

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİFRAKSİYON ARTTIRIMLI GÖRÜNTELEME İÇİN MATEMATİKSEL BİR
MODEL**

Mehmet Murat YAŞAR

FİZİK ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2009**

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİFRAKSİYON ARTTIRIMLI GÖRÜNTELEME İÇİN MATEMATİKSEL BİR
MODEL**

Mehmet Murat YAŞAR

FİZİK ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2009**

Yrd. Doç. Dr. Oral OLTULU danışmanlığında, Mehmet Murat YAŞAR 'ın hazırladığı “Difraksiyon Arttırımlı Görüntüleme İçin Matematiksel Bir Model” konulu çalışma 15/06/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Oral OLTULU

Üye : Doç. Dr. Ahmet BOZKURT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ

Bu Tezin Fizik Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim BOLAT
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirimlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1. X-Işımlarının Difraksiyonu.....	13
3.2. Deney Düzenegi.....	15
3.3. Materyal.....	16
3.4. Yöntem.....	17
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	19
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	43
ÖZET.....	44
SUMMARY.....	45

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

DİFRAKSİYON ARTTIRIMLI GÖRÜNTÜLEME İÇİN MATEMATİKSEL BİR MODEL

Mehmet Murat YAŞAR

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

**Danışman : Yrd. Doç. Dr. Oral OLTULU
Yıl : 2009, Sayfa : 45**

Difraksiyon Arttırımlı Görüntüleme (DEI), klasik radyografi yöntemlerinde bazı yetersizliklerin aşılmasında çözüm sunan yeni bir sinkrotron temelli x-ışını görüntüleme tekniğidir. DEI tek enerjili x-ışınları kullanarak bir nesnenin yüksek kontrastlı x-ışını görüntüsünü sunar. DEI tekniği incelenen nesnenin soğurma, kırılma ve saçılma özelliklerini kullanarak görüntü oluşturmaya yardımcı olur. 6 mm çapında ve 51 mm uzunluğunda bir lusit çubuktan ve kağıtlardan oluşan test nesnenin görüntüleri, 18 keV enerjide Si(111) analizör kristali kullanılarak alındı. Bu çalışmanın amacı, dedektör düzleminde Difraksiyon Arttırımlı Görüntülemenin şiddet dağılımını tanımlayacak olan kullanışlı basit bir matematiksel modeli göstermektir. Ölçülmüş veriler matematiksel modele uyduruldu ve bulunan optimum değerler nesnenin görüntülenmesi için kullanıldı.

ANAHTAR KELİMELER: Difraksiyon Arttırımlı Görüntüleme, X-ışınları, Soğurulma, Saçılma, Kırılma

ABSTRACT

MSc Thesis

A MATHEMATICAL MODEL FOR DIFFRACTION ENHANCED IMAGING

Mehmet Murat YAŞAR

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics**

**Supervisor : Assist. Prof. Dr. Oral OLTULU
Year : 2009 , Page : 45**

Diffraction enhanced imaging (DEI) is a new synchrotron based x-ray imaging technique which overcomes some of the limitations encountered in conventional imaging methods. DEI uses a single, monochromatic x-ray energy and provides a high-contrast x-ray image of an object. DEI utilizes the absorption, refraction and scattering properties of the sample. Images of a test object, a lucite rod with a diameter of 6 mm and a length of 51 mm and papers, at 18 keV using Si(111) analyzer were used for the analysis. The purpose of this study is to propose an adequate simple mathematical model which will enable to describe the intensity distribution of the Diffraction Enhanced x-ray imaging at the detector plane. Fitting the observed data to our mathematical model and finding the optimum values were used for reconstruction of the object.

KEY WORDS : Diffraction Enhanced Imaging, X-Rays, Absorption, Scattering, Refraction

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tezimin yönetiminde yardımlarını ve büyük desteğini esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Oral OLTULU'ya, ayrıca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme içtenlikle teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. X-ışınlarının silindirik bir cisimden kırılması.....	14
Şekil 3.2. Sinkrotron Radyografi ve DEI Deneysel Düzeneği.....	16
Şekil 3.3. X-ışınlarının üzerine gönderildiği örneğin resmedilmiş hali	16
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan verileri temsilen üç boyutlu matris.....	19
Şekil 4.2. Örneğin olmadığı bir nokta seçilerek alınan kristalin yansıtma eğrisi.....	20
Şekil 4.3. Kaydırma işleminden sonraki yansıtma eğrisi.....	22
Şekil 4.4. Herhangi bir yansıtma eğrisinin temsili genişliği.....	23
Şekil 4.5. Örnek üzerinde seçilen referans noktaları.....	23
Şekil 4.6. Örnek üzerinde seçilen A noktası için yansıtma eğrisi.....	24
Şekil 4.7. Örnek üzerinde seçilen beş ayrı nokta için yansıtma eğrisi.....	24
Şekil 4.8. Yansıtma eğrisinde simetrik iki açıdaki şiddetler.....	25
Şekil 4.9. Cismin 1.6 mikroradyanda alınan görüntüsü.....	26
Şekil 4.10. Cismin alt kısmından geçen ışınların sapması.....	26
Şekil 4.11. Cismin -1.6 mikroradyanda alınan görüntüsü.....	27
Şekil 4.12. Cismin üst kısmından geçen ışınların sapması.....	27
Şekil 4.13. $\Delta\theta$ denklemi ile elde edilen kırılma açısı görüntüsü.....	30
Şekil 4.14. Soğurma görüntüsü.....	31
Şekil 4.15. