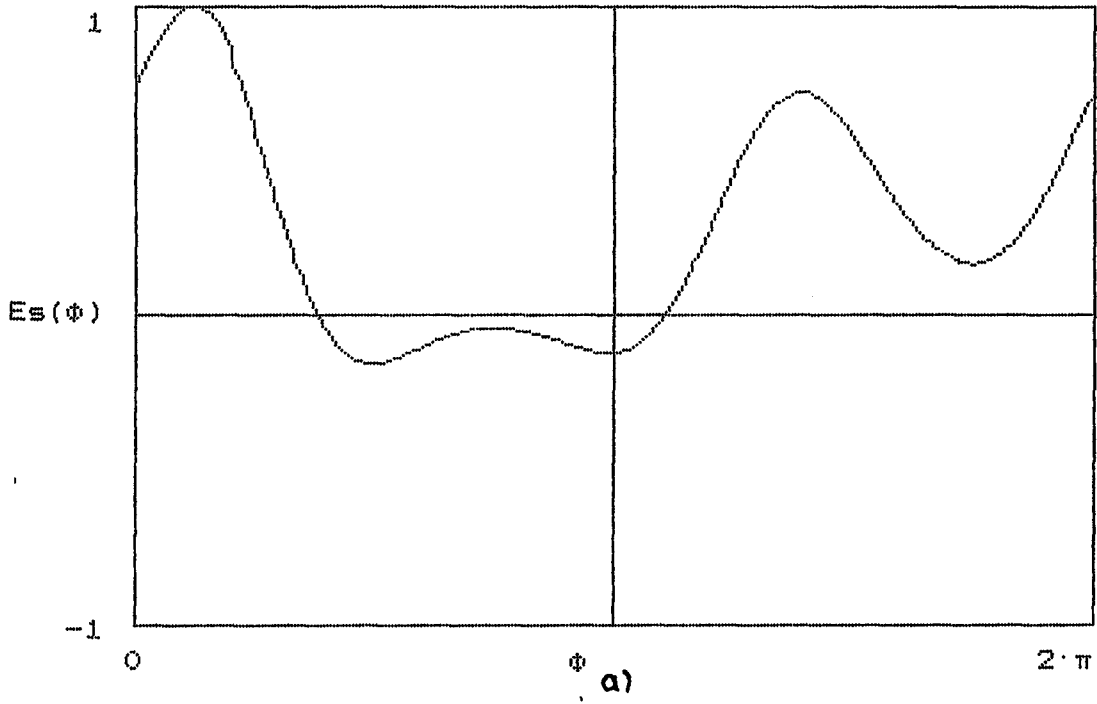
Şekil:3.2- Uygulama Örneği 2'in geometrik şekli

3.3.1. Birinci Uygulama Örneği

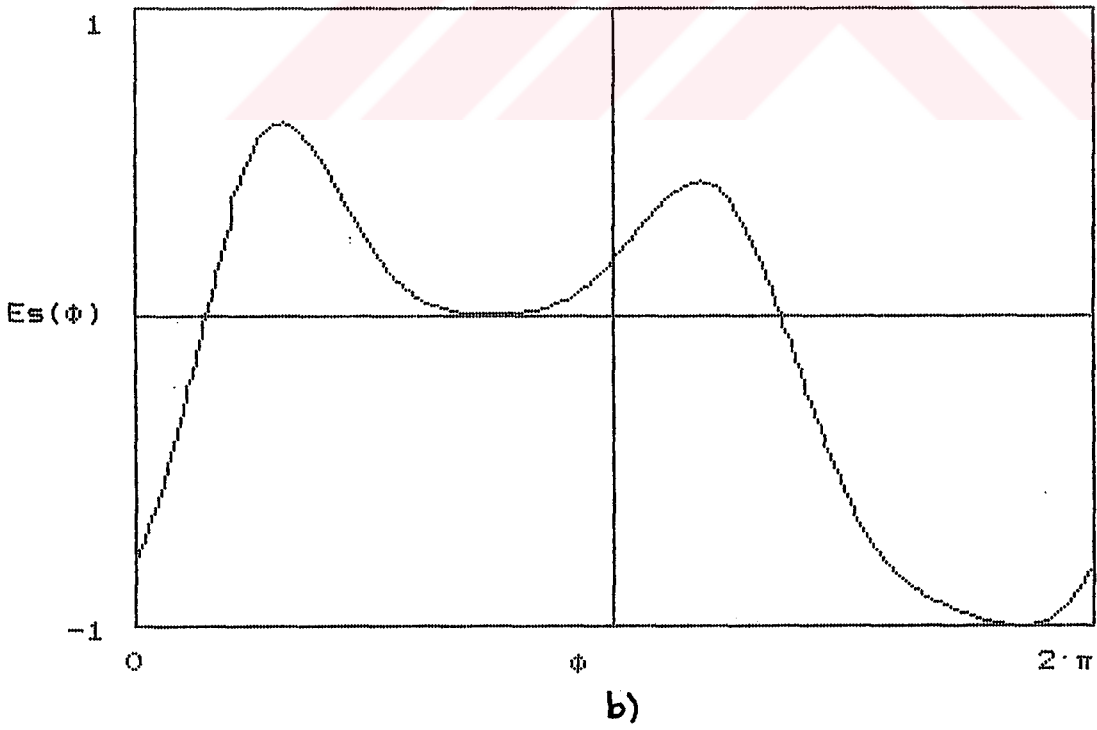
Şekil.3.1.'deki gibi bir kenar uzunlukları $l=3\lambda$ ve $2l=6\lambda$ olan $\bar{O}$ cisimi ϵ_r malzemesinden oluşmaktadır. II. kadrandaki cismin $y=-x$ doğrusu üzerinde bulunmaktadır. Ox eksenine doğrultusunda z polarizasyonlu elektrik alanına sahip bir düzlemsel dalga ile aydınlatılan cisimden saçılan alanlar Şekil.3.1' de gösterildiği gibi $r=10\lambda$ uzaklığında pozitif Ox eksenine ile θ açısı yapacak şekilde ölçülmüşlerdir. θ 'nın $(0,2\pi)$ arasındaki değerlerinde düzgün aralıklarla 200 ölçüm yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçları algoritma gerçek ortamın dışında bilgisayar yardımı ile deneneceğinden literatürde en çok kullanılan moment metodu ile üretilmişlerdir. Birinci bölümde açıklandığı gibi cismin bulunabileceği bölge $c=1\lambda$ alınarak $2c \times 2c$ boyutlarında seçilmiştir. Bu B bölgesi $L=32$, $32 \times 32=1024$ alt bölgeye ayrılmıştır. Bu şekilde her bir alt bölgenin eşdeğer yarıçapı $a \approx 0.0353\lambda$ olmaktadır ki moment metodunun uygulanabilirliğini sağlaması ve cismin yeteri kadar ayrıntılı sunulması için bu değer uygundur. Bu uygulamadaki cisim geometrisi için aşağıdaki üç ayrı dielektrik sabiti dağılımı düşünülerek yeni algoritma denenmiştir.

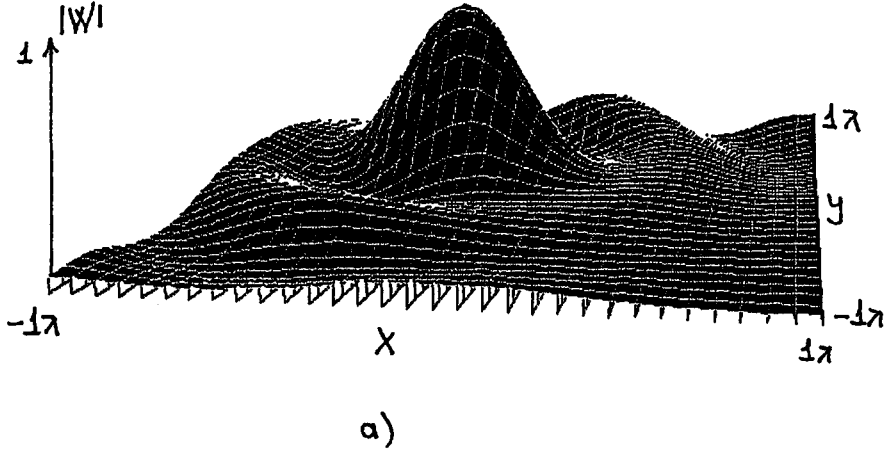
Birinci Hal

Açıklanan özelliklere sahip bir cismin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 1.001\epsilon_0$ alınmıştır. Bu cisimden saçılan alanların reel ve sanal kısımları Şekil.3.3a ve Şekil.3.3b verilmiştir. Bu durumda algoritmadan 200 iterasyon sonunda elde edilen çıkış üçboyutlu ve kontur olarak Şekil.3.4a ve Şekil.3.4b de sunulmuştur. İterasyonlar sırasında algoritmanın yakınsama hızını belirleyen μ sabiti 0.01

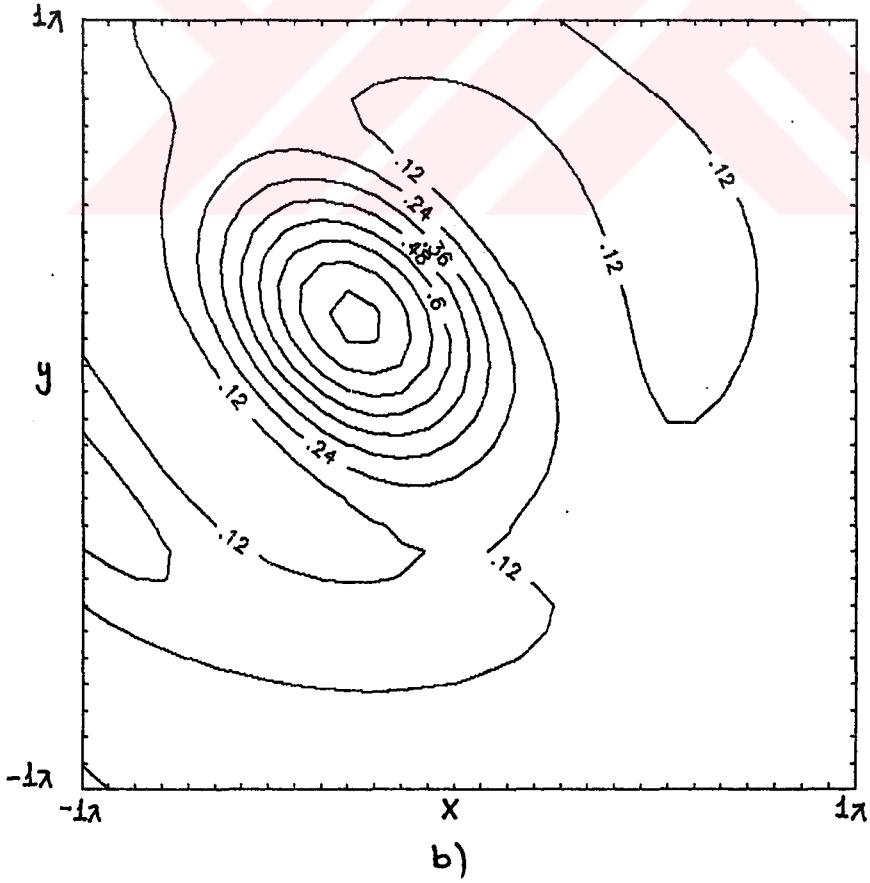


Şekil:3.3- Birinci hal'de verilen özelliklere sahip cismin
saçılan alan değerleri a) Reel b) Sanal kısmı





Şekil:3.4- Birinci hal'de verilen özelliklere sahip cismin
a) Üç boyutlu b) Kontur Görüntüsü



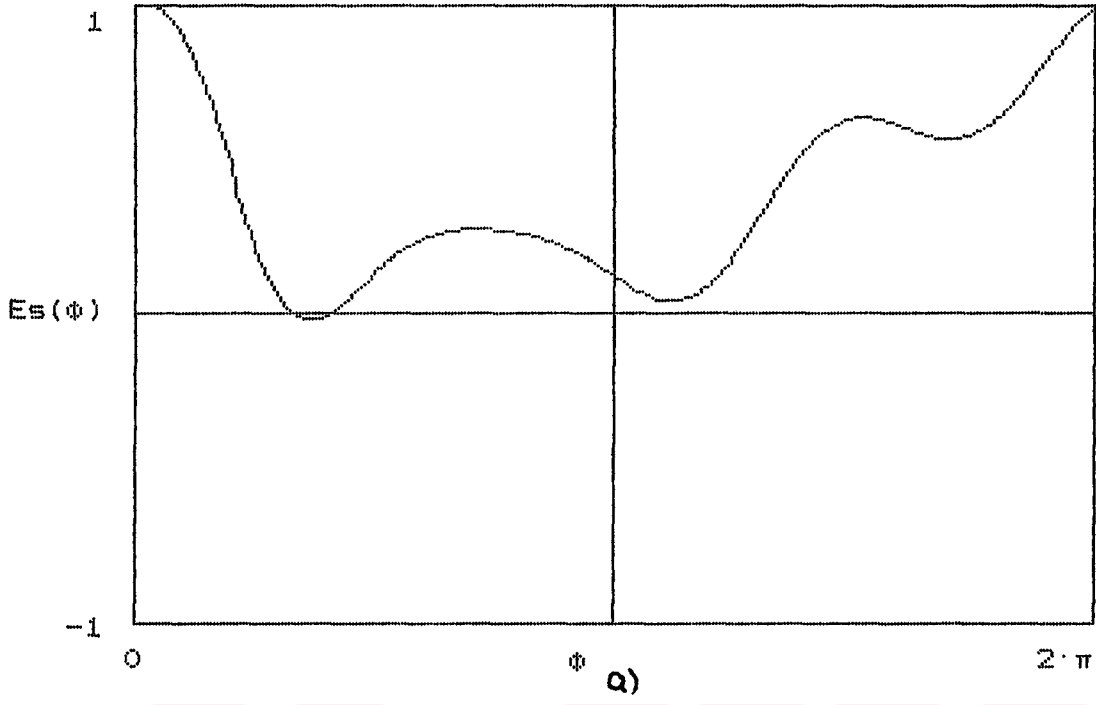
alınmış ve 200 iterasyonun sonunda parametreleri yenileyen hatanın ortalama karesel değeri, ilk değere normalize olarak %10.51 bulunmuştur. Sonuçta elde edilen görüntünün işaret/gürültü oranı gerçek cisimle karşılaştırılarak SNR=5.2dB bulunmuştur.

İkinci Hal

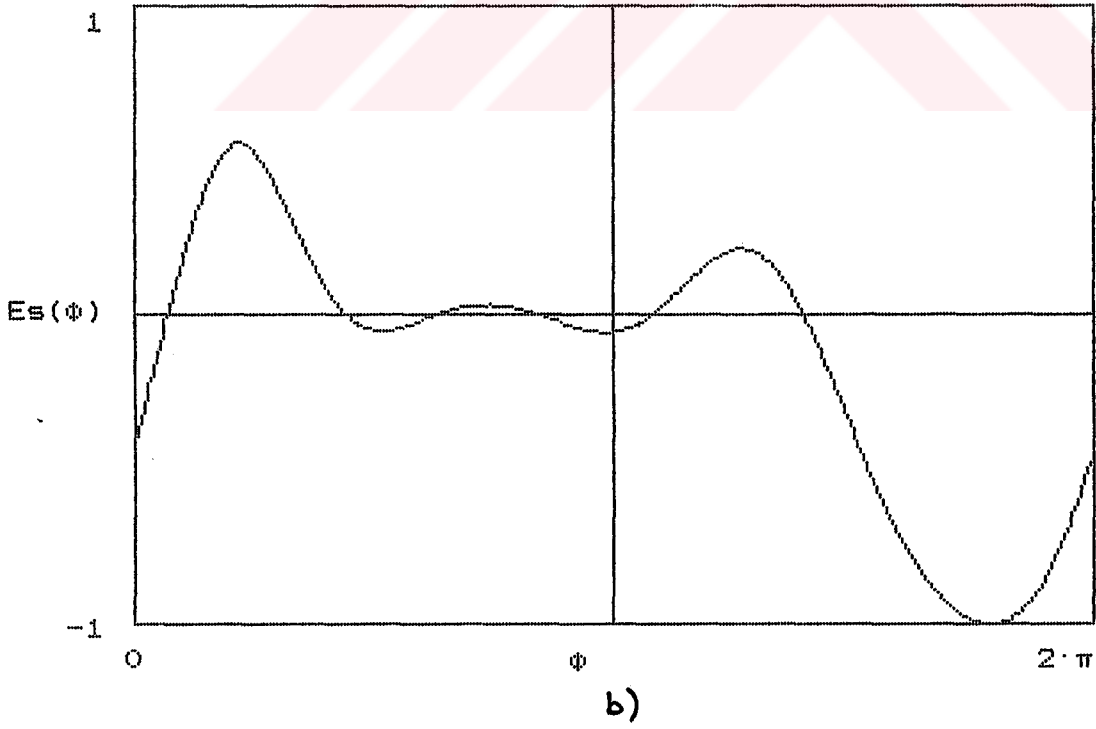
Aynı geometrik özelliklere sahip cisimde $\epsilon_r=2.3\epsilon_0$ alınmıştır. Bu cisimden saçılan alanların reel ve sanal kısımları şekil.3.5a ve şekil.3.5b verilmiştir. Bu durumda algoritmadan 200 iterasyon sonunda elde edilen çıkış üçboyutlu ve kontur olarak şekil.3.6a ve şekil.6b de sunulmuştur. İterasyonlar sırasında algoritmanın yakınsama hızını belirleyen μ sabiti 0.01 alınmış ve 200 iterasyonun sonunda parametreleri yenileyen hatanın ortalama karesel değeri normalize olarak %7.847 bulunmuştur. Sonuçta elde edilen görüntünün işaret/gürültü oranı gerçek cisimle karşılaştırılarak SNR=5.9dB bulunmuştur.

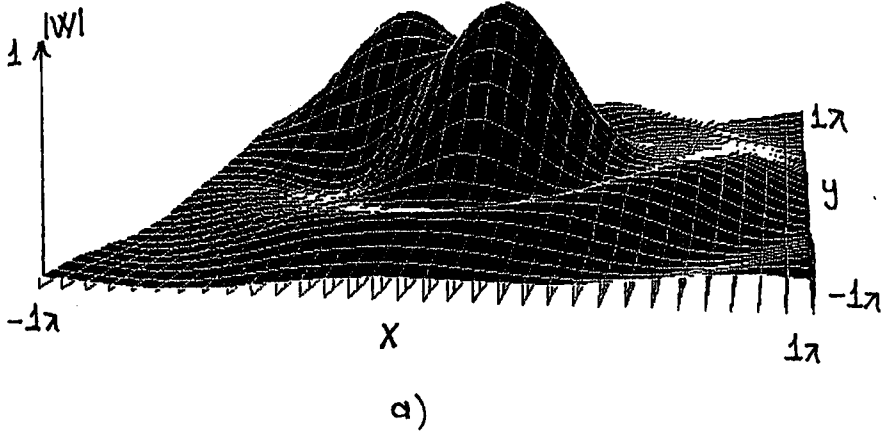
Üçüncü Hal

Aynı geometrik özelliklere sahip cisimde dielektrik sabiti ϵ_r artan y azalan x doğrultusunda düzgün olarak 1.2-2.2 ϵ_0 değerlerini alacak şekilde değiştirilmiştir. Bu cisimden saçılan alanların reel ve sanal kısımları şekil.3.7a ve şekil.3.7b verilmiştir. Bu durumda algoritmadan 200 iterasyon sonunda elde edilen çıkış üçboyutlu ve kontur olarak şekil.3.8a ve şekil.8b de sunulmuştur. İterasyonlar sırasında algoritmanın yakınsama hızını belirleyen μ sabiti 0.01 alınmış ve 200 iterasyonun sonunda parametreleri yenileyen

