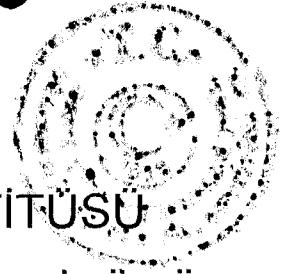


150333



T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İKİ BOYUTLU FOURİER TRANSFORMU
İLE TERS-SAR GÖRÜNTÜLERİNİN
ELDE EDİLMESİ

İbrahim ULUSOY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd.Doç.Dr.A.Arif ERGİN

GEBZE

2004

....İbrahim....(Görsel).....'ın tez çalışması, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01/...07/2004 tarih ve 2004/.../... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından E.İbrahim...M.İbrahim... Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



JÜRİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Atılg ERGİN
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Prof. Dr. Ali ALKUMRAN

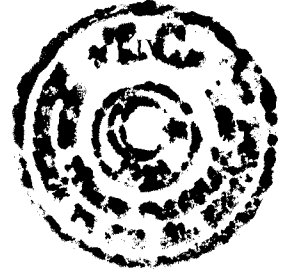
ÜYE : Doç. Dr. Necati ECEVİT

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01/...07/2004 tarih ve 2004/.../... sayılı kararı.

İmza / Mühür
Yrd. Doç. Dr. Zihmet ÇAPUSLU
GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür Yardımcısı

ÖZET



SAR (Suni Açıklıklı Radar $\equiv$ Syntetic Aperture Radar) sistemler son dönemlerde sıkça kullanılan çok yeni bir teknolojidir. SAR sistemler, çevre planlaması, haritalandırma ve askeri teknolojilerde kullanılmaya başlanan, hızla benimsenen ve gelişen bir teknolojidir.. SAR sistemler, jeologlara bölgenin mineral yapısını, çevrecilere su üzerindeki yağ tabakasını, kaşiflere deniz kıyılarını ve tehlike haritalarını, askeri alanda ise keşif ve hedef bilgisini yorumlama olanağı sağlar. Temelde görüntü işleme ve radar yaklaşımlarını içerir. SAR sistemlerde, yüksek bant genişliği, çözünürlüğü doğru otantılı olarak etkiler. SAR radarları bölgeyi uçarak katederken suni anten genişliği oluşturarak yeterli bant genişliği sağlar. Radar ilerledikçe her yönde dalga yayımlar. Geri saçılan ekolar kaydedilir. Veritabanı kayıtları, Doppler olayı göz önüne alınarak tutulur. Doppler olayı frekans uyumluluğu bakımından önemli sonuçlar doğurur ve etkisi çok önemlidir. Doppler etkisi katılarak elde edilen veriler hedefe doğru odaklanmayı sağlar. Odaklanma işlemi SAR'ın temelini oluşturur. Radarın cisme göre göreceli hareketine Doppler etkisi katılarak doğru bilimsel yaklaşım, kusursuz bir hesaplama gerekmektedir. Radar dalga boyları görünen veya infrared dalga boylarından daha büyüktür. Bu nedenle zor koşullarda, net görüntü elde edebilir. SAR sistemler ile Ters SAR sistemler temelde aynı olmakla birlikte bazı farklılıklar içerir. Ters SAR sistemlerde, sabit bir anten, hedefin hareketlerini kaydeder.

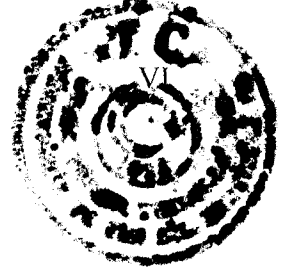
Bu tezde Ters SAR sistemlerin çalışma mekanizması incelenmiştir. Dalga denklemlerinin cisim ve uzamsal frekans uzayındaki karakteristiğine bağlı olarak periyodik sinyallerde örnekleme yöntemi ile hedefe ait belirli bilgiler doğrultusunda Ters SAR görüntüleri üreten kodlar üretilmiştir. Bu kodlar cisim uzayında doğru genlik ve beklenen örnekleme sıklığı ile hedef görüntüsü oluşturmuştur. Ayrıca kodlarının kabul edilebilir bir sürede sonuca ulaşması amaçlandığından FFT algoritması kullanılarak kodlar hızlandırılmıştır.

SUMMARY



SAR (Syntetic Aperture Radar) systems which is an important radar technology is mostly used in recent years. SAR systems firstly used in enviromental planning, maping, and in military projects and the field of use growing up in technology nowadays. SAR technology has provided terrain structural information to geologists for mineral exploration, oil spill boundaries on water to environmentalists, sea state and ice hazard maps to navigators, and reconnaissance and targeting information to military operations. SAR systems has the same fundamentals with the concepts of radar and image processing rules. In a SAR image, the wide Bandwidth will couse directly to the solubility and so to a beter image. And Bandwidth is directly proportional to the frequency range and to the width of antenna. SAR systems provide this bandwidth by flying the target area and constitute an enough syntetic antenna width. Radars broadcast in every directions while propogating. And the backscatters are recording in an echostore. These datas recording by the effect of Doppler event. Doppler event is very important if the frequency compatibility is concerned. These datas which is with the effect of Doppler event, provides focusing to the points of the target. Focusing is an important part of SAR systems. In these systems the effect of relative movement of the radar according to the target must be evaluated corrcetly. The wavelength of the waves used in these systems are bigger than the infrared wavelengths. So these systems can get good images in difficult conditions. SAR and ISAR (Inverse Syntetic Aperture Radar) systems are the same in fundamental. The biggest difference is the way of taking datas from the target. In an I-SAR sistem a radar, takes datas with the movement of the target.

In this thesis the I-SAR working mechanism exemined. According to the wave equation characteristics in frequency and substance domain, by using sampling in periodic signals, an I-SAR image of the target constituted by MATLAB simulation codes related to the target information given. The images obtained gives the correct amplitude and position of the target. To obtaine faster codes, FFT algorithms used and the codes reconstructed.



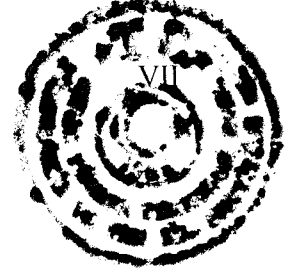
TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim süresince tüm öğrencileri ile kurduğu insani ilişkilerini gözlemlediğim, değerli öğretim üyesi, danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr A. Arif Ergin'e öğrettikleri ve yaptıkları için,

Sabancı üniversitesinde Araştırma Görevlisi değerli dostum Mustafa Parlak'a yardımları için,

Varlığı ile bana huzur veren oğlum Ahmet Onur ve eşim Betül'e yürekten teşekkürler...





İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	VII
KISALTMALAR	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLOLAR DİZİNİ	X
1.GİRİŞ	1
2.SAR, TERS-SAR SİSTEMLER	3
2.1. SAR Sistemlerde Görüntü İşleme	3
2.2. SAR Sistemlerde Radar İmajının Öaellikleri ve Yapılandırılması	5
2.3. TERS-SAR Sistemler	7
3.KURAMSAL YAKLAŞIMLAR VE İLGİLİ SİMÜLASYON KODLARI	8
3.1. TERS-SAR Sistemler İçin Kuramsal Yaklaşımlar	8
3.2. Örnekleme Sıklığı ve Kesim Frekansının Seçimi	16
3.2.1. F_{x_min} , f_{x_min} Kısıtlarının Bulunması	17
3.2.2. f_{x_max} Kısıtının Bulunması	18
3.2.3. Bir Vapura Ait TERS-SAR Görüntüleri	28
4. HATA PAYI	39
5. SONUÇLAR VE GELECEĞE DÖNÜK ÇALIŞMALAR	41
KAYNAKLAR	43
EKLER	44
ÖZGEÇMİŞ	45

KISALTMALAR



Kısaltmalar

Açıklama

SAR	Suni Açıklıklı Radar (<i>Syntetic Aperture Radar</i>)
T-SAR	Ters Suni Açıklıklı Radar (<i>I-SAR Inverse Syntetic Aperture Radar</i>)
FFT	Hızlı Fourier Transformu (<i>Fast Fourier Transform</i>)
I-FFT	Ters-Hızlı Fourier Transformu (<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>)



ŞEKİLLER DİZİNİ



Şekil

Sayfa

2.1. Radar dalga gönderir ve radara gerisaçılan dalgaları (echo) ölçer	4
2.2. Hedef ve uçuş yönü	4
2.3. Hedefler ve SAR görüntüleri	6
2.4. Gerisaçılma, dalganın yüzey normali açısının bir fonksiyonudur.	7
3.1. (a) Cisim uzayı, (b) Uzamsal frekans uzay	8
3.2. T periyodu ile periyodik Dirac-Delta foksiyonunun Fourier taransformu	8
3.3. $x(t)$, T aralıkla örneklenmiş bir fonksiyon, kendini tekrar etme periyodu T, genliği ise 1, ve fourier transformu	10
3.4. $g(t)$ bir sinc fonksiyonu, genliği W/π , eksenini kestiği ilk noktalar $-\pi/W$ ile π/W olan fonksiyon ve fourier transformu	10
3.5. $G(\omega)X(\omega, 2\pi/\Delta\omega)$ işleminin grafiksel sonucu	11
3.6. $x(t) \times (x(t) * g(t))$ işleminin grafiği ve fourier transformu	11
3.7. ($P=2$, $dw=0.1$, $N=20$ için elde edilen ornekleme.m kodunun çıktıları)	13
3.8. Cisim uzayındaki ornekleme değeri Δx 'in seçildiği yer	18
3.9. Hedefin cisim uzayında Ters SAR simülasyon görüntüsü	21
3.10. Hedefin cisim uzayında FFT kodu ile elde edilen Ters SAR simülasyon görüntüsü	25
3.11. 4 adet "Hot Spot Center" içeren Vapur_120'ye ait görüntü ve kodlarımıza ait Ters SAR görüntüsü	31
3.12. Perspektivden Vapur_120'ye ait Ters SAR görüntüsü	32
3.13. Vapur_240 ait Ters SAR görüntüsü	35
3.14. Kısmi θ açısına bağlı vapur_240 perspektivine ait görüntü	38

TABLÖLAR DİZİNİ



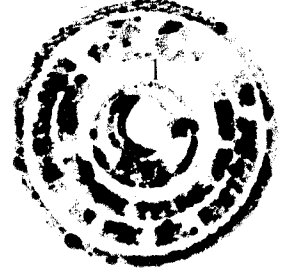
Tablo

Sayfa

3.1. P ve $d\omega$ değerlerinin değişimlerine bağlı grafik değerleri

16



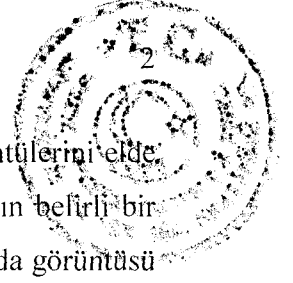


1.GİRİŞ

SAR (Suni Açıklıklı Radar) ve Ters SAR sistemler son yıllarda radar teknolojileri arasında en hızlı gelişen sistemlerdir. Ülkemizde yeni yeni kullanılmaya başlanan bu teknoloji askeri, jeoloji, haritalandırma ve çevre araştırmalarında kullanılan ve kullanım alanı hızla gelişen bir teknolojidir.SAR ve Ters SAR sistemler, sağladığı avantajlar ve görüntü kalitesi nedeniyle radar görüntü işleme teknolojisinin en sık kullanılanıdır. Bu tür sistemlerde temel kuramsal ve pratik yaklaşımlar oldukça önemlidir.

Tez, kuramsal ve pratik yaklaşımlar olarak ifade edilebilecek iki ana bölüm içermektedir. Kuramsal yaklaşımlar, SAR ve Ters SAR sistemlerde kullanılan temel dalga denklemlerinin incelenmesi, hedef bilgisine ulaşmak için gerekli matematiksel manipölasyonlarla yorumlanması olarak açıklanabilir. Pratik yaklaşımlar ise kuramsal olarak beklenen sonuçların doğru hedef bilgisi üretecek simölasyon kodlarına uyarlanması ve kullanılacak örnekleme yapısı, kısıtların belirlenmesi, gerekli bilgi ve koşulların belirlenmesi olarak ifade edilebilir.

Tezde SAR ,Ters SAR sitemleri daha yakından tanımak için genel bilgiler, bu sitemlere ait kodlarda kullanılacak kuramsal yaklaşımlar ve görüntüyü verecek kodda kullanılan Periyodik Sinyallerin Fourier Transformu ile ilgili bölümler ve tasarımılanan simölasyon kodları bulunmaktadır. Tezde SAR ve Ters SAR sitemler hakkında genel bilgi verildikten sonra Ters SAR üzerinde yoğunlaşarak hedefe ait görüntü kodları tasarımılanmıştır. Ters SAR üzerinde yoğunlaşılmasının nedenleri hedefin bilinmesinden dolayı karşılaştırma olanağının bulunması, SAR sitemlerin Ters SAR sitemlere göre daha büyük hedeflerde kullanılması (mesela bir bölge için) denebilir.



Ters SAR sistemler sabit bir radar ile hareketli cisimlerin görüntülerini elde etmede kullanılan bir teknolojidir. Örneğin hareket halindeki bir uçağın belirli bir yerde konuşlanmış bir Ters SAR radarının menziline girmesi durumunda görüntüsü çıkarılarak hedef tanımlanabilir. Bir Ters SAR radarı füze gözleyici olarak kullanılabilir. Denetlenmesi gereken bir bölgede kullanılabilir.

Bu tezde belirli bir hedefin, bazı bilgiler edinildiğinde görüntü bilgisini verebilecek simülasyon kodları üretilmeye çalışılacaktır. Bu kodların denenmesi için gerekli olan ölçüm verileri de yine yazılacak olan simülasyonun içerisinde yapay olarak üretilecektir. Bu kodların hızlı sonuç vermesi ve işlemciyi yormaması sağlanacaktır. Bunun sonucundada hedefe ait görüntü elde edilecektir.

Tez içerisinde ayrıca bir vapura ait ölçümler ile kodlar denenecek ve sonuçları incelenecektir.

Tezde göze çarpan bir diğer husus ise kuramsal yaklaşımlar ile simülasyon kodlarının peşisıra verilmesidir. Bunun amacı teori ile pratik yaklaşımların anında karşılaştırılabilir olmasını sağlamaktır.



2. SAR, TERS-SAR SİTEMLER

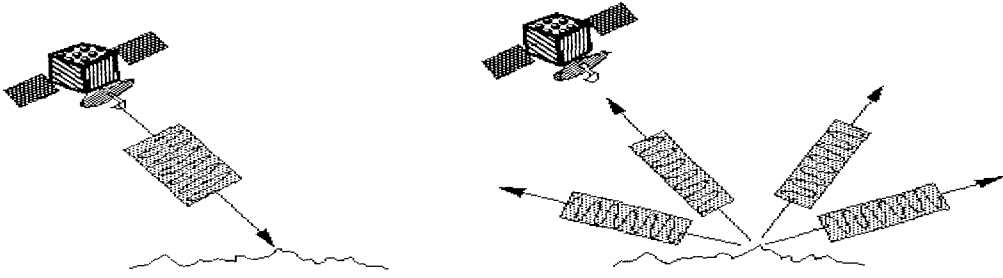
2.1. SAR Sistemlerde görüntü işleme

SAR (Suni Açıklıklı Radar $\equiv$ *Syntetic Aperture Radar*) sistemler, son yıllarda çevre planlaması, haritalandırma ve askeri teknolojilerde kullanılmaya başlanan bir radar (radio detection and ranging) teknolojisidir. SAR sistemler, jeologlara bölgenin mineral yapısını, çevrecilere su üzerindeki yağ tabakasını, keşiflere deniz kıyılarını ve tehlike haritalarını, askeri alanda ise keşif ve hedef bilgisini yorumlama olanağı sağlar.

SAR sistemler, flaşlı kameralara benzer; foton demeti yerine radyo dalgalar ile aydınlatıldığı bölgenin bir resmini çıkaran sistemlerdir. Bir fotoğraf kamerası ışık demetini gönderir. Cisme çarpıp yansıyan ışınlar daha sonra kameranin lenslerine ulaşır. Radar, lenslerin yerine bunu antenler ile yapar. Bir radar imajında yansıyan ve anten tarafından algılananlar yorumlanır. SAR, fotoğrafik ve diğer optik resimlendirme olanaklarını içerir.

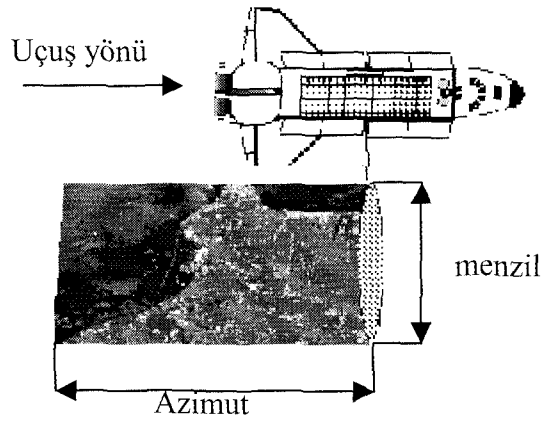
Genel olarak tipik bir radar, antenden yayılan dalganın uzak mesafeli bir yüzeyden veya cisimden yansımasından sonra gücünü ve gidiş geliş zamanını ölçer. Bir radar belirli dalga boylarında (dalga boyu 1 cm ile 1 m arası ve frekansı 300Mhz ile 30Ghz arası) ve belirli polarizasyonlarda (yatay ve dikey) dalga yayar ve alır. Bazı radar türleri 3-5 darbe, bazıları 10-12 darbe ile işlem yaparlar. Görüntü çıkaran radarlar ise 1500 yüksek güçlü darbeyi (darbe genişliği 10 ila 50 mikrosaniye civarındadır) imajı çıkarılacak hedefe gönderir. Tipik band genişliği bu imaj radarları için 10 ile 200MHz arasındadır. Yerküre üzerinde antenden yayılan dalgalar hedeften her yönde saçılabilirler. Geri saçılmanın bir kısmı anten tarafından algılanır. Gerisaçılan dalgalar, gönderilen dalgadan daha güçsüz ve polarizasyonca farklı olabilirler.

Gerisacılma sonucunda elde edilen veriler dijital veri olarak bir veri kaydedici ile kaydedilir. Uçuş alanı ve hedefin yeri tespit edilebilir.



Şekil 2.1. Radar, dalga gönderir ve radara gerisacılan dalgaları ölçer.

Bir radar imajı elde edilirken, yüksek band genişliği çözünürlüğü doğru orantılı olarak etkiler. Yüksek band genişliği anten büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Bu tür radarlar bölgeyi uçarak kat ederken suni anten genişliği oluşturarak yeterli band genişliği elde ederler.



Şekil 2.2. Hedef ve uçuş yönü.

Bir radar anteninin boyu, radarın gördüğü enine genişliği belirler. Antenin uzun ve geniş bir anten olması daha iyi çözünürlükte bir imaj elde edilmesi anlamına gelir. SAR, hedef üzerinden uçarak suni bir anten genişliği oluşturur. Suni olarak elde edilmiş anten genişliği, hedefin iyi çözünürlükte imajının çıkarılmasını sağlar. Hedefe gönderilen darbeler geri saçılma sonucunda dijital bilgi olarak düzenlenir ve bir data kaydedici ile kaydedildikten sonra imaj haline getirilir. Bu tezin de amacı kaydedilen datalardan SAR görüntüsünün nasıl elde edildiğini incelemektir. Radar dalgaları ışık hızında ($c = 3 \times 10^8$ m/sn) ilerler. Bu nedenle hedefe göre konum tespit edilebilir.

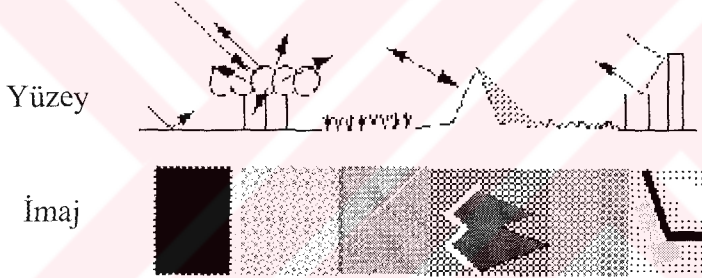
Radar ilerledikçe her yönde dalga yayımlar. Geri saçılan ekolar, echo kaydedicide kaydedilir. Veritabanı kayıtları, Doppler olayı göz önüne alınarak tutulur. Radar hedefe yaklaştıkça negatif, uzaklaştıkça pozitif frekans kayması oluşturur. Doppler olayı frekans uyumluluğu bakımından önemli sonuçlar doğurur ve etkisi çok önemlidir. Doppler etkisi katılarak elde edilen veriler hedefe doğru odaklanmayı sağlar. Odaklanma işlemi SAR'ın temelini oluşturur. Hedefin her noktası için Doppler frekansı doğru oturtulmalıdır. Radarın cisme göre göreceli hareketi ile ilgili doğru bilimsel bir yaklaşım ve kusursuz bir hesaplama gerekmektedir. Ayrıca radar dalga boyları görünen veya infrared dalga boylarından daha büyüktür. Bu nedenle zor koşullarda, (karanlık, bulutlu havalarda) net görüntü elde edebilir.

2.2. SAR Sistemlerde Radar İmajının Özellikleri ve Yapılandırılması

Radar görüntü çıktısı resim elemanlarından (piksel, *pixel*) oluşur. Her piksel bir geri saçılmayı temsil eder. Resimdeki koyu alanlar düşük geri saçılmayı, parlak veya açık alanlar ise yüksek orandaki geri saçılmayı temsil eder. Geri saçılma bazı temel etkiler sayesinde şekillenir. Hedeften yansıyan

saçılmaların cinsi, hedefin nem oranı, darbelerin polarizasyonu, ve gözlem açısı gibi etkenler görüntüyü belirleyicidir.

Geri saçılma hedefin büyüklüğüne göre şekillenir. Yaklaşık olarak dalga boyuna eşit yada büyük cisimler parlak bu dalga boyundan küçük cisimler ise koyu görünür. Ölçüm birimi desibel (dB) cinsindendir. Ölçüm, doğal yüzeyler için +5 dB (parlak) ile -40 dB (çok koyu) arasında değerler alır. Bu ölçümlerde yüksek bölgeler, inişli çıkışlı bölümler görüntülenebilir. Düz bölgelerden radara geri saçılma yok denecek kadar azdır. Bu nedenle düz bölümler siyah görünür. Bitki örtüsü inişli çıkışlı olduğundan gri yada koyu gri görünür. Yani radara bakan yüz parlak (geri saçılma çok olduğundan) diğer yüz ise biraz daha koyu görünür. Dağların radara görünmeyen eğimleri koyu görünecektir.



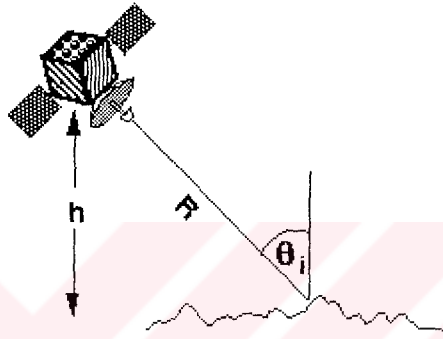
Şekil 2.3. Hedefler ve SAR görüntüleri.

Görüntüyü etkileyen diğer parametreler arasında hedefin elektriksel özelliği, sıvı madde içerip içermemesi vardır. Islak cisimler parlak, kuru bölümler koyu görünür. Bu şartlar pürüzsüz su yığınları için (nehirler,göller gibi) geçerli değildir.

Farklı polarizasyonlar nedeniyle değişim gösteren gerisaçılma imajı belirleyen faktörlerdendir. Bazı SAR antenleri dikey (*vertical V*), yatay (*horizontal H*) polarizasyonda dalga yayınlatabilir ve VV, HV, VH ve HH polarizasyonunda dalgalar alabilirler.

SAR radarları HH ve VV polarizasyonlu sinyallerde dalganın fazını ölçebilirler. Bu nedenle de faz farkını ölçebilirler. SAR radarlar HH ve VV sinyallerin korelasyon katsayılarını ölçerek gerisaçılmanın benzerliğini yorumlayabilirler.

Yol açısı ve dalganın geliş yönü ile yüzeyin normali arasındaki açı görüntüyü etkileyen faktörlerden bir diğeridir.



Şekil 2.4. Gerisaçılma, dalganın yüzey normali açısının bir fonksiyonudur.

2.3. Ters-SAR

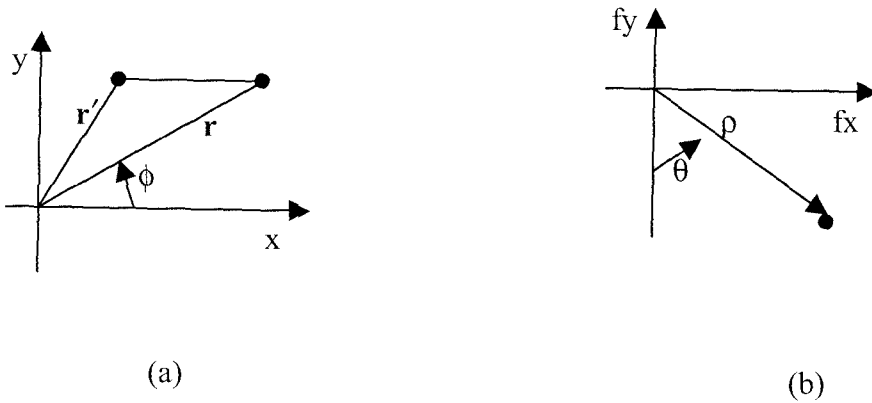
SAR sistemler hedefi boydan boya uçarak suni bir anten genişliği elde eder. Ters SAR sistemlerde farklı olarak antenler sabit olup hedef hareket ettirilerek kayıtlar tutulur. Doppler olayı ve Doppler frekansı ise hedefin hareketinin karakteristiğine göre pozitif veya negatif frekans kayması oluşturur. Doppler etkisi uygulanmış veriler daha sonra bir piksel şeklinde yorumlanır. Herhangi bir noktanın piksel yoğunluğu ve resmin parlaklığı ortalama geri saçılma gücüyle doğru orantılıdır. Çok gerisaçılmaya sebep olan noktalara “hot spot” veya “saçılma merkezi” denir.

3. KURAMSAL YAKLAŞIMLAR VE İLGİLİ SİMÜLASYON KODLARI

3.1. Ters SAR Sistemler İçin Kuramsal Yaklaşım

Bir SAR görüntüsü oluşturmak için radardan bir elektromanyetik sinyal yollar. Bu sinyalin ilgili cisme çarpması ile cismin yüzeyinde akımlar indüklenir. Bu akımların oluşturduğu elektromanyetik alanlar radar tarafından algılanır. Netice itibari ile bir SAR görüntüsünde cismin üzerindeki akım yoğunluğu gözükür. Buradaki çalışmada cismin üzerindeki akımların bilindiği varsayılacak ve bu akımların oluşturduğu alanın ölçümünden SAR görüntüsünün nasıl oluşturulduğu incelenecektir. Başlangıç olarak akım yoğunluğunun noktasal akımlardan oluştuğu varsayılacak ve temel kuramsal çıkarımlar buna göre yapılacaktır.

Konumu $\mathbf{r}'$ vektörü ile belirtilen noktasal bir kaynağımız olsun. $\mathbf{r}$ vektörü de gözlemcinin konumunu belirtsin. θ uzamsal frekans uzayındaki açı, ϕ ise cisim uzayında x eksenini ile gözlemci arasındaki açıyı ifade etsin.



Şekil 3.1. (a) Cisim uzayı, (b) Uzamsal frekans uzayı.

k yayılım (*propagation*) katsayısı, ω dalgaların acısal hızı ve c ışık hızı ise noktasal kaynaktan ϕ yönünde ışıyan alanın ifadesi

$$k = \omega / c \quad (3.1)$$

$$k = 2\pi f / c \quad (3.2)$$

$$G(f, \phi) = \frac{e^{-jk|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}}{4\pi |\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} \quad (3.3)$$

olarak verilir [4]. D , cismin bulunabileceği bölgenin çapı ve λ dalgaboyu ise, uzak alan koşulu

$$|\mathbf{r}-\mathbf{r}'| \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.4)$$

olarak ifade edilir [1]. Bu koşulun sağlanması halinde (3.3) ifadesi yaklaşık olarak

$$G(f, \phi) \cong \frac{e^{-jk|\mathbf{r}|}}{4\pi |\mathbf{r}|} e^{jk\hat{\mathbf{r}} \cdot \mathbf{r}'} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu yaklaşıklığa “uzak alan yaklaşıklığı” denir [2]. Burada kullanılan gözlem yönündeki birim vektör $\hat{\mathbf{r}}$ için $\hat{\mathbf{r}} = \mathbf{r} / |\mathbf{r}| = \hat{\mathbf{x}} \cos \phi + \hat{\mathbf{y}} \sin \phi$ açılımı (3.5) ifadesinde yerine konursa

$$G(f, \phi) = \frac{e^{-jk|\mathbf{r}|}}{4\pi |\mathbf{r}|} e^{j2\pi \frac{f}{c} (\hat{\mathbf{x}} \cos \phi + \hat{\mathbf{y}} \sin \phi) \cdot (\hat{\mathbf{x}} x' + \hat{\mathbf{y}} y')} \quad (3.6)$$

elde edilir. (f, ϕ) düzlemi, k propagasyon katsayısından elde edilen (f_x, f_y) uzamsal frekans değerlerinin oluşturduğu düzlem ile aynıdır. $f_x = f \cos \phi / c$ ve $f_y = f \sin \phi / c$ ifadesi (3.6) ifadesinde yerine konursa

$$G(f_x, f_y) = \frac{e^{-jk|\mathbf{r}|}}{4\pi |\mathbf{r}|} e^{j2\pi (x' f_x + y' f_y)} \quad (3.7)$$

elde edilir [4]. Denklem (3.7)'de elde edilen $G(f_x, f_y)$ alan değeri bir adet noktasal kaynağın ϕ açısında f frekansında gözlenen alanıdır. Tüm bir cismin üzerindeki kaynaklar noktasal kaynakların toplamı olacağından tüm cisimden ışıyan alan

$$G(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} g(x', y') e^{j2\pi(x'f_x + y'f_y)} dx' dy' \quad (3.8)$$

şeklinde bulunur. Bu ifadenin iki boyutlu Fourier dönüşümü olduğu açıktır. Dolayısıyla cisim fonksiyonunun genel ifadesinin ters dönüşüm ile

$$g(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} G(f_x, f_y) e^{-j2\pi(xf_x + yf_y)} df_x df_y \quad (3.9)$$

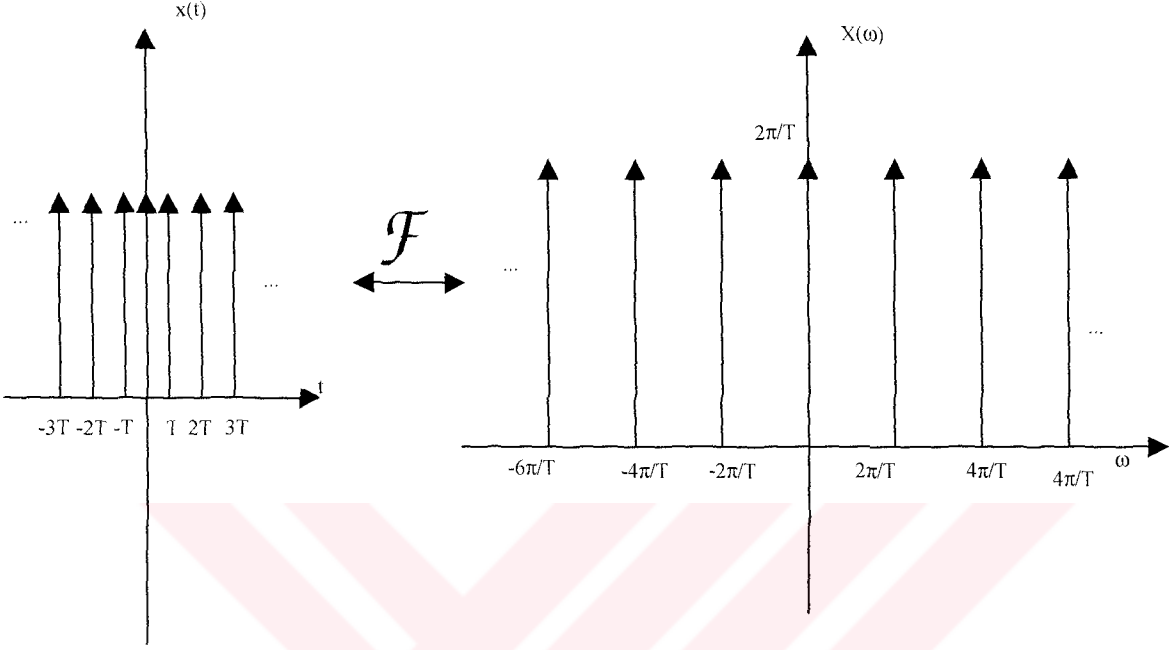
olduğu gösterilebilir. Bu ifade iki tane tek boyutlu ters Fourier transformu şeklinde yorumlanabilir. Cisim fonksiyonu adını alan $g(x, y)$ fonksiyonu hesaplanırken, $G(f_x, f_y)$ fonksiyonu bilinmediğinden analitik olarak işlem yapılamaz. Bu nedenle nümerik yöntemler kullanılmalıdır. Entegrasyon işlemi, nümerik olarak Riemann toplamı olarak hesaplanır. Δf_x ve Δf_y değerleri uzamsal frekans uzayında örnekleme aralıklarını ifade edecek olursa (3.9) eşitliği Riemann toplamı olarak

$$g(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} G(m\Delta f_x, n\Delta f_y) e^{-j2\pi(xm\Delta f_x + yn\Delta f_y)} \Delta f_x \Delta f_y \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu haliyle $G(f_x, f_y)$ fonksiyonu yerine onun örneklenmiş şekliyle çalışmaya başlamış oluyoruz. Örneklenmiş fonksiyon ile çalışmayı inceleyelim.

Teorik ifadelerin simülasyon kodlarında $g(x, y)$ ifadesi örnekleme yolu ile elde edilir. Simülasyon kodunda örnekleme aralığı arttıkça daha sağlıklı bir sonuca ulaşılır. Fakat f_x uzamsal frekans uzayındaki örnekleme

aralığının x cisim uzayındaki karşılığının hesaplanması gerekmektedir. Şekil 3.2’de tepe değeri 1 olan bir fonksiyon düşünelim. x(t) fonksiyonunun matematiksel ifadesi



Şekil 3.2. T periyodu ile periyodik Dirac-Delta fonksiyonunun Fourier transformu

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT) \quad (3.11)$$

ve bu fonksiyonun Fourier transformu,

$$X(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} 2\pi a_k \delta(\omega - k\omega_0) \quad (3.12)$$

$$a_k = 1/T \int_{-T/2}^{+T/2} \delta(t) e^{-jk\omega_0 t} dt = 1/T \quad (3.13)$$

$$X(\omega) = 2\pi / T \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(\omega - 2\pi k / T) \quad (3.14)$$

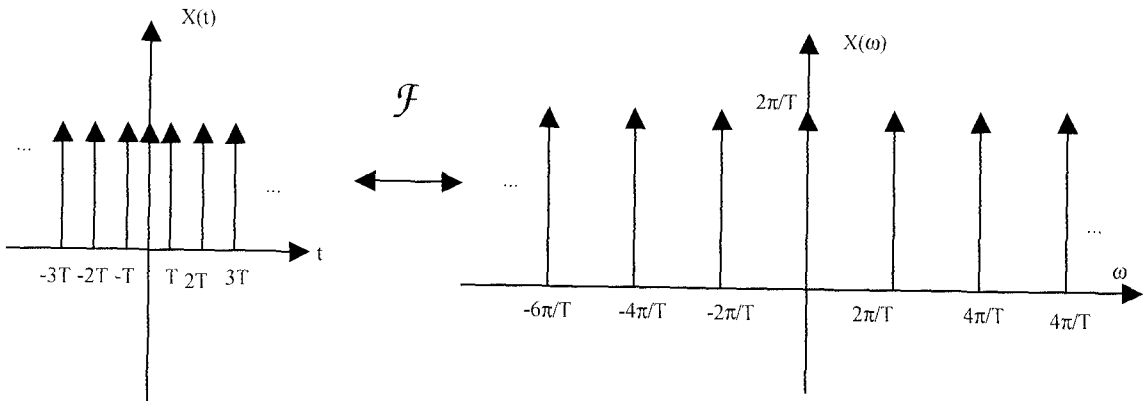


olarak ifade edilir [3]. Buradan hareketle $x(t)$ - t düzleminde T aralıklı örnekleme, $X(\omega)$ - ω düzlemindeki sinyalin $2\pi/T$ periyot ile periyodik hale gelmesine neden olmaktadır. Şekil 3.2.'de periyodik bir $x(t)$ fonksiyonu ve Fourier transformunun grafiği görülmektedir. Şekil 3.3'te örnekleme aralığı ile kendini tekrar etme periyodu T , tepe değeri $T/2\pi$ olan bir fonksiyonun Fourier transformu, tepe değeri 1, kendini tekrar etme periyodu $2\pi/T$ olan bir fonksiyondur. Şekil 3.4.'te ise tepe değeri ve x eksenini ilk kez kestiği nokta belirtilmiş sinc fonksiyonunun Fourier transformu, belirtilen sınırlarda bir kare dalgadır. Şekil 3.3. ve Şekil 3.4.'te belirtilen $x(t)$ ile $g(t)$ fonksiyonlarının konvolüsyonu frekans düzleminde, çarpma anlamına gelir [3]. Fakat burada ω düzleminde örnekleme sıklığımız $\Delta\omega$ olduğu için Şekil 3.5.'de elde edilen grafikte T yerine $\Delta\omega$ konmuştur. Bunun amacı frekans düzlemindeki örnekleme aralığı ile zaman düzlemindeki kendini tekrarlama periyodu arasındaki ilişkiyi göstermektir. $x(t)$ ve $x(t)*g(t)$ ifadesi çarpıldığında örneklenmiş, örnekleme aralığı T ve kendini tekrar etme periyodu $2\pi/\Delta\omega$ olan bir sinc fonksiyonu elde edilir. Şekil 3.6'da tepe değerindeki 2π çarpanı

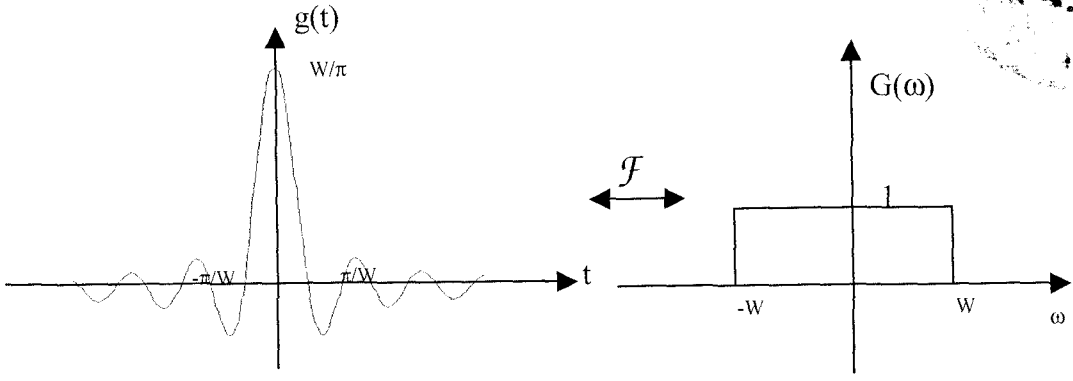
$$x(t) \times y(t) \leftrightarrow X(f) * Y(f) \quad (3.15)$$

ifadesinde $2\pi f = \omega$ konmasıyla elde edilir [2].

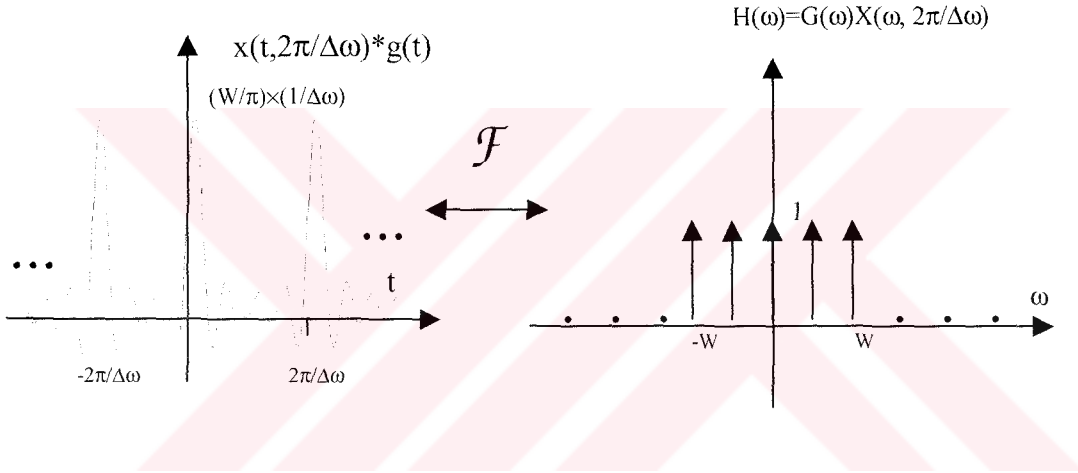
$$x(t) \times y(t) \leftrightarrow (1/2\pi)X(\omega) * Y(\omega) \quad (3.16)$$



Şekil 3.3. $x(t)$, T aralıklı örneklenmiş bir fonksiyon, ve Fourier transformu.

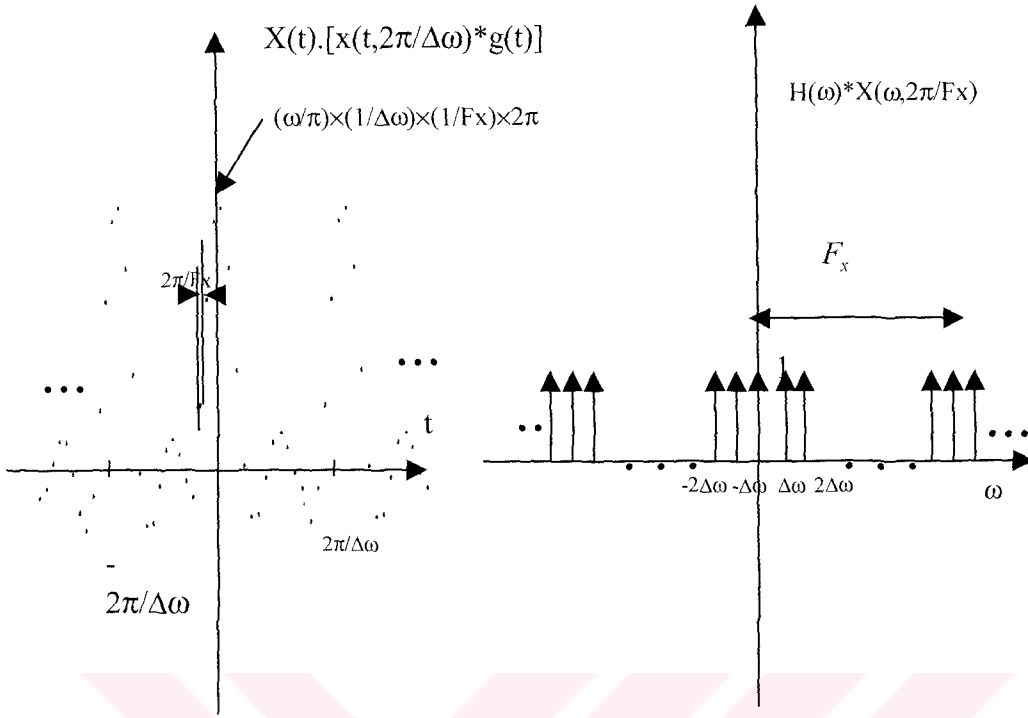


Şekil 3.4. $g(t)$ bir sinc fonksiyonu, genliği W/π , eksenini kestiği ilk noktalar $-\pi/W$ ile π/W olan fonksiyon ve Fourier transformu



Şekil 3.5. $G(\omega)X(\omega, 2\pi/\Delta\omega)$ işleminin grafiksel sonucu

Dolayısıyla (3.10) eşitliğinde, nümerik şekilde bir entegrasyon $g(x, y)$ fonksiyonunun periyodik olmasını gerektirmektedir. Ayrıca (3.10) eşitliğinde entegrasyon aralığı $(-\infty, \infty)$ olarak belirtildiğinden nümerik olarak bu aralıkta işlem yapılamaz. Bu nedenle işlem aralığının belirlenmesi gerekmektedir ve ileride incelenecektir. Şekil 3.6'da ise cisim uzayında $2\pi / F_x$ ile örneklenmiş bir fonksiyonun frekans düzlemindeki yansıması görülmektedir.



Şekil 3.6. $x(t, 2\pi / F_x)(x(t, \Delta\omega)*g(t))$ işleminin grafiği ve Fourier transformu.

Esasen bu grafik $x(t, 2\pi / F_x)(x(t, \Delta\omega)*g(t))$ işleminin bir sonucudur. Şekil 3.6 aynı zamanda frekans düzlemindeki periyot ile cisim uzayındaki örnekleme sıklığı arasındaki yakın ilişkiyi göstermektedir.

Yukarda yapılan yaklaşımın geçerliliğini basit bir kod ile ispatlamaya çalışalım. Bu kod incelendiğinde P periyodu ile kendini tekrar eden, $d\omega$ örnekleme aralığı, N örnek sayısı olmak üzere örneklenmiş bir fonksiyon olsun. Daha sonra I-FFT işlemini gerçekleştirerek şekil 3.6.'da elde edilen yaklaşım ile karşılaştırılarak bazı sonuçlar çıkarılacak. Fakat I-FFT işlemini yaparken kendini tekrar etme periyodikliğinin olduğu varsayılıyor. Örtüşme (*alaising*) olmaması için WN/P değerinin tamsayı olması gerekmektedir [3].

Ornekleme.m

```
N=P/dw
for k=0:N-1
    wp = k*dw;
    sonuc(k+1)=func(wp, P);
end
```

```

w = (0:N-1)*dw;
figure(1)
plot(w,abs(sonuc),'-*')
xlabel('w [rad/s]');
st = ifft(sonuc,N);
dt = 2*pi/(P);
t = (0:N-1)*dt;
figure(2)
plot(t, ((dw*P)/(2*pi))*abs(st),'-*')

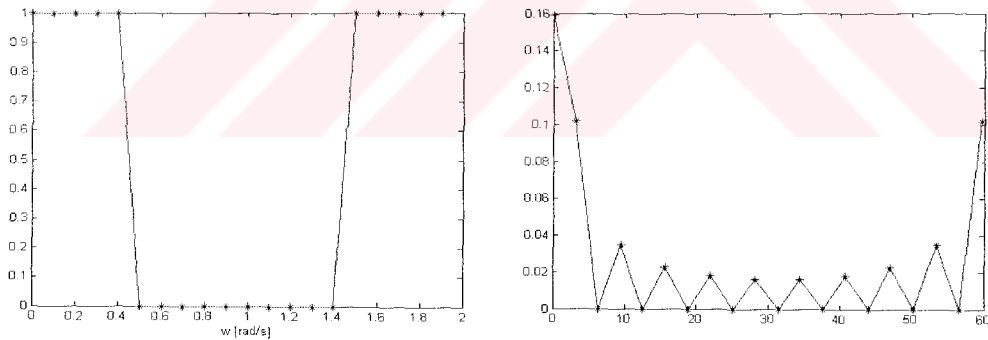
```

func.m

```

function fval=func(w,P)
W = 0.5;
if w < W
    fval=1;
elseif P-W <=w & w<P
    fval=1;
else
    fval=0;
end

```



Şekil 3.7. ($P=2$, $dw=0.1$, $N=20$ için elde edilen örnekleme.m kodunun çıktıları)

Örnekleme aralığı dw ve kendini tekrar etme periyodu P 'nin değişmesi durumunda yatay ve dikey eksenler korunmalıdır. Çünkü yazacağımız kodun örnekleme aralığı ve periyod değerinden bağımsız olması, etkilenmemesi gerekmektedir. W karedalgenin darbe genişliği $W=0.5$ olarak belirlenmesi tepe değerinin W/π , yatay ekseninde örnekleme aralığının

$2\pi/P$ olması beklenir. Bu durumlar göz önünde bulundurularak Çizelge 1'de örnekleme.m kodunun $d\omega$ ve P değerlerine bağlı olarak elde edilen sonuçları görülmektedir.

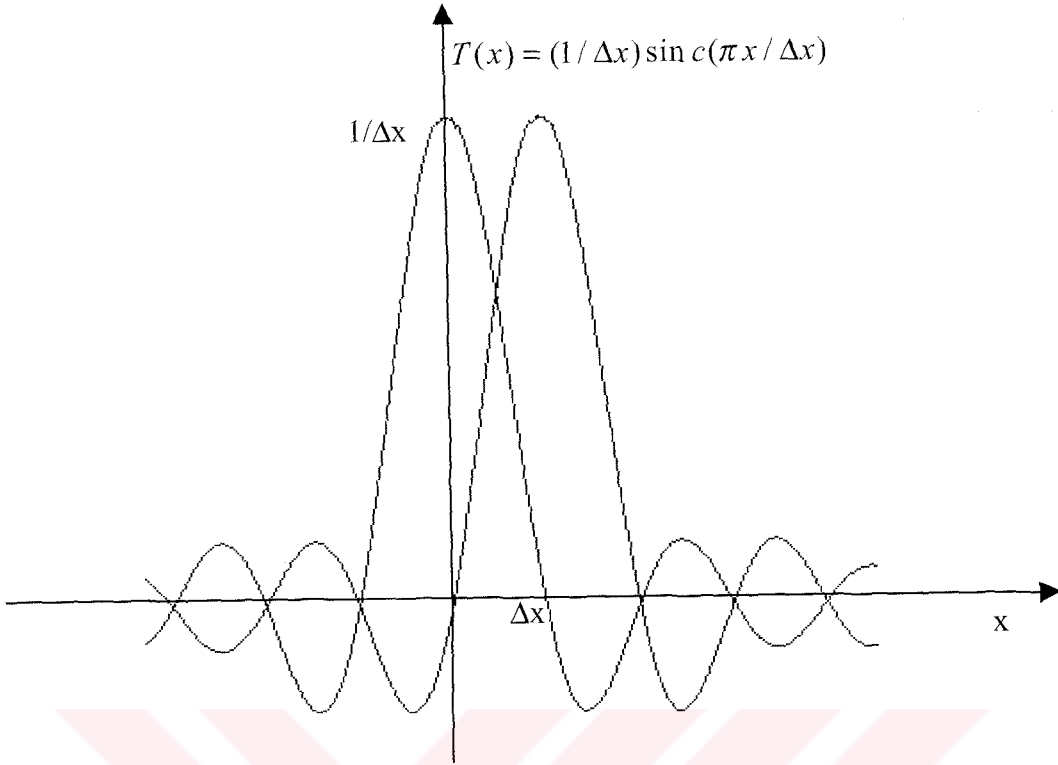
Tablo 3.1. P ve $d\omega$ değerlerinin değişimlerine bağlı grafik değerleri

P	$d\omega$	Grafiğin Tepe Değeri	Örnekleme Aralığı
2	0.1	0.159	3.14
3	0.1	0.159	2.09
5.7	0.1	0.159	1.10
2	0.2	0.159	3.14
2	0.3	0.159	3.14
2	0.4	0.159	3.14

Tablo 3.1'de elde edilen sonuçlar incelendiğinde örnekleme.m kodunun teorik olarak istenen sonuçları verdiğini söyleyebiliriz.

3.2. Örnekleme Sıklığı ve Kesim Frekansının Seçimi

$G(f_x)$ fonksiyonunu $(-\infty, +\infty)$ aralığında sürekli bir fonksiyondur. Pratik olarak bu fonksiyonun belirli bir bant aralığı boyunca integrasyon edilmesi gerekmektedir. Çünkü pratik olarak $(-\infty, +\infty)$ arasında integrasyon alınamaz. Bu nedenle $G(f_x)$ fonksiyonu bir kare dalga ile çarpıldığı takdirde belirli bir aralık boyunca integrasyon mümkün olacaktır. Diyelim ki $G(x)$ fonksiyonunun Fourier dönüşümü dirac-delta fonksiyonu ise, bir kare dalga ile çarpılması sinc fonksiyonunun dirac-delta tepkisine kadar ötelenmesi anlamına gelir. Burada önemli olan bir başka durum ise $G(f_x)$ fonksiyonunu kesecek karedalga'nın sınırlarının belirlenmesidir.



Şekil 3.8. Cisim uzayındaki örnekleme değeri Δx 'in seçildiği yer

Noktasal cismimizin nerede olduğu konusunda fikir edinmeye çalışalım. Diyelim ki cismimiz D_{max} çaplı bir dairenin içinde bir yerlerde. f_x ve f_y düzlemindeki minimum ve maksimum kısıtların hesaplanması gerekmektedir. f_{x_min} örnekleme sayısı ile doğrudan alakalıdır. f_{x_max} ise $g(x,y)$ fonksiyonuyla çarpılacak olan kare dalga'nın f_x eksenini kestiği bölgeler olacak. Şimdi bu kısıtları bulalım.

3.2.1. F_{x_min} , f_{x_min} Kısıtlarının Bulunması

f_{x_min} ile F_{x_min} karıştırılmamalıdır. f_{x_min} seçilecek minimum örnekleme aralığını belirleyen frekans değeri, F_{x_min} ise $G(f_x)$ fonksiyonunun minimum periyodudur.

f_x düzlemindeki örnekleme sayısı en az $f_{x_min} / 10$ olmalıdır. f_x 'in periyodu;

$$\begin{aligned} e^{j2\pi x' f_x} &= e^{j2\pi x' (f_x + F_x)} \\ e^{j2\pi x' F_x} &= 1 \Rightarrow F_x = 1/x' \end{aligned} \quad (3.17)$$

bulunur. f_{x_min} değeri, maksimum periyodun $D_{max}/2$ olduğu düşünülünce $f_{x_min} = 2/D_{max}$ olur.

f_x eksenini üzerindeki örnekleme oranı $\Delta f_x \leq f_{x_min} / 10 = 1/(5D_{max})$ olarak verilebilir.