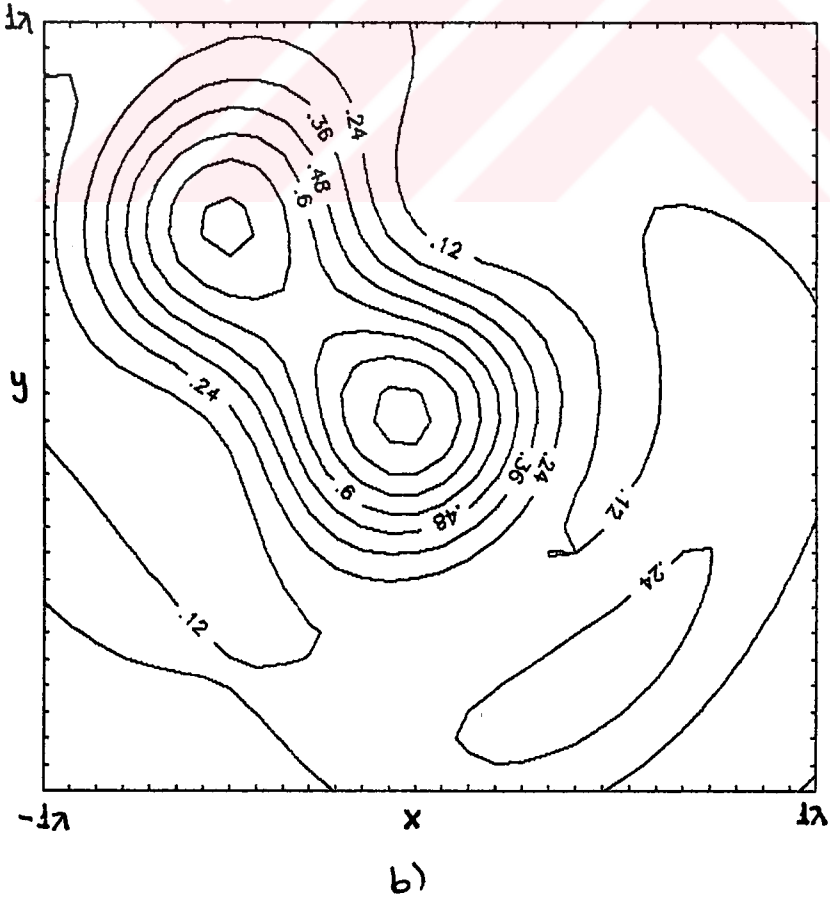


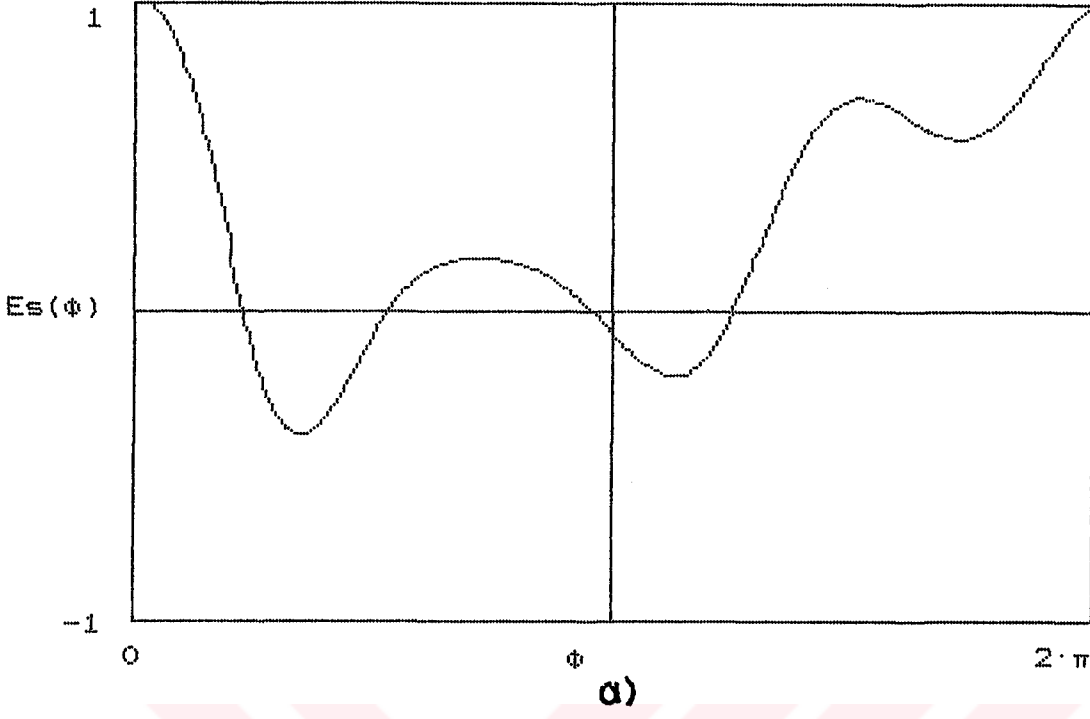
Şekil:3.5- İkinci hal'de verilen özelliklere sahip cismin
saçılan alan değerleri a) Reel b) Sanal kısmı



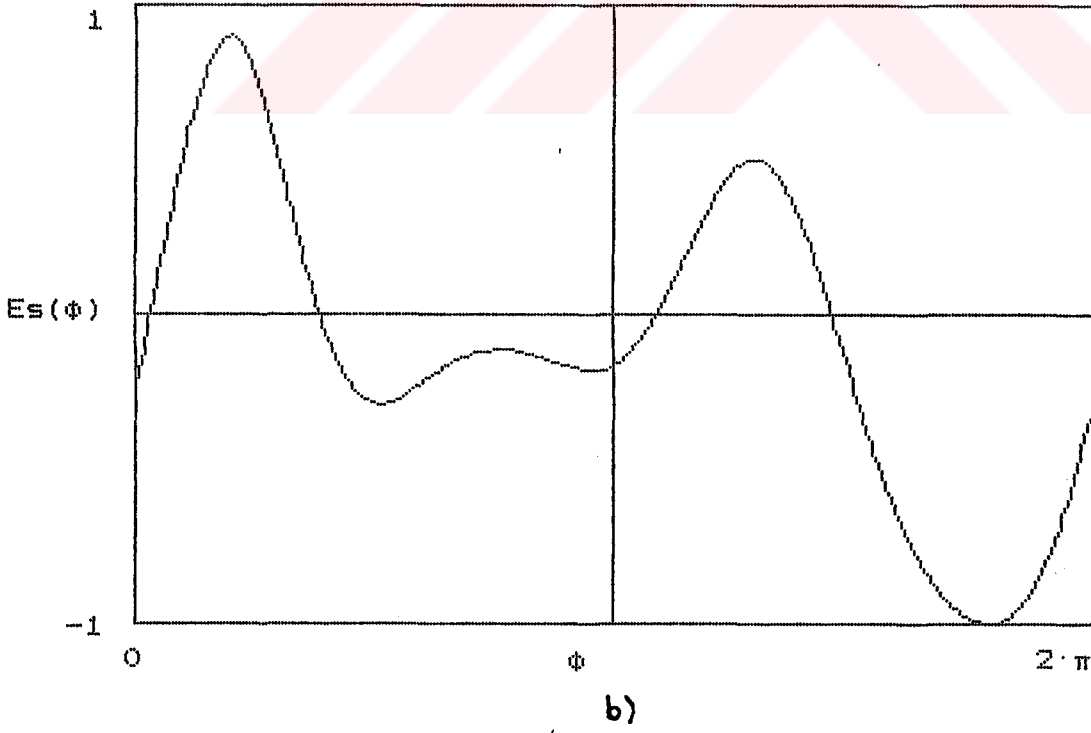


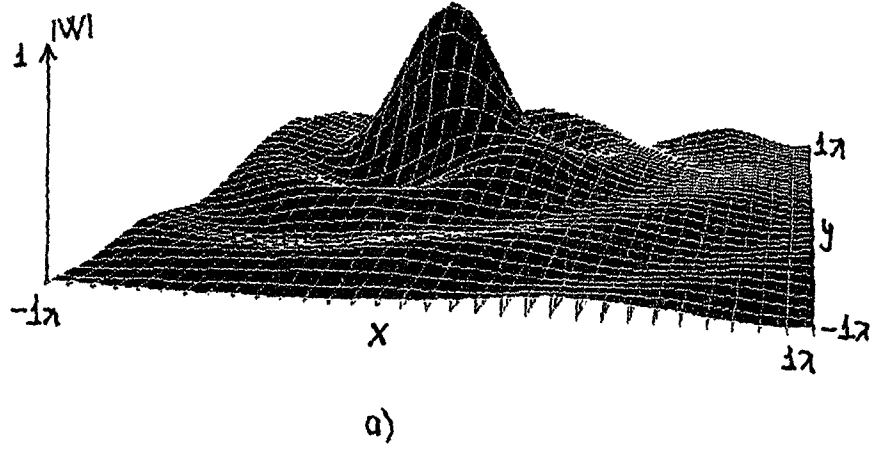
Şekil:3.6- İkinci hal'de verilen özelliklere sahip cismin
a) Üç boyutlu b) Kontur Görüntüsü



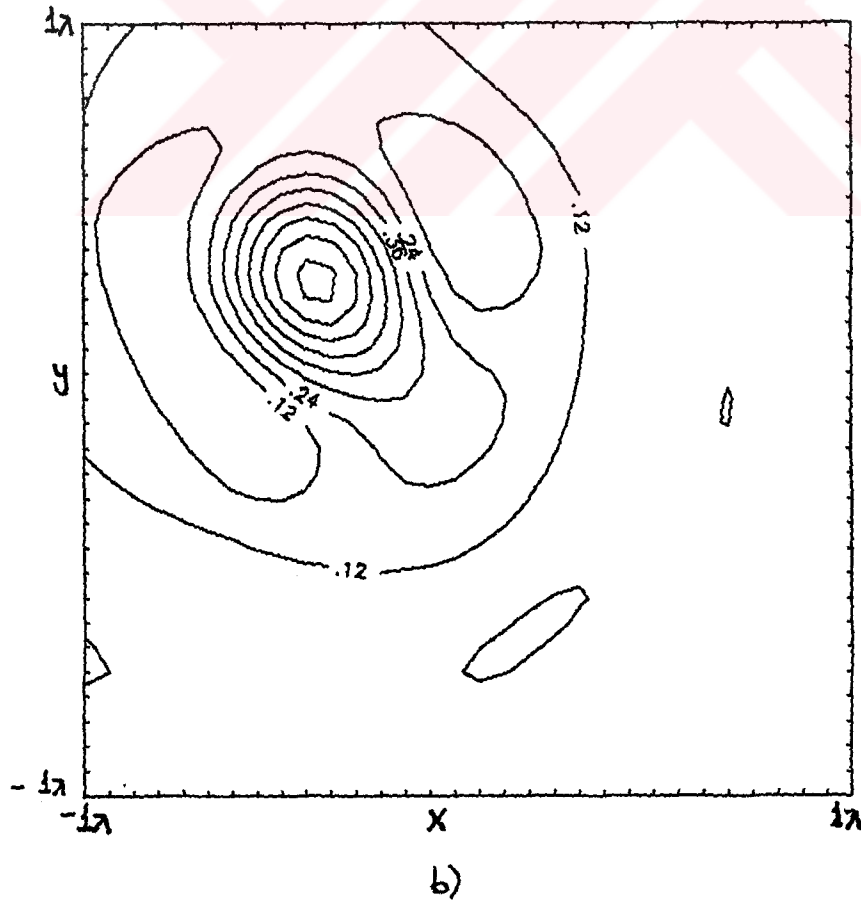


Şekil:3.7- Üçüncü hal'de verilen özelliklere sahip cismin saçılan alan değerleri a) Reel b) Sanal kısmı





Şekil:3.8- Üçüncü hal'de verilen özelliklere sahip cismin
a) Üç boyutlu b) Kontur Görüntüsü



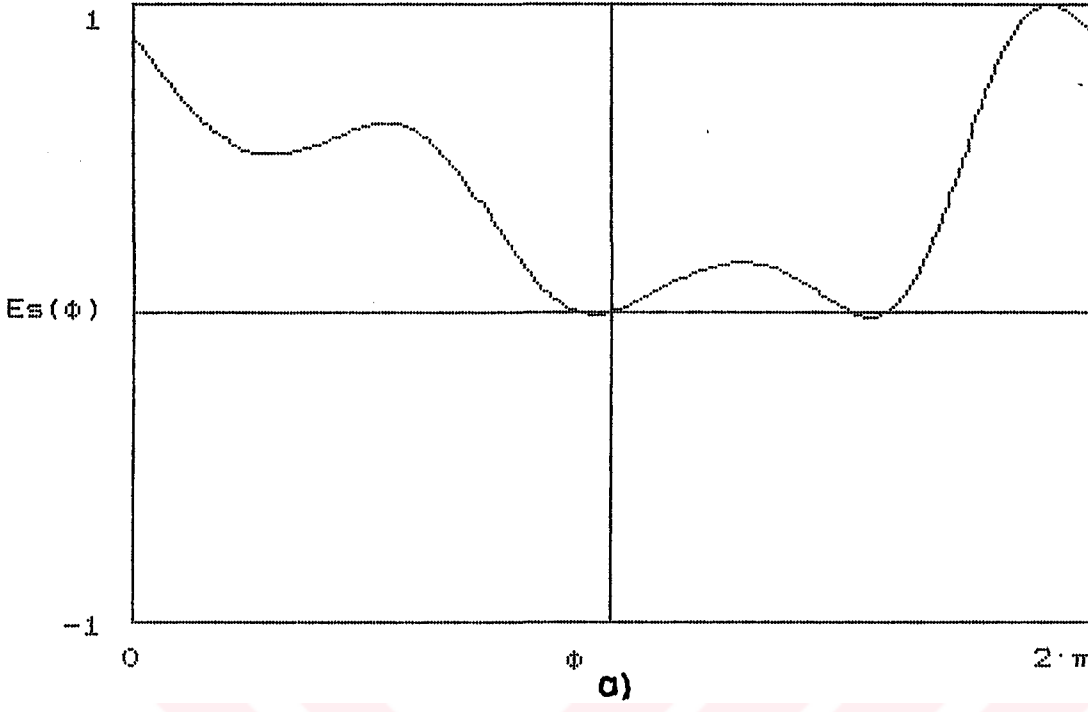
hatanın ortalama karesel değeri normalize olarak %12.32 bulunmuştur. Sonuçta elde edilen görüntünün işaret/gürültü oranı gerçek cisimle karşılaştırılarak SNR=5.7dB bulunmuştur.

3.3.2. İkinci Uygulama Örneği

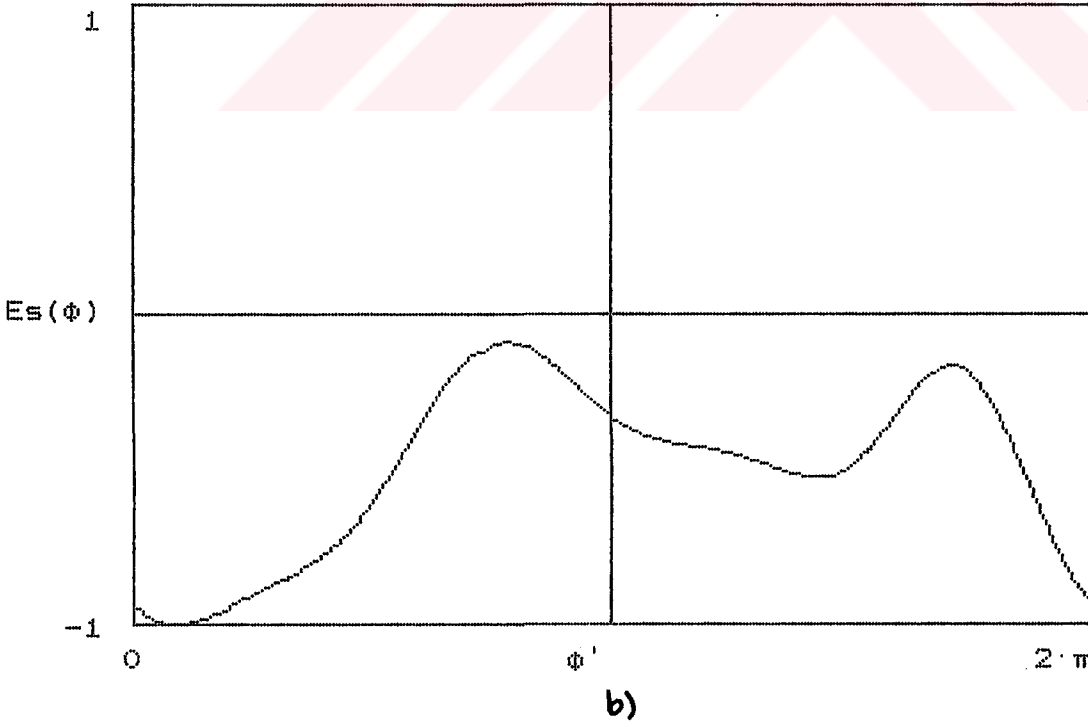
Şekil.3.2'de vermiş cisim $y=x$ doğrusu üzerinde bulunmaktadır ve uzayda $l=2\lambda$ alınarak kenar uzunlukları $lx1$ ve $lx2.51$ olan iki farklı parçadan oluşmaktadır. Bu cisimde şekilde gösterildiği gibi Ox eksenine doğrultusunda z polarizasyonlu elektrik alana sahip bir düzlemsel dalga ile aydınlatılmıştır. Cisimden saçılan alanlar $r=10\lambda$ uzaklığında pozitif Ox eksenine ile θ açısı yapacak şekilde ölçülmüşlerdir. θ 'nın $(0,2\pi)$ arasındaki değerlerinde düzgün aralıklarla 200 ölçüm yapılmıştır. Bu alanlar da moment metodu kullanılarak bilgisayar yardımı ile oluşturulmuşlardır. Önceki örnekte olduğu gibi cismin var olabileceği B bölgesi $c=1\lambda$ alınmıştır ve $2c \times 2c$ bölge $32 \times 32 = 1024$ alt bölgeye ayrılmıştır.

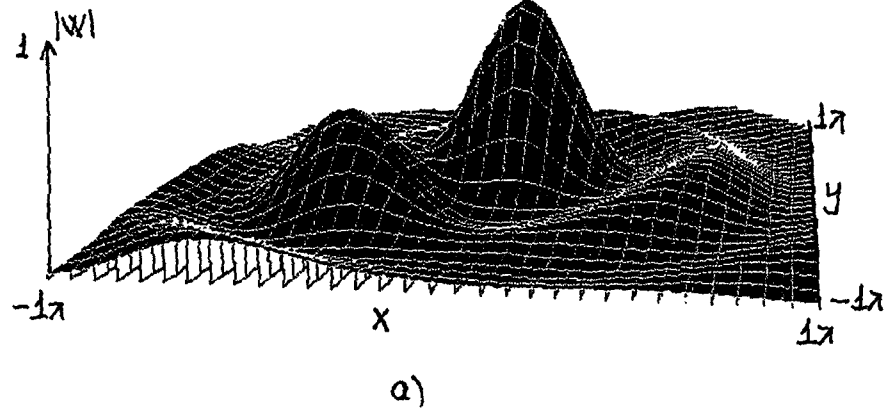
Birinci Hal

Açıklanan özelliklere sahip bir cismin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 1.001\epsilon_0$ 'dir. Bu cisimden saçılan alanların reel ve sanal kısımları şekil.3.9a ve şekil.3.9b de verilmişlerdir. Algoritmanın adım büyüklüğü $\mu=0.01$ alınarak 200 iterasyon sunucunda elde edilen görüntüler şekil.3.10a ve şekil.3.10b de üçboyutlu ve kontur olarak sunulmuştur. 200 üncü iterasyonda ortalama karesel hata %9.7 ve işaret/gürültü oranı SNR=6.2dB bulunmuştur.

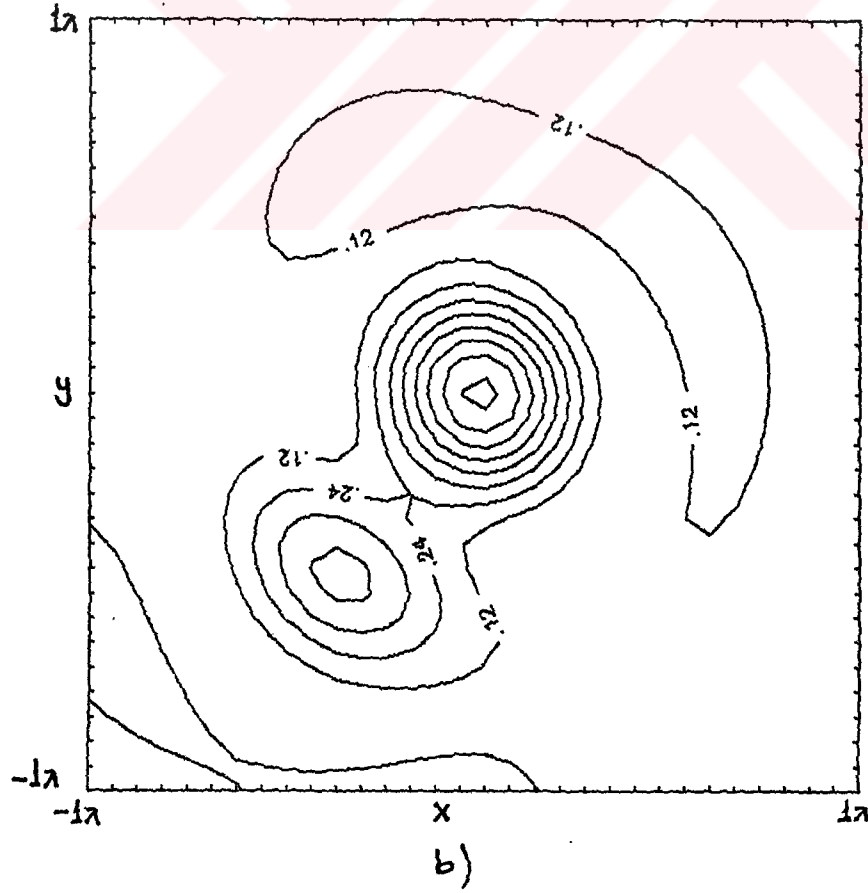


Şekil:3.9- Birinci hal'de verilen özelliklere sahip cismin saçılan alan değerleri a) Reel b) Sanal kısmı





Şekil:3.10- Birinci hal'de verilen özelliklere sahip cismin
a) Üç boyutlu b) Kontur Görüntüsü