3.2.2. f_{x_max} Kısıtının Bulunması

f_{x_max} ifadesi cisim uzayındaki çözünürlükle doğrudan alakalıdır. Δx , x eksenini boyunca örnekleme aralığı olsun. Noktasal kaynağımızın görüntüsü, sinc fonksiyonunun delta-dirac fonksiyonunun görüldüğü yere kadar kaymış hali ise dirac-delta fonksiyonunun belirgin olması, Δx çözünürlük örnekleme aralığı ile doğrudan ilişkilidir. Daha önce belirttiğimiz Fourier özelliğinde konvule edilmiş karedalga ve delta-dirac fonksiyonu, görüntünün yerini vermektedir. Bu nedenle $G(f_x, f_y)$ 'ye giydireceğimiz kare dalga sınırları aynı zamanda f_{x_max} değerini vermelidir.

$$\begin{aligned} 2\pi f_{x_max} &= \pi / \Delta x \\ f_{x_max} &= 1 / (2\Delta x) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Çözünürlük ile x eksenindeki örnekleme aralığı ters orantılıdır. Δx azaldığında çözünürlük artar, f_{x_max} ve f_{y_max} artar, bu da giydirilecek kare dalga sınırlarının genişlemesi anlamına gelir ve daha net bir görüntüye ulaşılır. Burada önemli bir başka konu ise periyodik sinyallerde Fourier

transformunun nasıl alınacağıdır. Bulunan kısıtlarla tasarımılanan simülasyon kodu;

Project2.m;

```

delta_x = 0.1;          <Δx değeri belirleniyor>
delta_y = delta_x;      <Δy değeri belirleniyor>
Dmax=2;                 <noktasal kaynağın bulunabileceği dairenin max
                        capı belirleniyor>
for m=-10:10            <x ekseninde -10:10
                        aralığında integrasyon>

    x = m*delta_x;
    for n=-10:10
        y = n*delta_y;
        [m n]
sonuc(m+11,n+11) = g_iulusoy(x,y,Dmax,delta_x);
                        <g_iulusoy fonksiyonu sonuc matrisine
                        aktarıyor>
    end
end

```

g_iulusoy.m;

```

function gval = g_iulusoy(x,y,Dmax,delta_x)
delta_fx=2/Dmax/10;    <fx_min/10=Δfx ornekleme aralığı
                        için>
delta_fy=delta_fx;      <fy_min/10=Δfy ornekleme aralığı
                        için>

N=(5*Dmax)/delta_x/2   <giydirilen kare dalga'nın sınırları,
fx_max için gerekli manipölasyon;
N*delta_fx=fx_max>

gval = 0;
for m=-N:N              <∫∫ ≡ ∑∑; (1.8) , (1.9) çift katlı
                        integrasyon remann toplamı ile
                        hesaplanıyor>

    for n=-N:N
        fx = m*delta_fx;    <fx değeri belirleniyor>
        fy = n*delta_fy;    <fy değeri belirleniyor>
    end
end

```

```

gval = gval + G(fx,fy)*exp(-j*2*pi*(fx*x +
                                fy*y))*delta_fx*delta_fy;
                                <G(fx,fy) çağrılıyor >
end
end

```

G.m;

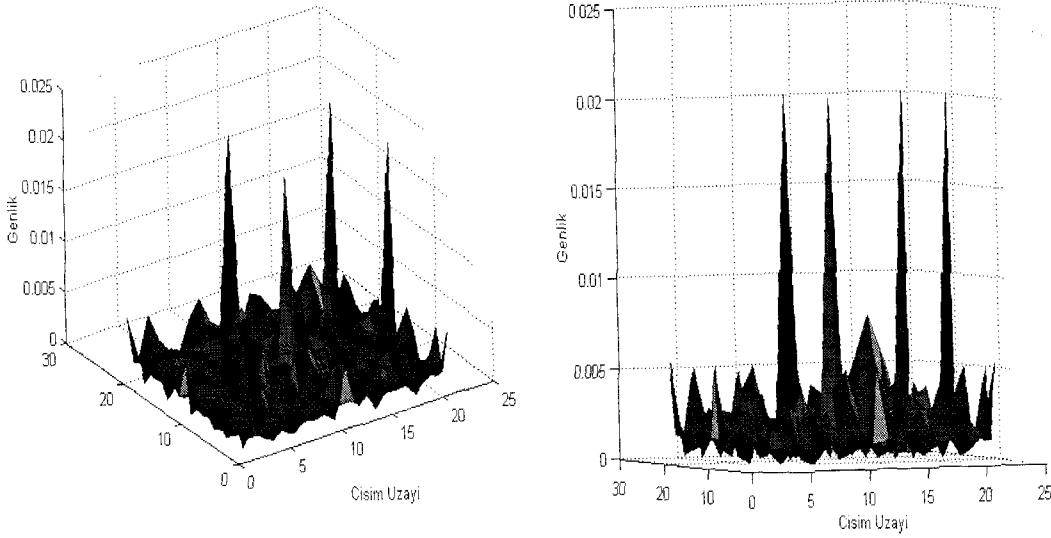
```

function Gval = G(fx,fy)
c = 3e8;
r = 100;
freq = sqrt(fx^2+fy^2) * c / 2;
k = 2*pi*freq/c;          <propogasyon katsayısı
                           hesaplanıyor>
theta = atan2(fy,fx); <fig1b deki herhangi bir andaki θ
                       değeri>

x = r*cos(theta);
y = r*sin(theta);
z = 0;
xp = 0;
yp = 0;          <A(0,0,0) noktasal kaynağın konumu>
zp = 0;
Gval = exp(-j*k*r)/(4*pi*r)*exp(j*2*pi*(xp*fx+yp*fy));
xp = 1;
yp = 0;          <B(1,0,0) noktasal kaynağın konumu>
zp = 0;
Gval = exp(-j*k*r)/(4*pi*r)*exp(j*2*pi*(xp*fx+yp*fy));
xp = 1;
yp = 1;          <C(1,1,0) noktasal kaynağın konumu>
zp = 0;
Gval = exp(-j*k*r)/(4*pi*r)*exp(j*2*pi*(xp*fx+yp*fy));
xp = 0;
yp = 1;          <D(0,1,0) noktasal kaynağın konumu>
zp = 0;
Gval = exp(-j*k*r)/(4*pi*r)*exp(j*2*pi*(xp*fx+yp*fy));

```

Daha sonra işlemi yaptıktan sonra Matlab'ta surf(abs(sonuc)) komutu ile grafik çizilir.



Şekil 3.9. Hedefin cisim uzayında Ters SAR simülasyon görüntüsü

Kodun sonucunda elde edilen şekil 3.9. grafikleri incelendiğinde tepe ve yatay değerlerde yanlışlık olduğu görülür. Bunun nedenini eksen özelliklerinin kod içerisinde tasarlanmamış olmasıdır. Bu konu ile ilgili olarak gerekli manipülasyonlar ilgili kısımdan sonra koda eklenecektir. Ayrıca bu kodun daha hızlı sonuç üretmesi, işlemi yapacak işlemciyi yormaması önemli ara koşullardır. Şimdi böyle bir kodu başka bir yöntem kullanarak, istenen koşullarda ve özelliklerde bir yaklaşımın mümkün olup olmayacağını inceleyelim.

Periyodik sinyallere ait Fourier transformunu yukarıda grafiksel olarak bir kare dalga için incelemiştik. Fakat unutulmaması gereken bir husus ise giydirilen kare dalga içerisinde bir başka tipte sinyalin bulunması ihtimalidir. Bu nedenle grafiksel yaklaşım tam anlamıyla aradığımız yaklaşım değildir. Bu durumda daha genel bir çözüme ulaşmamız gerekmektedir.

$g(t)$ periyodik fonksiyonu, T periyod olmak üzere $-T/2 < t < T/2$ aralığında tanımlı olsun.

$$\begin{aligned}
 g(t) &= 1/(2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) e^{j\omega t} d\omega \\
 -T/2 < t < T/2 \\
 g(t) &\neq 0
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

$h(t)$ fonksiyonu ise $g(t)$ fonksiyonunun $2\pi / \Delta\omega$ aralıklarla periyodikleştirilmiş hali ise

$$h(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g(t + k 2\pi / \Delta\omega) = 1/(2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{j\omega(t + k 2\pi / \Delta\omega)} d\omega \tag{3.20}$$

$$h(t) = 1/(2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) e^{j\omega t} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{j\omega k 2\pi / \Delta\omega} d\omega \tag{3.21}$$

şeklinde de ifade edilebilir. Daha genel bir ifadeye ulaşmak için serilere ait bir özellikten faydalanalım.

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j2\pi n\lambda / L} = L \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(\lambda - mL) \tag{3.22}$$

(3.22) ifadesindeki özellik kullanılırsa $h(t)$ ifadesi

$$h(t) = \Delta\omega / (2\pi) \sum_{m=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) e^{j\omega t} \delta(\omega - m\Delta\omega) d\omega \tag{3.23}$$

$$h(t) = \Delta\omega / (2\pi) \sum_{m=-\infty}^{\infty} G(m\Delta\omega) e^{jm\Delta\omega t} \tag{3.24}$$

şeklini alır. Eğer, $2\pi / (\Delta\omega) > T$ şartı sağlanırsa, $-T/2 < t < T/2$ aralığında $h(t) = g(t)$ olur.

Öncelikle ω düzlemini kısıtlayıp ardından Δt aralıklarıyla $g(t)$ yi örnekleyelim. Bunun için öncelikle bir kare dalgaya ihtiyacımız var. P

fonksiyonu $\omega_{\max}$ değerinde kısıtlanmış tepe değeri 1 olan bir kare dalga olsun. ω düzleminde giydirilen kare dalga iki fonksiyonun ω düzleminde çarpımı ve t düzleminde ise konvolüsyonu anlamına gelir. $\tilde{g}(t)$ ve $\tilde{h}(t)$ konvolüsyonla elde edilen fonksiyonları ifade etsin.

$$\tilde{g}(t) = g(t) * p(t, \omega_{\max}) \quad (3.25)$$

$$\tilde{g}(t) = 1/(2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} P(\omega, \omega_{\max}) G(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (3.26)$$

$$\tilde{h}(t) = h(t) * p(t, \omega_{\max}) \quad (3.27)$$

$$\tilde{h}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} g(t + k2\pi / \Delta\omega) * p(t, \omega_{\max}) \quad (3.28)$$

$$\tilde{h}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau + k2\pi / \Delta\omega) p(t - \tau, \omega_{\max}) d\tau \quad (3.29)$$

τ yerine;

$$\tau = \tau' - k2\pi / \Delta\omega \quad (3.30)$$

konursa $\tilde{h}(t)$ fonksiyonu,

$$\tilde{h}(t) = \int_{-T/2}^{T/2} g(\tau') \sum_k p(t - \tau' + k2\pi / \Delta\omega) d\tau' \quad (3.31)$$

halini alır. $h(t)$ fonksiyonu, t düzlemi Δt aralıklarla örneklenince, l örnek sayısını belirtmek üzere

$$h(l\Delta t) = \Delta\omega / (2\pi) \sum_{m=-\infty}^{\infty} G(m\Delta\omega) e^{jm\Delta\omega l\Delta t} \quad (3.32)$$

$$2\pi / N = \Delta\omega\Delta t \quad (3.33)$$

$$h(l\Delta t) = 1/(N\Delta t) \sum_{m=-\infty}^{\infty} G(m\Delta\omega) e^{j2\pi lm / N} \quad (3.34)$$

elde edilir. Burada bazı manipölasyonlar kullanarak tüm bu işlemleri FFT işlemine indirgemeye çalışalım. Bunun için bazı matematiksel manipölasyonlara ihtiyacımız olacak. m yerine

$$\begin{aligned} m &= k + qN \\ m &\rightarrow -\infty : \infty \\ k &\rightarrow 0 : N-1 \\ q &\rightarrow -\infty : \infty \end{aligned} \quad (3.35)$$

ifadesini koyabiliriz. Bu durumda (3.35) ifadesi,

$$h(l\Delta t) = (1/\Delta t)(1/N) \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{q=-\infty}^{\infty} G(k\Delta\omega + qN\Delta\omega) e^{j2\pi lk} e^{-j2\pi lqN / N} \quad (3.36)$$

şeklinde de ifade edilebilir. $G(k\Delta\omega + qN\Delta\omega)$ fonksiyonu $(-\infty, \infty)$ aralığındaki toplamı $\tilde{G}(k\Delta\omega)$ gibi bir fonksiyon olsun.

$$\sum_{q=-\infty}^{\infty} G(k\Delta\omega + qN\Delta\omega) = \tilde{G}(k\Delta\omega) \quad (3.37)$$

$$e^{-j2\pi lqN / N} = 1 \quad (3.38)$$

Genel IDFT (*Inverse Discrete Fourier Transform*) veya IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) ifadesini h_l için hatırlayacak olursak,

$$h_l = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} H_k e^{jkl2\pi / N} \quad (3.39)$$

olarak ifade edilir [3]. (3.37) ve (3.38) ifadeleri, (3.36) denkleminde göz önüne alınırsa

$$h(l\Delta t) = 1/\Delta t \text{IFFT} \left\{ \tilde{G}(k\Delta\omega), l \right\} \quad (3.40)$$

genel sonucuna ulaşılır. IFFT işlem yoğunluğu az olduğundan oldukça hızlı bir algoritmaya sahiptir [3]. Bu nedenle işlemciyi yormayacağı ve süre zaafiyetini ortadan kaldıracacağı açıktır. Şimdi birde IFFT işlemini iki boyutlu düzlem için nasıl alacağımıza bir bakalım. Cisim denklemimizde , eğer $y=y_1$ ve $f_y=f_{y1}$ (y_1, f_{y1} birer sabit) olursa, (3.9) denklemi

$$g(x, y_1) = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f_x, f_{y1}) e^{[-j2\pi f_x x]} df_x \cdot (e^{-j2\pi f_{y1} y_1}) \quad (3.41)$$

şeklini alır. $(e^{-j2\pi f_{y1} y_1})$ ifadesi x 'e göre bir sabit ifade eder. Bu nedenle $g(x, y_1)$ ifadesinin karşılığı

$$g(x) = C \mathcal{F}\{G(f_x)\} \quad (3.42)$$

olarak karşımıza çıkar. Yani cisim uzayına geçiş ayrı ayrı her boyutta Fourier transformu almakla mümkün olacaktır. Buradan tüm bu işlemler sonucunda, *IFFT* işlemi ile SAR görüntümüzü elde edebileceğimiz anlaşılmaktadır. Elde edilen kısıtlar ve yaklaşımlar kullanılarak kodun hızlı olması ve işlemciyi yormaması önemlidir. Bu durum, işlemcinin hedefi algılama süresi, bazı durumlarda oldukça hayati olabilir. Örneğin sabit bir Ters SAR radarı konuşlandığı bölgeden geçen bir hedefi anında görüntüleyebilecek özellikte programlanmalıdır. Böyle bir durumda işlem zamanı oldukça önemlidir ve minimal düzeyde tutulmalıdır. Bunun yanında işlemcinin çok iyi olması durumunda çalışan bir program ekonomik bazı sorunlar doğurabilir. Bu nedenle yazılacak kodun işlem yükünün azaltılması gerekmektedir. Belirtilen kriterler nedeniyle daha hızlı çalışan bir algoritma olan FFT kullanılarak kod güncellenmiştir [2].