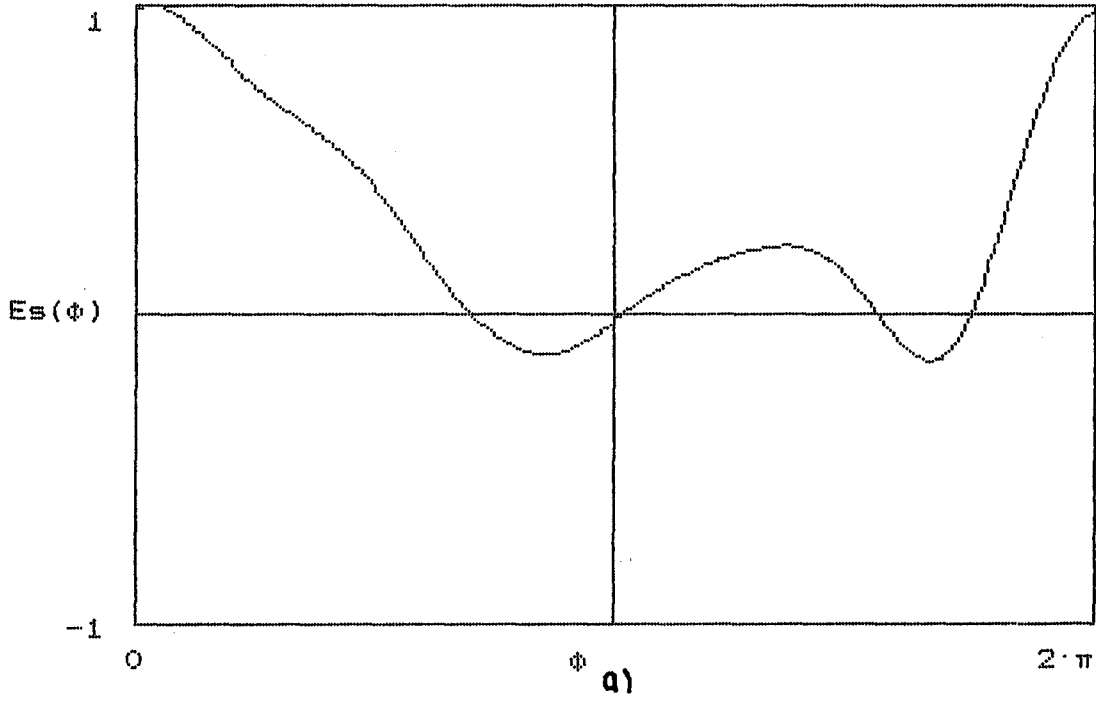


İkinci Hal

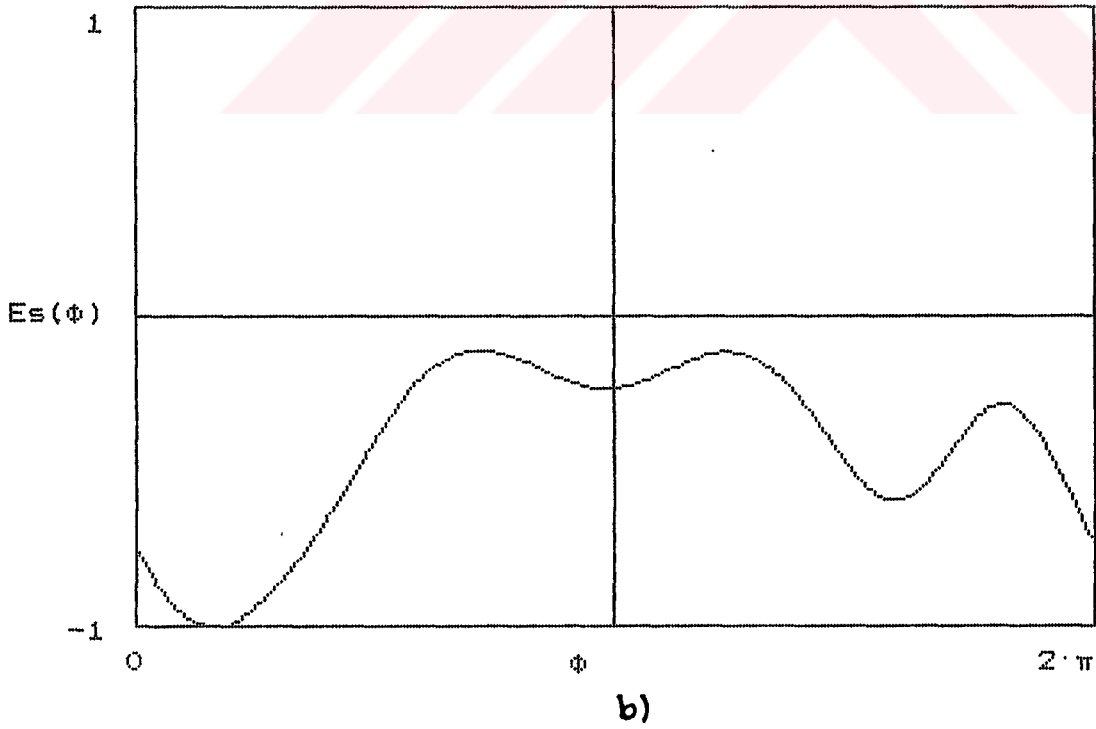
Eş geometrik özelliklere sahip bir cismin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 2.3\epsilon_0$ 'dir. Bu cisimden saçılan alanların reel ve sanal kısımları şekil.3.11a ve şekil.3.11b de verilmişlerdir. Algoritmanın adım büyüklüğü $\mu=0.01$ alınarak 200 iterasyon sunucunda elde edilen görüntüler şekil.3.12a ve şekil.3.12b de üçboyutlu ve kontur olarak sunulmuştur. 200 üncü iterasyonda ortalama karesel hata %9.1 ve işaret/gürültü oranı $SNR=5.1dB$ bulunmuştur.

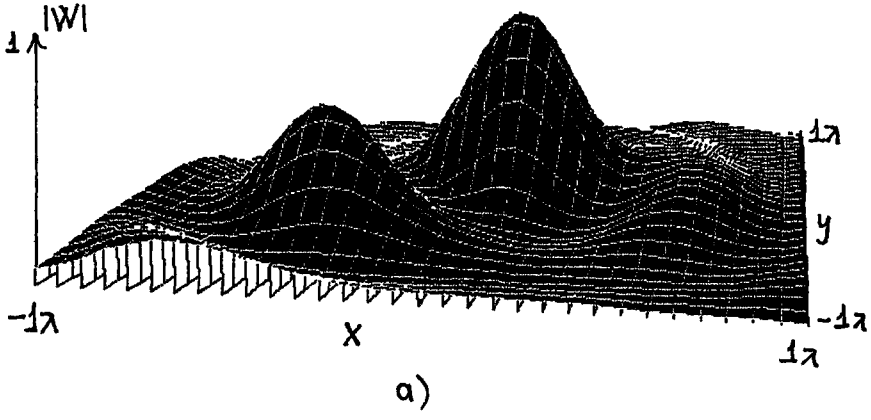
3.3.3. Üçüncü Uygulama Örneği

Birinci ve ikinci uygulama örneğinde adaptif görüntü oluşturma algoritması gürültüsüz saçılan alan değerleri için kullanılmıştır. Ancak bilgisayar ortamı dışında yapılacak gerçek ölçümlerin gürültüsüz olmaları mümkün değildir. Bu nedenle algoritma gürültülü saçılan alanlar kullanılarak da denenmiştir. Bu amaçla dielektrik sabiti $(1.2-2.2)\epsilon_0$ değerlerini alan birinci geometrideki son örnek seçilmiştir. Bu örneğin saçılan alanlarına üç farklı gürültü seviyesinde beyaz gürültü katılmıştır. Bu gürültü seviyeleri $SNR=10, 20, 30dB$ seçilmişlerdir. Gürültülü saçılan alanların reel ve sanal kısımları şekil.3.13-15 de verilmişlerdir. Algoritmanın girişi bu gürültülü alanlar alınarak yukarıdaki örneklerde olduğu gibi $\mu=0.01$ adım büyüklüğü kullanılmıştır. 200 iterasyon sonucunda $c=1\lambda$ 'lık bölgede 32×32 'lik görüntüler şekil.3.16a-c de sunulmuştur. Sonuç görüntülerin işaret/gürültü oranları $10dB$ 'lik gürültü için $SNR=5.3db$, $20dB$ 'lik gürültü için