Project2.m;

```

delta_x = 0.1;
delta_y = delta_x;
Dmax=2;
delta_fx=2/Dmax/10;
delta_fy=delta_fx;
N=(5*Dmax)/delta_x/2;
% G_fft matrisini oluştur.
TIC
for m=-N:N
    for n=-N:N
        fx = m*delta_fx;
        fy = n*delta_fy;
        G_fft(m+N+1,n+N+1) = G(fx,fy);
    end
end
m
end
disp('matris oluşumu: ');
TOC
%sonuc = fftshift(FFT2(fftshift(G_fft)));
sonuc = fftshift(IFFT2((G_fft)))*delta_fx*delta_fy;
%arc=sonuc*5*Dmax*delta_fx/delta_x;
xx = -(-N:N)*delta_x;
yy = -(-N:N)*delta_y;
surf(xx,yy,abs(sonuc.)); shading interp; colorbar;
view(2)
TOC

```

g_fft.m;

```

function gval = g_iulusoy(x,y,Dmax,delta_x)
%Dmax=2;
%delta_x=0.1;
delta_fx=2/Dmax/10;
delta_fy=delta_fx;
N=(5*Dmax)/delta_x/2;
gval = 0;
for m=-N:N
    for n=-N:N
        fx = m*delta_fx;
        fy = n*delta_fy;

```

```

        gval = gval + G(fx,fy)*exp(-j*2*pi*(fx*x
            +fy*y))*delta_fx*delta_fy;
    end
end

```

G.m;

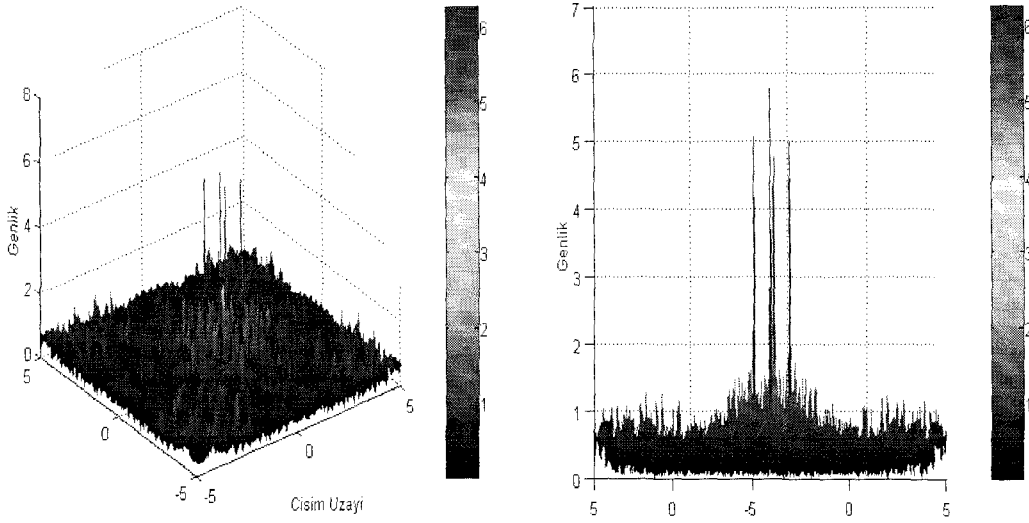
```

function Gval = G(fx,fy)
% 27_02_2004 grafik
c = 3e8;
r = 100;
freq = sqrt(fx^2+fy^2) * c / 2;
k = 2*pi*freq/c;
theta = atan2(fy,fx);
x = r*cos(theta);
y = r*sin(theta);
z = 0;
xp = 1;
yp = 0;
zp = 0;
Gval = exp(j*2*pi*(xp*fx+yp*fy))*exp(-j*k*r)/(4*pi*r);
xp = 0;
yp = 0;
zp = 0;
Gval = Gval+exp(j*2*pi*(xp*fx+yp*fy))*exp(-j*k*r)/(4*pi*r);
xp = 0;
yp = 1;
zp = 0;
Gval = Gval+exp(j*2*pi*(xp*fx+yp*fy))*exp(-j*k*r)/(4*pi*r);
xp = 1;
yp = 1;
zp = 0;
Gval = Gval+exp(j*2*pi*(xp*fx+yp*fy))*exp(-j*k*r)/(4*pi*r);

```

FFT algoritması kullanılarak daha az işlem yoğunluklu ve dolayısıyla daha hızlı bir simülasyon kodu tasarlanmıştır. FFT kodunda matris oluşumu intel celeron 800MHz işlemci ve 256MB RAM bellekli bir bilgisayarda yaklaşık olarak 2.8 saniye sürmüştür. Oysaki aynı bilgisayarda bir önceki kod yaklaşık olarak 12 dakika sürmüştür. Arada yaklaşık olarak

250 kat hız farkı olduğu söylenebilir. Ayrıca bir önceki kodda yer bilgisi yanlış elde edilirken FFT kodunda hedef beklenen konumda elde edilmiştir.



Şekil 3.10. Hedefin cisim uzayında FFT kodu ile elde edilen Ters SAR simülasyon görüntüsü

3.2.3. Bir Vapura Ait TERS SAR Görüntüleri

Tasarladığımız kodların çalışırılığını bilmediğimiz bir cisim için inceleyelim. Bunun için bir vapura ait ölçümleri kodlarımıza adapte edelim. Sonrasında ise kodlarımızın çalışıp çalışmadığını kontrol edelim. Bu görüntüler, hot-spot olarak ifade ettiğimiz yoğun yansıma bölgelerinin belirgin olarak göstermektedir.

Önce 120 derecelik açı ile elde edilen ölçümlere ait görüntüyü inceleyelim. Kodumuza adapte edeceğimiz ölçümler G_vapur120.m kodunda belirtilmektedir.

Project2.m

```
delta_x = 0.5;
delta_y = delta_x;
Dmax=35;
```



```

delta_fx=2/Dmax/10;
delta_fy=delta_fx;
N=(5*Dmax)/delta_x/2;
% G_fft matrisini oluþtur.
for m=-N:N
    for n=-N:N
        fx = m*delta_fx;
        fy = n*delta_fy;
        G_fft(m+N+1,n+N+1) = G_vapur120(fx,fy);
    end
end
m
end
disp('matris olupumu: ');
sonuc = fftshift(FFT2((G_fft)));
xx = (-N:N)*delta_x;
yy = (-N:N)*delta_y;
surf(xx,yy,abs(sonuc.)); shading interp; colorbar
view(2)

```

G_FFT.m

```

function gval = g_iulusoy(x,y,Dmax,delta_x)
delta_fx=2/Dmax/10;
delta_fy=delta_fx;
N=(5*Dmax)/delta_x/2;
gval = 0;
for m=-N:N
    for n=-N:N
        fx = m*delta_fx;
        fy = n*delta_fy;
        gval = gval + G_vapur120(fx,fy)*exp(-j*2*pi*(fx*x +
fy*y))*delta_fx*delta_fy;
    end
end
end

```

G_vapur120.m

```

function Gval = G(fx,fy)
c = 3e8;
r = 100;
freq = sqrt(fx^2+fy^2) * c / 2;
k = 2*pi*freq/c;

```



```
theta = atan2(fy,fx);
x = r*cos(theta);
y = r*sin(theta);
z = 0;
temp = [
    22.2084 -27.5466 10.3365 0.00530274 -0.727849
    22.2084 -27.5466 10.136 -0.00568372 -0.721473
    22.2084 -27.5466 9.90679 -0.0103201 -0.688688
    22.2084 -27.5466 9.6776 -0.0155368 -0.589371
    22.2084 -27.5466 9.41977 -0.0189158 -0.491437
    22.2084 -27.5466 9.19059 -0.0212749 -0.423941
    22.2084 -27.5466 10.4511 -0.00432818 -0.357429
    22.2193 -30.0864 8.53169 0.285706 0.187315
    22.2193 -30.0864 9.04735 0.00610093 -0.311366
    22.2193 -30.0864 9.24788 -0.171617 -0.225169
    22.2193 -30.0864 8.76087 0.261198 -0.0135426
    22.2193 -30.0864 9.41977 -0.257338 0.0255441
    17.7623 -27.8099 3.80479 -0.249372 0.0379182
    17.7623 -27.8099 4.00532 -0.238808 0.0856352
    17.7559 -31.1218 4.00532 0.0318368 -0.245473
    17.7559 -31.1218 3.80479 -0.105676 -0.254897
    22.2084 -27.5466 8.93276 -0.0163505 -0.231405
    22.2193 -30.0864 8.93276 0.15222 -0.149382
    17.7623 -27.8099 4.20586 -0.189859 0.0814388
    22.2084 -27.5466 9.53436 -0.00726369 -0.17907
    22.2193 -30.0864 9.6776 -0.0457306 0.155262
    22.2084 -27.5466 9.04735 -0.011519 -0.157352
    22.2084 -27.5466 9.96408 -0.00287134 -0.150096
    17.7623 -27.8099 4.49233 -0.128892 0.0549847
    17.7623 -27.8099 4.32045 -0.14204 0.0482305
    17.7623 -27.8099 4.77881 -0.121364 0.050274
    17.7623 -27.8099 4.97935 -0.136629 0.0538274
    17.7623 -27.8099 5.20853 -0.135264 0.0499405
    17.7623 -27.8099 5.40907 -0.138012 0.0525464
    22.2084 -27.5466 10.136 -0.00151306 -0.128276
    22.2193 -30.0864 9.53436 -0.0830961 0.0956243
    22.2193 -30.0864 9.90679 0.0843442 0.0903473
    17.7623 -27.8099 4.63557 -0.107781 0.037614
    22.2084 -27.5466 9.6776 -0.00399317 -0.113841
    22.2193 -30.0864 8.64628 0.10977 0.0270135
    17.7623 -27.8099 3.66155 -0.0785463 -0.0188487
```

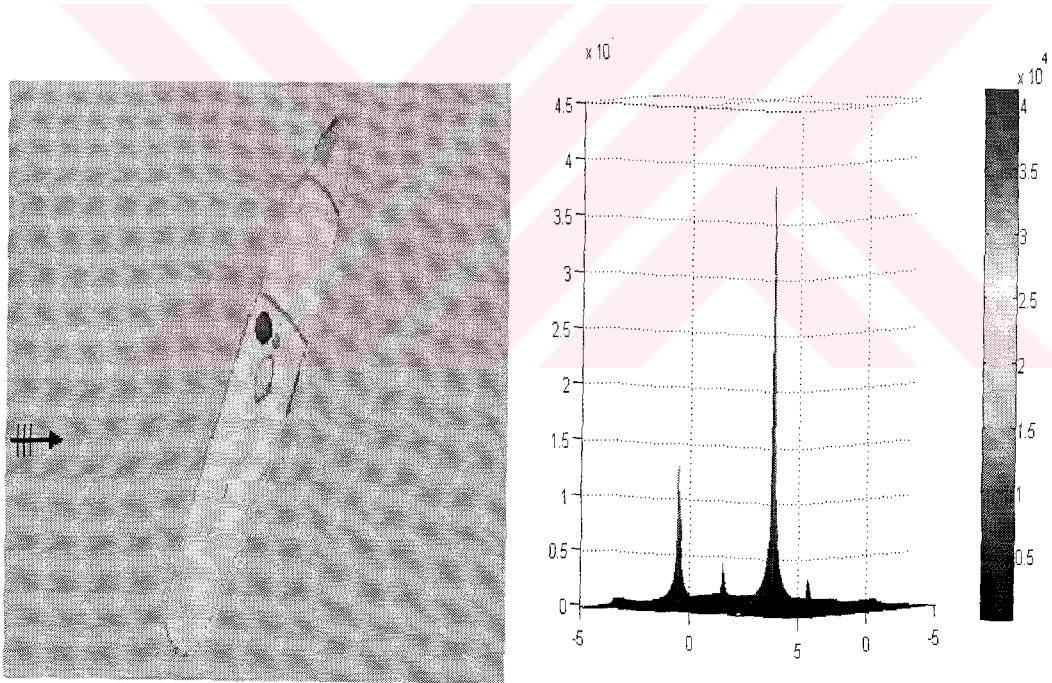
```

22.2084 -27.5466 9.30518 -0.00685354 -0.0802012
17.7623 -27.8099 5.63825 -0.071279 0.0285986
22.2193 -30.0864 9.076 -0.0587943 -0.0471358
22.2084 -27.5466 9.90679 -0.00208387 -0.0742819
22.2193 -30.0864 9.76355 0.0683417 0.0218457

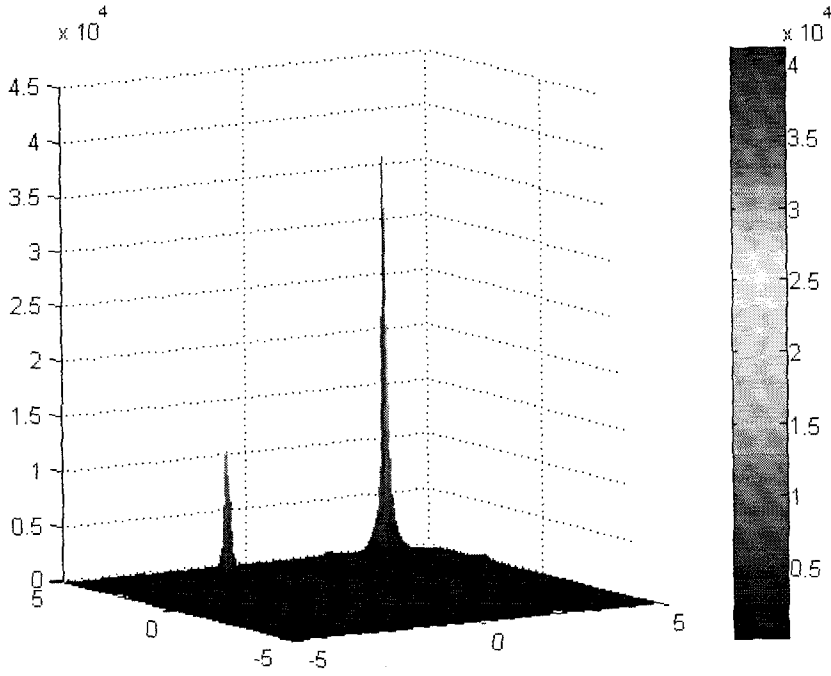
];
xp = temp(:,1);
yp = temp(:,2);
A = temp(:,4) + j*temp(:,5);

Gval = 0;
for k=1:max(size(xp))
    Gval = Gval + A(k)*exp(j*2*pi*(xp(k)*fx+yp(k)*fy))*exp(-
j*k*r)/(4*pi*r);
End