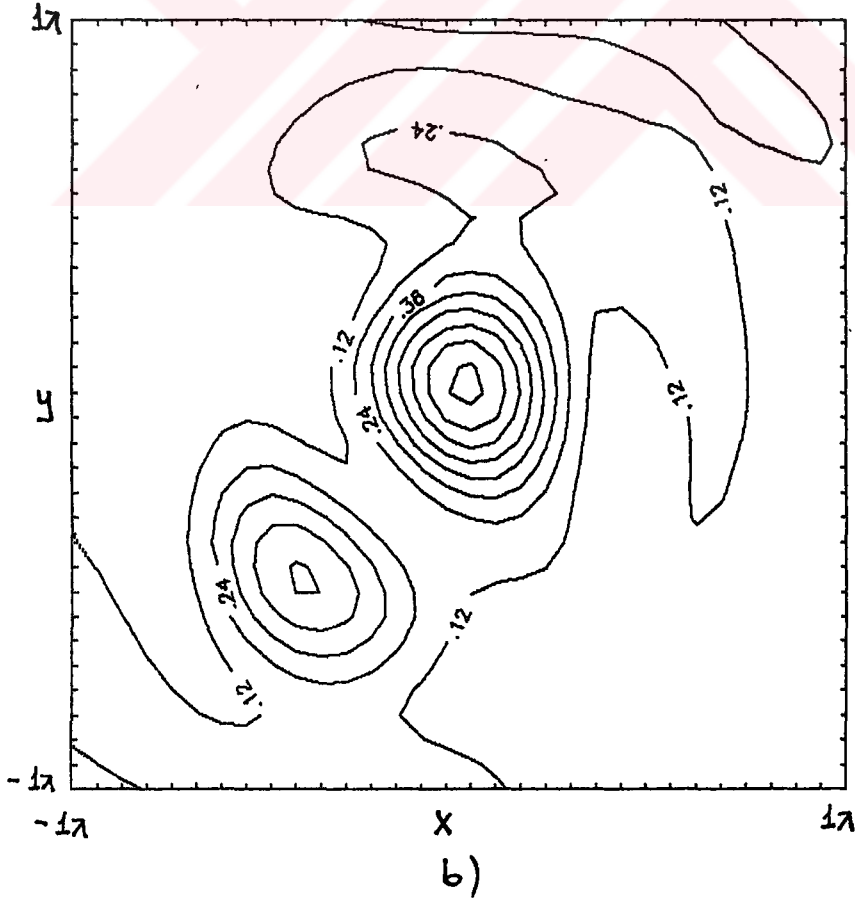


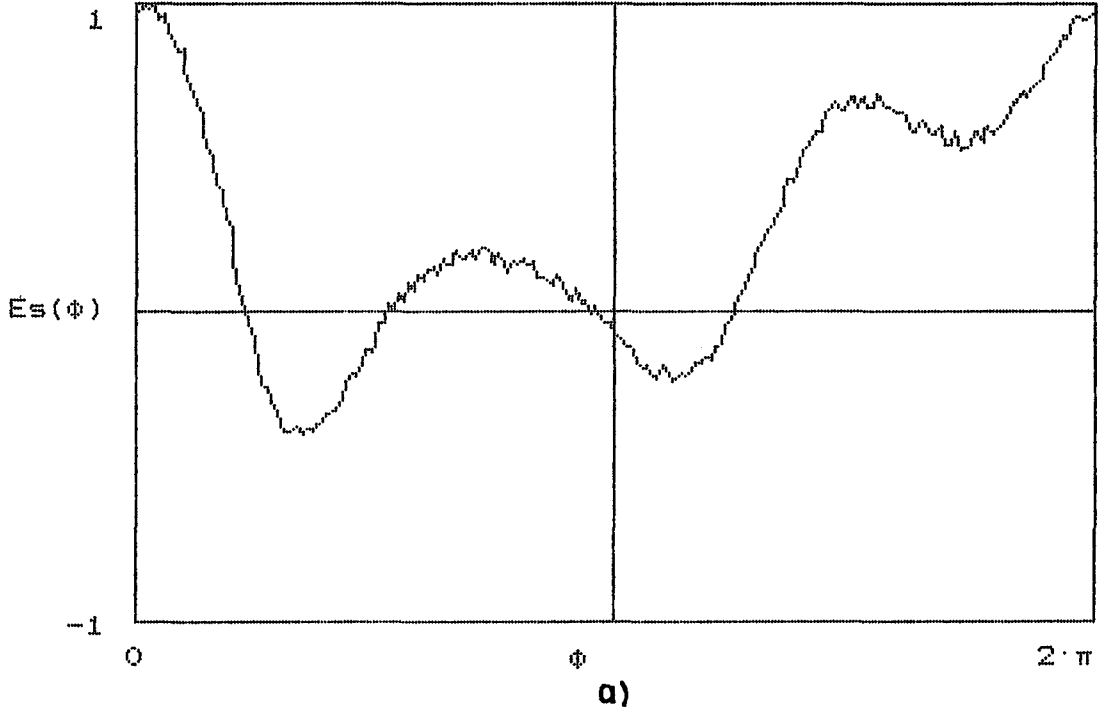
Şekil:3.11- İkinci hal'de verilen özelliklere sahip cismin
saçılan alan değerleri a) Reel b) Sanal kısmı



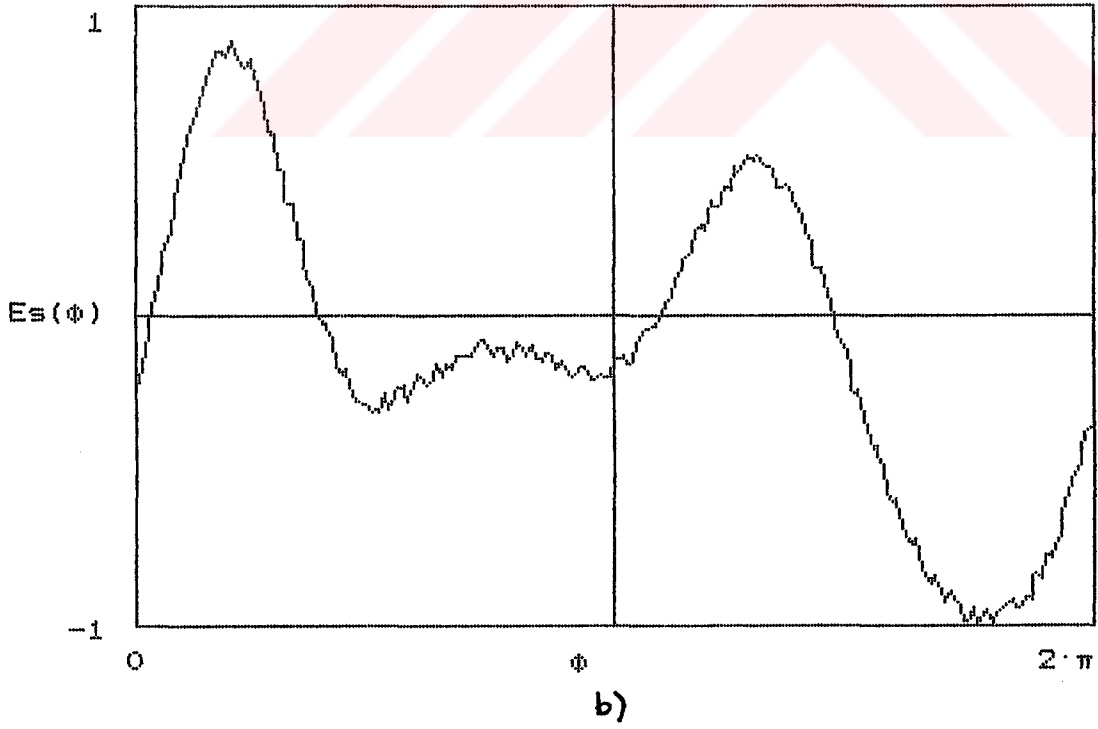


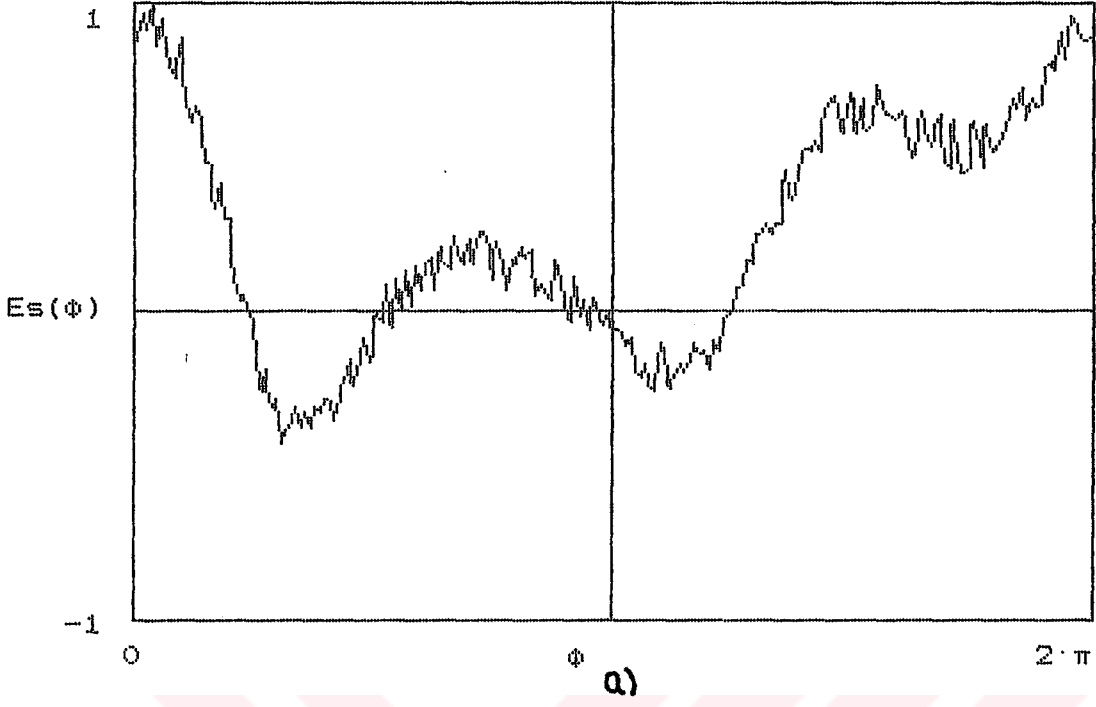
Şekil:3.12- İkinci hal'de verilen özelliklere sahip cismin
a) Üç boyutlu b) Kontur Görüntüsü