```



Şekil 3.11. 4 adet “Hot Spot Center” içeren Vapur_120’ye ait görüntü ve kodlarımıza ait Ters SAR görüntüsü



Şekil 3.12. Perspektivden Vapur_120'ye ait Ters SAR görüntüsü

Çok açık bir şekilde “hot spot” bölgeleri görüntüde elde edilmiştir. Dolayısıyla tasarlanan kodlar istenen sonuçları vermiştir.

Şimdi ise aynı vapura ait bir başka bakış açısından elde edilmiş ölçümlere ait görüntüyü elde edelim. Bu görüntüye ait kodlar ve ölçümler;

Project2.m

```

delta_x = 0.5;
delta_y = delta_x;
Dmax=35;
delta_fx=2/Dmax/10;
delta_fy=delta_fx;
N=(5*Dmax)/delta_x/2;
% G_fft matrisini oluştur.
for m=-N:N
    for n=-N:N
        fx = m*delta_fx;
        fy = n*delta_fy;
        G_fft(m+N+1,n+N+1) = G_vapur240(fx,fy);
    end
end

```

```

end
disp('matris olupumu: ');
%sonuc = fftshift(FFT2(fftshift(G_fft)));
sonuc = fftshift(FFT2((G_fft)));
xx = (-N:N)*delta_x;
yy = (-N:N)*delta_y;
surf(xx,yy,abs(sonuc.)); shading interp; colorbar

```

G_FFT.m

```

function gval = g_iulusoy(x,y,Dmax,delta_x)
delta_fx=2/Dmax/10;
delta_fy=delta_fx;
N=(5*Dmax)/delta_x/2;
gval = 0;
for m=-N:N
    for n=-N:N
        fx = m*delta_fx;
        fy = n*delta_fy;
        gval = gval + G_vapur240(fx,fy)*exp(-j*2*pi*(fx*x +
        fy*y))*delta_fx*delta_fy;
    end
end
end

```

G_vapur240.m

```

function Gval = G(fx,fy)
c = 3e8;
r = 100;
freq = sqrt(fx^2+fy^2) * c / 2;
k = 2*pi*freq/c;
theta = atan2(fy,fx);
x = r*cos(theta);
y = r*sin(theta);
z = 0;
temp = [
21.1842 25.7329 10.3652 -0.628815 0.343433
21.1842 25.7329 10.1646 -0.60741 0.343025
21.1842 25.7329 9.90679 -0.574149 0.329659
21.1842 25.7329 9.6776 -0.533683 0.313059
21.1842 25.7329 9.44842 -0.455176 0.274863
-9.03999 28.6163 5.92473 -0.419713 -0.210298
-9.03999 28.6163 4.54963 -0.388188 -0.195354

```

```

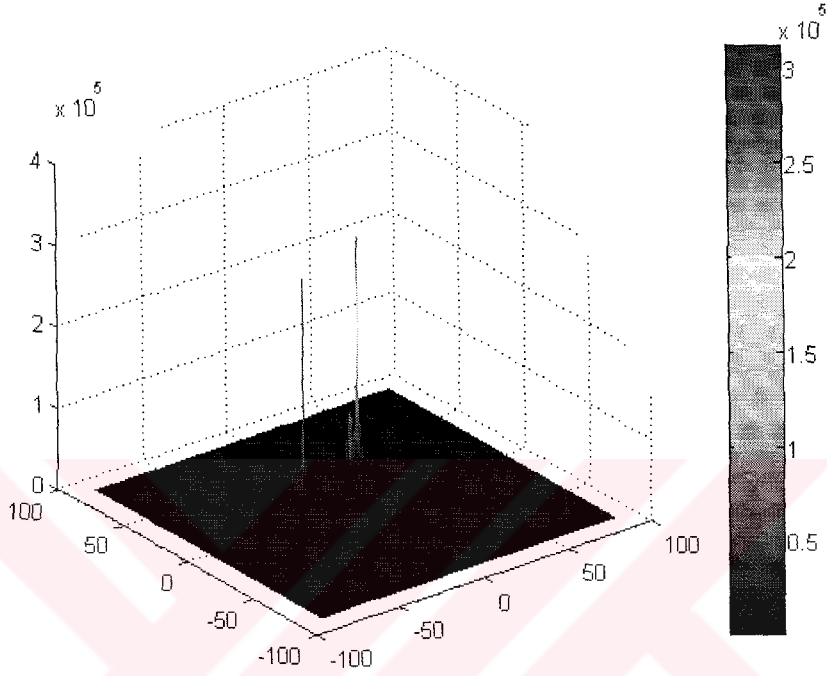
-9.03999 28.6163 4.75017 -0.417888 -0.210217
-9.03999 28.6163 4.9507 -0.379206 -0.190958
21.1842 25.7329 9.21924 -0.327736 0.204969
21.1842 25.7329 10.0214 -0.243034 0.13834
16.7391 29.3212 4.03397 -0.029853 -0.264561
16.7391 29.3212 3.83343 -0.151971 -0.252192
21.1842 25.7329 9.04735 -0.214192 0.139507
-9.03999 28.6163 5.43772 -0.197565 -0.0995612
-9.03999 28.6163 5.6669 -0.23344 -0.117197
-9.03999 28.6163 5.20853 -0.246394 -0.124232
16.7208 26.0235 3.83343 -0.194833 0.0946389
16.7208 26.0235 4.03397 -0.197175 0.125152
21.1842 25.7329 10.4797 -0.181899 0.106517
16.7208 26.0235 4.2345 -0.156938 0.115665
16.7208 26.0235 4.49233 -0.118107 0.0874569
16.7208 26.0235 4.75017 -0.118482 0.0851606
16.7208 26.0235 4.9507 -0.120453 0.0804055
21.1842 25.7329 8.93276 -0.115598 0.0746034
16.7208 26.0235 5.23718 -0.110505 0.0736066
21.1842 25.7329 10.2506 -0.11051 0.0611565
21.1842 25.7329 9.76355 -0.111663 0.066298
16.7208 26.0235 5.43772 -0.0923005 0.0620911
-9.03999 28.6163 4.49233 -0.0972122 -0.0488818
-9.03999 28.6163 4.3491 -0.0962729 -0.0486275
16.7208 26.0235 3.66155 -0.105088 0.0151358
-9.03999 28.6163 6.12526 -0.0904528 -0.0502222
16.7208 26.0235 4.3491 -0.0835304 0.0508298
-9.03999 28.6163 5.43772 -0.086638 -0.0434171
-9.03999 28.6163 4.75017 -0.0808083 -0.0408541
-9.03999 28.6163 5.86743 -0.0795208 -0.0405886
21.1842 25.7329 9.30518 -0.0704911 0.0456505
21.1842 25.7329 9.53436 -0.0830514 0.0529769
-9.0445 25.7437 5.6669 -0.0743609 0.0303849
-9.0445 25.7437 5.43772 -0.0848894 0.0357099
-9.0445 25.7437 5.20853 -0.0837888 0.0355821
-9.03999 28.6163 4.9507 -0.0639596 -0.0321036
];
xp = temp(:,1);
yp = temp(:,2);
A = temp(:,4) + j*temp(:,5);

```

```

Gval = 0;
for k=1:max(size(xp))
    Gval = Gval + A(k)*exp(j*2*pi*(xp(k)*fx+yp(k)*fy))*exp(-
j*k*r)/(4*pi*r);
end

```



Şekil 3.13. Vapur_240 ait Ters SAR görüntüsü

Bu örneklerden, tasarladığımız kodların bilinmeyen nesnelere ait radar ölçümlerinin ışığında Ters SAR görüntülerinin elde edilmesinde başarılı sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz.

Bu işlemlere ek olarak birde teta (θ) açısının etkilerini inceleyelim. θ açısı uzamsal frekans düzleminde kaynak görüntüsünün dikey eksen ile yaptığı açı idi (Şekil 3.7.b). Şimdiye kadar tüm kodlarımızda elde ettiğimiz Ters SAR görüntüleri, θ açısının muhtemel tüm olasılıklarıyla elde edildi. Bunun için vapur_240 ölçümlerini kullanalım. project2.m ve G_fft.m kodları aynı kalmak üzere sadece G_vapur_240 kodunda teta açısı ile ilgili kısımda θ açısını sınırlayalım.

G_vapur_240.m

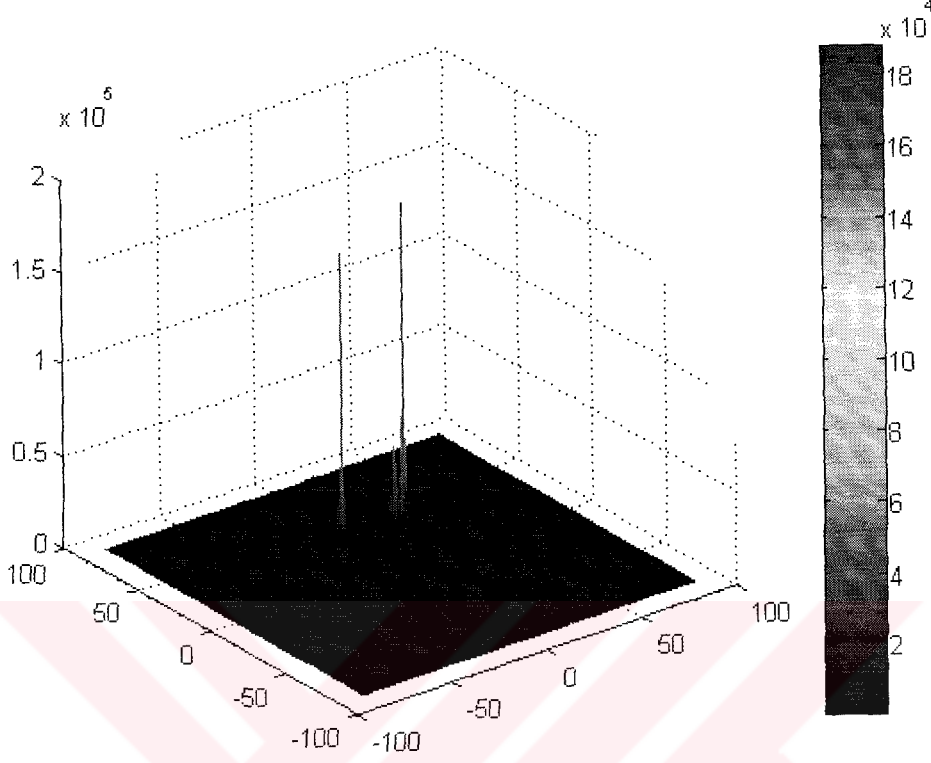
```
function Gval = G(fx,fy)
c = 3e8;
r = 100;
freq = sqrt(fx^2+fy^2) * c / 2;
k = 2*pi*freq/c;
theta = atan2(fy,fx);
if theta<=30 & theta>0;
x = r*cos(theta);
y = r*sin(theta);
z = 0;
temp = [
    21.1842 25.7329 10.3652 -0.628815 0.343433
    21.1842 25.7329 10.1646 -0.60741 0.343025
    21.1842 25.7329 9.90679 -0.574149 0.329659
    21.1842 25.7329 9.6776 -0.533683 0.313059
    21.1842 25.7329 9.44842 -0.455176 0.274863
    -9.03999 28.6163 5.92473 -0.419713 -0.210298
    -9.03999 28.6163 4.54963 -0.388188 -0.195354
    -9.03999 28.6163 4.75017 -0.417888 -0.210217
    -9.03999 28.6163 4.9507 -0.379206 -0.190958
    21.1842 25.7329 9.21924 -0.327736 0.204969
    21.1842 25.7329 10.0214 -0.243034 0.13834
    16.7391 29.3212 4.03397 -0.029853 -0.264561
    16.7391 29.3212 3.83343 -0.151971 -0.252192
    21.1842 25.7329 9.04735 -0.214192 0.139507
    -9.03999 28.6163 5.43772 -0.197565 -0.0995612
    -9.03999 28.6163 5.6669 -0.23344 -0.117197
    -9.03999 28.6163 5.20853 -0.246394 -0.124232
    16.7208 26.0235 3.83343 -0.194833 0.0946389
    16.7208 26.0235 4.03397 -0.197175 0.125152
    21.1842 25.7329 10.4797 -0.181899 0.106517
    16.7208 26.0235 4.2345 -0.156938 0.115665
    16.7208 26.0235 4.49233 -0.118107 0.0874569
    16.7208 26.0235 4.75017 -0.118482 0.0851606
    16.7208 26.0235 4.9507 -0.120453 0.0804055
    21.1842 25.7329 8.93276 -0.115598 0.0746034
    16.7208 26.0235 5.23718 -0.110505 0.0736066
    21.1842 25.7329 10.2506 -0.11051 0.0611565
    21.1842 25.7329 9.76355 -0.111663 0.066298
```

```

16.7208 26.0235 5.43772 -0.0923005 0.0620911
-9.03999 28.6163 4.49233 -0.0972122 -0.0488818
-9.03999 28.6163 4.3491 -0.0962729 -0.0486275
16.7208 26.0235 3.66155 -0.105088 0.0151358
-9.03999 28.6163 6.12526 -0.0904528 -0.0502222
16.7208 26.0235 4.3491 -0.0835304 0.0508298
-9.03999 28.6163 5.43772 -0.086638 -0.0434171
-9.03999 28.6163 4.75017 -0.0808083 -0.0408541
-9.03999 28.6163 5.86743 -0.0795208 -0.0405886
21.1842 25.7329 9.30518 -0.0704911 0.0456505
21.1842 25.7329 9.53436 -0.0830514 0.0529769
-9.0445 25.7437 5.6669 -0.0743609 0.0303849
-9.0445 25.7437 5.43772 -0.0848894 0.0357099
-9.0445 25.7437 5.20853 -0.0837888 0.0355821
-9.03999 28.6163 4.9507 -0.0639596 -0.0321036
];
xp = temp(:,1);
yp = temp(:,2);
A = temp(:,4) + j*temp(:,5);
Gval = 0;
for k=1:max(size(xp))
Gval = Gval + A(k)*exp(j*2*pi*(xp(k)*fx+yp(k)*fy));%*exp(-
j*k*r)/(4*pi*r);
end
else Gval=0;
end
end