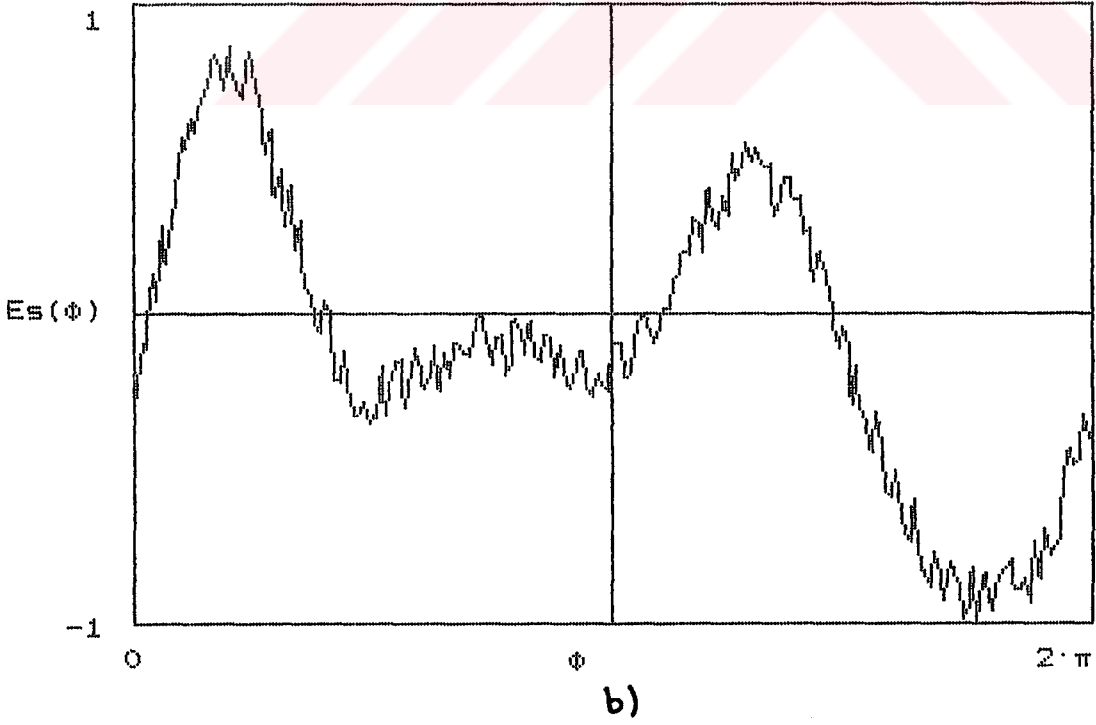


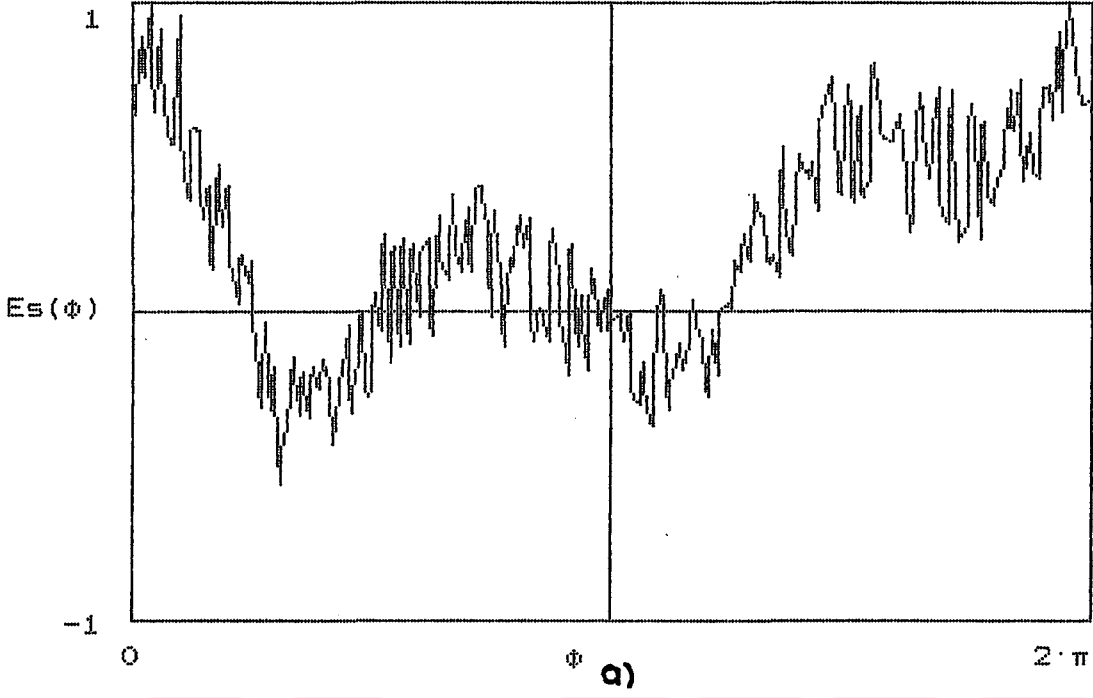
Şekil:3.13- Üçüncü uygulama örneğın'de verilen özelliklere sahip cismin saçılan alan değeri
a) Reel b) Sanal kısmı SNR=30dB.





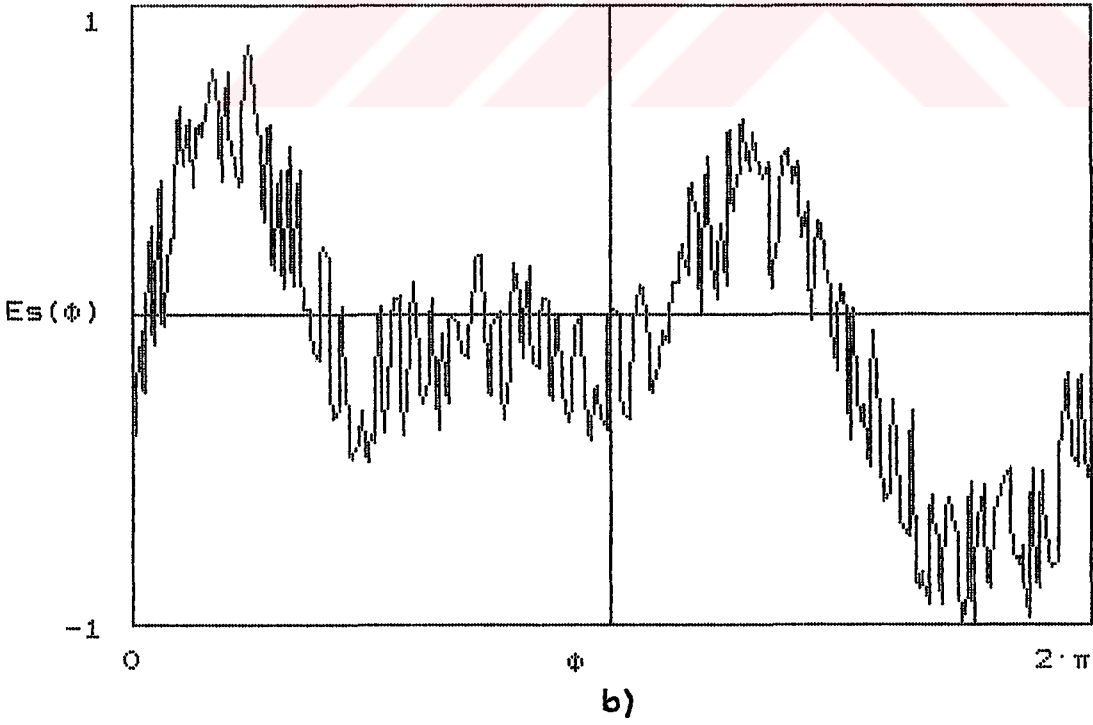
Şekil:3.14- Üçüncü uygulama örneğin'de verilen özelliklere sahip cismin saçılan alan değerleri
a) Reel b) Sanal kısmı SNR=20dB.

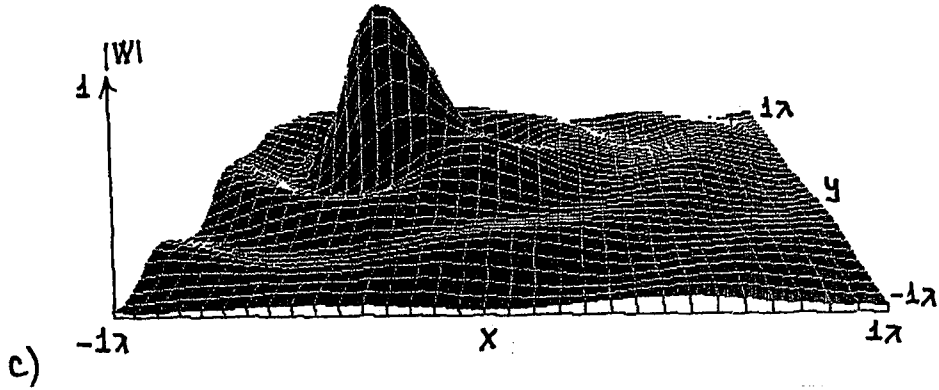
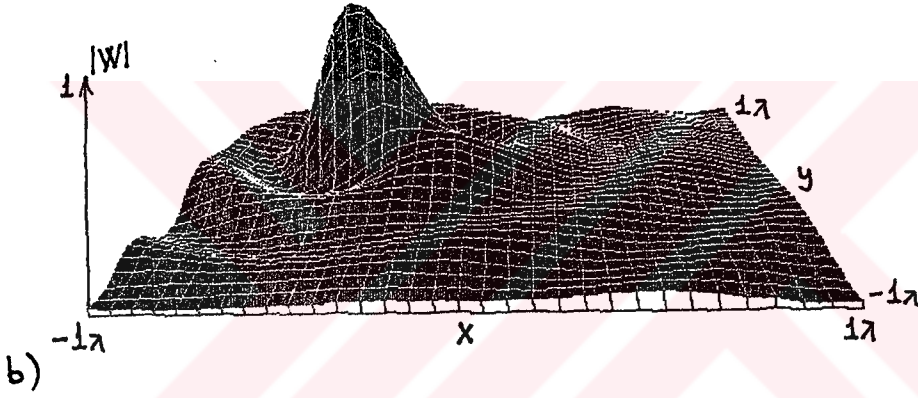
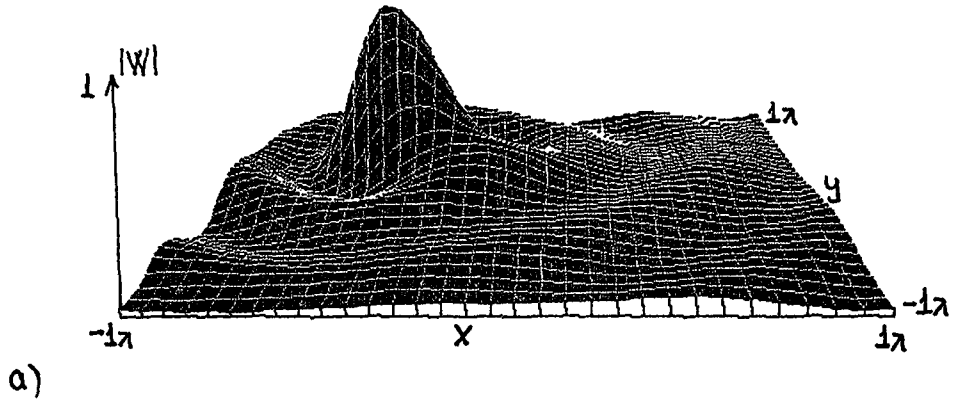




Şekil:3.15- Üçüncü uygulama örneğinin'de verilen özelliklere sahip cismin saçılan alan değerleri
a) Reel b) Sanal kısmı SNR=10dB.

3.





Şekil:3.16- Üçüncü uygulama örneğinin'de verilen özelliklere sahip cismin üç boyutlu görüntüsü
a) SNR=30dB. b) SNR=20dB. c) SNR=10dB.

SNR=5.4db, 30dB'lik gürültü için SNR=5.6db bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlardan algoritmanın gürültüden çok az etkilendiği gözlemlenmiştir.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde iki boyutlu mikrodalga difraksiyon tomografisinde Born yaklaşımının geçerli olmadığı yüksek kontrastlı cisimlerinde çeşitli özelliklerini belirleyebilen yeni bir görüntü oluşturma algoritması önerilmiştir. Adaptif olan algoritmaların görüntü oluşturan diğer bilinen algoritmalarından çeşitli üstünlükleri mevcuttur. Bu tezde kullanılan ve ilk kez tarafımızdan mikrodalga difraksiyon tomografisine uygulanan adaptif algoritma için uygulama örnekleri üzerinde yapılan çalışma ile beklenen üstünlükler gözlemlenmiştir.

Uygulanabilirlik:

Bir ters saçılma problemi olan difraksiyon tomografisinde halen geliştirilmekte ve denenmekte bulunan görüntü oluşturma algoritmalarında cisimden saçılan alanlar değişik aydınlatma doğrultuları için değişik noktalarda toplanmaktadır. Toplanan bu data grupları farklı yöntemlerde tanım uzaylarına yerleştirildikten sonra bir bütün olarak işlenmektedir. Halbuki önerilen adaptif görüntü oluşturma algoritmasında ölçülen değerlerin biriktirilmesine gerek yoktur. Prensip olarak algoritma her bir ölçülen saçılan alan değeri için daha iyi kalitede görüntü oluşturmaktadır. Doğaldır ki kullanılan adaptif algoritma çeşitine göre mümkün olduğu kadar çok

sayıda ölçüm görüntü kalitesini iyileştirecektir. Diğer yandan ilerleyen iterasyonlar sırasında daha önce kullanılan data değerinin değişen algoritma sabitleri yardımı ile yeniden kullanılması mümkündür. Bu özelliği ile uygulanması çok kolaydır ve gerçek zamanda "real time" uygulamaya müsaittir.

Geçerlilik:

Sistem tanımlamada popüler olarak kullanılmakta olan adaptif algoritmaların mikrodalga difraksiyon tomografisinde uygulanmasına literatürde rastlanılmamıştır. Deterministik çözüm yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen adaptif sistemlerin yapısı gereği gelişen bilgisayar teknolojisine paralel olarak bir kişisel bilgisayar "PC" için bile rahatlıkla binler mertebelerinde bilinmeyen sayısı kullanılabilmektedir. Mikrodalda difraksiyon tomografisinin özelliğinden dolayı elektromagnetik dalgalarla aydınlatılan bir cismin herbir noktasının diğer noktalarına etkisi bulunmaktadır. Gerçekte var olan cisimlere kötü bir yaklaşım olan zayıf saçılma "Born yaklaşımı" dışında bu özellik integral denklem anılan etkileşimi karakterize eden büyüklüklerin sabit kalabildiği alt bölgelere ayrılmakla "moment metodu" hesaba katılmaktadır. Dolayısı ile artan bilineyen sayısı alt bölge sayısının artmasına neden olmaktadır. Böylece alt bölgerin alanları küçültülerek moment methodunu geçerlilik şartları arasında kalınmasını garantileyecek şekilde gerçekte var olabilecek daha kuvvetli "yüksek kontrast" cisimlerin görüntülenmesi mümkün olmaktadır. Geliştirilmekte olan algoritmalarda ise ya cismin bulunabileceği bölge küçük tutulmakta yada kontrast azaltılarak yapılan yaklaşımın geçerlilik sınırlarında kalınmaya çalışılmaktadır.

Açıklanan özellikler dışında adaptif algoritmaları en çok kullanıldığı haberleşme sistemlerinde olduğu gibi var olan gürültüyü süzme özellikleri bulunmaktadır. Bu algoritmalar değişik sabitleryardımları ile daha önce ölçülmüş olan değerleri ve hataları o andaki sonuca etki ettirebilmektedirler. Gerçek yaşamda herhangi bir ölçümün tüm dış bozucu etkilerden arındırılmış olarak yapıldığı söylenemez. Kaldığı ölçüm gürültüleri dışında analitik problemin nümerik hale indirgenmesinde de odelleme gürültüleri doğmaktadır. Üçüncü bölümde, seçilen adaptif algoritma basit yapılı bir cismin görüntülenmesinde gürültüsünde etkisi göz önüne alınarak denemiştir. Sonuçta beklenildiği gibi algoritma gürültüsüz hale çok yakın sonuçlar vermiştir.

Kompleks yapıdaki parametre dağılımına sahip cisimleri görüntülenmesi için parametrelerin spektral özelliklerinden bağımsız hızlı yakınsama özelliğindeki algoritmaların kullanılması gerekmektedir. Bu tip algoritmaların işlem sayıları üstel olarak artmasına rağmen yukarıdaki özellikleri korumaktadırlar. Bu algoritmalarından biri olan RLS "Recursive Least Squares" her bir iterasyonda bilinmeyen sayısının L karesi ile orantılı $O(L^2)$ işlem "çarpma/bölme" yapmayı gerektirmektedir. Bu tezde seçilen basit yapıdaki algoritma LMS ise iteratif ilerleme bağıntılarında açıkça görüleceği gibi her bir iterasyonda $2L$ işlem gerektirmektedir. Bu değerlere karşılık direkt matrisel işlemler yardımı ile lineer denklem sisteminin çözümü için L küpü ile orantılı $O(L^3)$ işleme ihtiyaç duyulmaktadır. Artan bilinmeyen sayısı L ile birlikte adaptif sistemlerin hızlı yakınsama özellikleri ile üstünlükleri dramatik olarak belirmektedir.

Bu tezde önerilen adaptif algoritmaların mikrodalga difraksiyon tomografisinde kullanılması kaçınılmaz olacaktır. Tercih edilebilir bir alternatif olan bu algoritmaların problemin yapısına bağlı özellikler kullanılarak daha iyi performans elde edecek şekilde değiştirilmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] RICHMOND, J.H., Scattering by a Dielectric Cylinder of Arbitrary Cross Section Shape, IEEE Trans. Anten. and Propa. Vol. 13, pp:334-341, (1965)
- [2] HAYKIN, S. Adaptive Filter Theory, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, (1986).
- [3] DEVANEY, A.J., Inverse Scattering Theory Foundations of Tomography with Diffraction Wavefields, SPIE Int. Symp. Pattern Recogn. Acoust. Imaging, Vol. 738, pp:2-6, (1987).
- [4] DEVANEY, A.J., A Filtered Backpropagation Algorithm for Diffraction Tomography, Ultrasonic Imaging, Vol. 4, pp:336-350, (1982).
- [5] MUELLER, R.K., KAVEH, M. WADE, G., Reconstructive Tomography And Applications to Ultrasonics, Proc. IEEE, Vol.67, pp:567-587, (1979).
- [6] HARRINGTON, R.F. Time-Harmonic Electromagnetic Fields, McGraw Hill, (1961).
- [7] MORSE, P.M., FESHBACH, H., Methods of Theoretical Physics, McGraw Hill, (1953).
- [8] SLANEY, M., KAK, A.C., LAERSEN, L.E. Limitations of Imaging with First Order Diffraction Tomography, IEEE Trans. MTT, Vol. MTT-32, pp:860-873, (1984).
- [9] GARNERO L., FRANCHOIS A., Microwave Imaging-Complex Permittivity Reconstruction by Simulated Annealing IEEE Trans. MTT, Vol 39, pp:1801-1807, (1991).
- [10] CAORSI S., GRAGNANI L., An Approach to microwave Imaging Using a Multiview Moment Method Solution for a Two-Dimensional Infinite Cylinder, IEEE Trans. MTT Vol 39, pp:1062-1067, (1991).
- [11] JOHN, V., Performance Analysis of Adaptive Filter Equipped with the Dual Sign Algorithm, IEEE Trans. Signal Proc., Vol. 39, pp:85-91, (1991)
- [12] KENT, S., Mikrodalga Difraksiyon Tomografisi için Yeni Bir Görüntüleme Algoritması ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, (1990)

EK A

Skaler $J(W)$ fonksiyonunun gradyenti

Kompleks elemanlara sahip $L \times 1$ W vektörünün l inci elemanı şu şekilde yazılabilir

$$w_l = r_l + js_l \quad (Ek A1)$$

burada r_l ve s_l , w_l kompleks değişkeninin reel ve sanal bileşenleridir. Bu durumda $J(W)$ 'nin değişken sayısı $2 \times L$ olmaktadır. $J(W)$ 'nin bu $2 \times L$ değişkene göre türetilbildiğini varsayalım. l inci elemana göre gradyent şöyle olacaktır.

$$\frac{dJ(W)}{dw_l} = \frac{\partial J(W)}{\partial r_l} + j \frac{\partial J(W)}{\partial s_l} \quad (Ek A2)$$

Bu tanımlama yardımı ile ortalama karesel hata $J(W)$ 'nin açık ifadesinde bulunan W değişkenine bağlı üç terim için türetme işlemi şu şekilde yapılabilir.

$$J(W) = \sigma_v^2 - p^H W - W^H p + W^H R W \quad (Ek A3)$$

$$1) \quad J1 = p^H W$$

$J1$ in açık ifadesi yazılır ise

$$J1 = \sum_{i=1}^L p_i^* (r_i + js_i) \quad (Ek A4)$$

elde edilir. $J1$ in reel r_l ve sanal s_l değişkenlerine göre kısmi türevleri

$$\frac{\partial J1}{\partial r_l} = p_l^* \quad (Ek A5a)$$

$$\frac{\partial J1}{\partial s_l} = jp_l^* \quad (Ek A5b)$$

alınarak (Ek A2) de yerine yazılırsa

$$\frac{d}{dW}(p^H W) = 0 \quad (Ek A6)$$

bulunur.

$$2) \quad J2 = W^H p$$

J2 in açık ifadesi yazılır ise

$$J2 = \sum_{i=1}^L p_i (r_i - j s_i) \quad (Ek A7)$$

elde edilir. J2 in reel r_i ve sanal s_i değişkenlerine göre kısmi türevleri

$$\frac{\partial J2}{\partial r_i} = p_i \quad (Ek A8a)$$

$$\frac{\partial J2}{\partial s_i} = -j p_i \quad (Ek A8b)$$

alınarak (Ek A6) de yerine yazılırsa

$$\frac{d}{dW}(W^H p) = 2p \quad (Ek A9)$$

bulunur.

$$3) \quad J3 = W^H R W$$

R LxL matris olmak üzere J3

$$J3 = W^H R W = p_1^H W \quad (Ek A10)$$

$$p_1^H = W^H R \quad (Ek A11)$$

$$p_1 = R^H W \quad (Ek A12)$$

şeklinde tanımlansın. ilk bölüm için çıkarılan (Ek A6) kullanılarak

$$\frac{d}{dW}(p_1'' W) = 0 \quad p_1 = \text{sabit} \quad (\text{Ek A13})$$

bulunur. Benzer bağıntılar ikinci bölüm için çıkarılan sonuç kullanılarak yazılırsa

$$J3 = W'' RW = W'' p_2 \quad (\text{Ek A14})$$

$$p_2 = RW \quad (\text{Ek A15})$$

$$\frac{d}{dW}(W'' p_2) = 2 p_2 \quad p_2 = \text{sabit} \quad (\text{Ek A16})$$

elde edilir. (Ek A13) ve (Ek A16) toplanarak

$$\frac{d}{dW}(W'' RW) = 2RW \quad (\text{Ek A17})$$

bulunur.

Sonuç olarak $J(W)$ 'nin W değişkenine göre türevi

$$\frac{dJ(W)}{dW} = -2p + 2RW \quad (\text{Ek A18})$$

elde edilir [2].

ÖZGEÇMİŞ

Selçuk PAKER, 1967 yılında Ankara'da doğmuştur. İlk öğrenimini Balıkesir Gazi ilkokulu'nda, Orta öğrenimini Balıkesir Ortaokulu'nda tamamladıktan sonra 1984 yılında Beyoğlu Fındıklı Lisesini bitirmiştir. Aynı yıl İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesine girmiş ve 1988 yılında Elektronik ve Haberleşme Bölümünden mezun olmuştur. 1988 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Halen, Yüksek Lisans öğrenimine devam eden PAKER, 1989 yılından itibaren İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği anabilim dalında Uzman olarak çalışmaktadır.