```

Değişik maximum θ değerleri için yapılan denemelerde, 0-1 derece arasında değerleri görüntü elde edilememektedir. Maximum θ değeri 1 ile 10 derece arasında seçildiğinde gürültülü görüntüler elde edilmektedir. Maximum θ değeri 10-50 derece arasında seçildiğinde, gürültülü olmasına karşın neredeyse tüm θ değerleriyle elde edilen görüntüye yakın grafikler elde edilmektedir. Aşağıda maximum θ değeri 30 derece seçilerek elde edilen görüntü görülmektedir.



Şekil 3.14. Kısmi θ açısına bağlı vapor_{240} perspektivine ait görüntü



4. HATA PAYI

Seçtiğimiz $\Delta x = 0.1$ değerine bağlı olarak $f_{\max}$ değeri kısıtlarımız incelendiğinde $f_{\max} = 1/(2\Delta x)$ idi. $f_{\max}$ değerine bağlı olarak giydirilen kare dalganın uzamsal frekans uzayında kestiği noktalar $2\pi f_{\max}$ olacaktır. Giydirilen kare dalgaya bağlı olarak hesaplanmayan kısımlar belirli bir hata oluşturacaktır. FFT algoritması ile elde edilen görüntümüzde, cisim uzayında görüntünün tepe değeri $w_{\max}/\pi=10$ olması gerekirken tepe değeri 5.5 elde edilmiştir. Dolayısıyla hata miktarının tespit edilmesi tezin sağlıklı olması açısından oldukça önemlidir. Yaklaşımlarımız nedeniyle oluşan farkın tespiti cismin boyutlarını tahmin için de ayrıca önem arz etmektedir.

Hata payı, $\%hata$, için a kare dalganın x eksenini kestiği noktayı ifade edecek olursa ;

$$\%hata = \left[\int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega - \int_{-a}^a |F(\omega)|^2 d\omega \right] / \left[\int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega \right] \times 100 \quad (4.1)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Cisim uzayındaki örnekleme değeri Δx , uzamsal frekans uzayında

$$F(\omega) = \Delta x \sin c(\omega \Delta x / (2\pi)) \quad (4.2)$$

ile ifade edilen bir sinc fonksiyonu üretir. Şimdi (4.1) ifadesini hesaplayalım.

$$\int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 d\omega = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx = 2\pi \Delta x \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliğinde Parsevall özelliklerinden biri kullanılarak uzamsal frekans uzayından cisim uzayına geçilmiştir. ($f(x) = 1$)

$$\int_{-a}^a |F(\omega)|^2 d\omega = 2 \int_0^a |F(\omega)|^2 d\omega = 2 \int_0^a (\Delta x)^2 (\sin c(\omega \Delta x / 2\pi))^2 d\omega \quad (4.4)$$

(4.4) ifadesinde değişken değiştirsek,

$$\begin{aligned} \omega \Delta x / 2\pi &= \omega_1 \\ d\omega &= (2\pi / \Delta x) d\omega_1 \end{aligned}$$

$$2 \int_0^a |F(\omega)|^2 d\omega = 4\pi (\Delta x) \int_0^{a\Delta x/(2\pi)} (\sin c(\omega_1))^2 d\omega_1 \quad (4.5)$$

elde edilir. $\int_0^{a\Delta x/(2\pi)} (\sin c(\omega_1))^2 d\omega_1$ integrasyonunda parçalı integral

yönteminde $u = \sin(\omega) / \omega, dv = d\omega$ seçersek, $si(b) = \int_0^b [\sin(\omega) / \omega] d\omega$ olmak üzere

$$2 \int_0^a |F(\omega)|^2 d\omega = 4\pi \Delta x \frac{\sin^2(a\Delta x/(2\pi))}{(a\Delta x/(2\pi))} - 2 \sin(a\Delta x/(2\pi)) + 2si(a\Delta x/(2\pi)) \quad (4.6)$$

elde edilir. $a = 10\pi$ ve $\Delta x = 0.1$ ise (4.6) ifadesinden

$$2 \int_0^{10\pi} |F(\omega)|^2 d\omega = 4\pi \Delta x (\sin^2 0.5 / 0.5 - 2 \sin(0.5) + 2si(0.5)) = 2\pi \Delta x (0.97) \quad (4.7)$$

elde edilir. Dolayısıyla %hata değerimiz

$$\%hata = [2\pi \Delta x - 2\pi \Delta x (0.97)] / 2\pi \Delta x = 3 \quad (4.8)$$

olur.

5.SONUÇLAR VE GELECEĞE DÖNÜK ÇALIŞMALAR

Bu tezde, bir hedefe ait veriler ışığında geliştirilen kodlar sayesinde Ters-SAR görüntüleri elde ettik. Görüntü elde edilirken üç temel parametre söz konusudur. Bu parametreler netlik-seçilebilen en yakın hedef aralığı, hedef büyüklüğü ve çözünürlük olarak nitelendirilebilir. Netlik-seçilebilen en yakın hedef aralığı teorik olarak incelendiğinde 'Samling Theorem' ve 'Aliasing Theorem' ile ilişkilidir [3]. Samling theorem ve Aliasing theorem meydana gelecek çakışmaları düzenleyen frekans yaklaşımlarını belirleyen teoremlerdir. Net bir görüntüye ise, çıktıların çakışma sorunlarını minimal düzeyde tutulması halinde ulaşılabilir. Matlab kodları incelendiğinde, netlik bilgisi f_{max} ile doğrudan orantılıdır. Görüntüyü etkileyen bir diğer faktör, hedef büyüklüğü, Matlab kodlarımızda D_{max} değeri ile doğrudan ilişkilidir. Seçilecek D_{max} değeri hedefe uygun büyüklükte olmalıdır. Ayrıca Ters-SAR görüntüsünün büyüklüğü teorik olarak frekans düzlemindeki örnekleme aralığı ile ters orantılıdır. Çözünürlük, hedefin örnekleme sıklığı (Δx) ile doğrudan ilişkilidir.

Bu üç parametre aslında f_{max} frekans düzleminde giydirilecek dalganın darbe genişliği, N frekans düzlemindeki örnekleme sayısı, $d\omega = P/N$ frekans düzlemindeki örnekleme aralığı, değerlerine bağlıdır. P frekans düzleminde fonksiyonun kendini tekrar etme periyodudur. Yani bu değerlerden, istenenler belirtildiği takdirde gerekli manipülasyonlar ile hedef görüntüsü elde edilebilir. Yanlız burada önemli olan bir diğer koşul ise $f_{max} \cdot N/P$ değerinin tamsayı olmasıdır. Bu koşul genelde doğru genlik bilgisi verir. Aksi halde hedefin büyüklüğü beklenenden farklı çıkar.

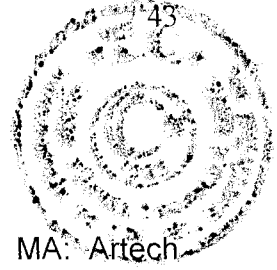
İki boyutlu Fourier transformu kullanılarak elde edilen simülasyon kodu, bir vapurdan elde edilen ölçümler ile denenerek verimliliği incelendi. Oldukça iyi sonuçlar üreten kodlarımız, yoğun geri saçılma bölgelerini (*hot*

spot center) belirgin bir şekilde göstermiştir. Ayrıca istenen süre içerisinde görüntü bilgisi vererek verimlilik sunmaktadır

Bu kodlara, yeterli sayıda yoğun gerisaçılma bölgelerine ait değerleri içeren ölçümler yerleştirildiğinde daha belirgin bir Ters-SAR görüntüsü elde edileceği açıktır. Dolayısıyla kodlar geliştirildiği taktirde savunma sanayi başta olmak üzere bir çok sanayi alanında hareket eden cisimlerin eşgalinin belirlenmesi, bir bölgenin hareketli her türlü cisimden korunması gibi konularda kullanılabilir.



KAYNAKLAR



- [1] D. L. Mensa, *High Resolution Radar Imaging* , Dedham, MA: Artech House, 1981
- [2] C.A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, USA:Wiley 1989
- [3] A. V. Oppenheim, A. S. Willsky, I. T. Young, *Signals and Systems*, USA:Printice/Hall Int.1983
- [4] D. L. Mensa, S. Halavy, and G. Wade. "Coherent Doppler tomography for microwave imaging," *Proc IEEE*,vol.71, pp.254-261, Feb.1983
- [5] G. Dural and D. L. Moffat,"ISAR imaging to identify basic scattering mechanisms," *IEEE Trans. Antennas Propogat.*, vol. 42, Jan.1994
- [6] S. Musman, D. Kerr, C. Bachmann, "Automatic recognition of ISAR ship images," *IEEE Trans. Aerosp.Electron.Syst.*, vol. 32, Oct.1996
- [7] J. Fortuny, "An efficient 3-D near field ISAR algorithm," *IEEE Trans. Aerosp.Electron.Syst.*, vol. 35,Jan. 1999
- [8] F. Y. S. Fok and Y. D. Young, "Space frequency samling criteria for electromagnetic scattering of a finite object," *IEEE Trans. Antennas Propogat.*, vol. AP-35, pp 920-925, Aug. 1987
- [9] J. Fortuny, A. J. Sieber, " Three-dimensional synthetic aperture radar imaging of a fir tree: first results," *IEEE Trans Geoscience and Remote Sens.*, vol. 37, March 1999
- [10] A. Broquetas, J. Palau, Jofre and A. Cardama, "Spherical wave near-field imaging and radar crosssection measurement," *IEEE Trans.Antennas Propogat.*,vol.46.pp.730-735, May 1998
- [11] J. Fortuny, " An efficient 3-D near field ISAR algorithm," *IEEE Trans. Aerosp.Electron.Syst.*, vol. 35,Jan. 1999

EKLER



1. 1 Adet Teze ait CD





ÖZGEÇMİŞ

İbrahim ULUSOY, 1977 yılında Muş'ta dünyaya geldi. İlköğrenimini Batman'ın Sason ilçesinde tamamladıktan sonra, 1988 yılında Siirt Atatürk Anadolu lisesine girdi. 1992 yılında Van Fen Lisesinde okumaya hak kazandı. Fen lisesinde okuduğu dönem içerisinde, 1992 ve 1993 yıllarında TÜBİTAK tarafından düzenlenen Ulusal Liseler Arası Fizik Olimpiyatlarında Doğu Anadolu Bölgesi Birincilik ödülleri kazandı. 1994 yılında yine TÜBİTAK tarafından düzenlenen Ulusal Liseler Arası Araştırma Projeleri yarışmasında, Fizik dalında 'Bir dielektrik üzerindeki elektrostatik kuvvetin deneysel olarak incelenmesi' adlı projesiyle Türkiye birinciliği kazandı. 1995 yılında fen lisesinden mezun olduktan sonra aynı yıl Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde okumaya hak kazandı. 1999 yılında Gazi üniversitesinden mezun olduktan sonra 2000-2001 öğretim yılında Elektromagnetik Alanlar ve Mikrodalga tekniği anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak Gaziantep Üniversitesinde görev yaptı. 2001 yılında Gümrük Müsteşarlığı Muhabere Elektronik Dairesi Başkanlığı bünyesinde Yazılım Mühendisi olarak çalışmaya başlamış ve halen bu görevini yürütmektedir. İngilizce ve Almanca bilen İbrahim ULUSOY evli ve bir çocuk babasıdır.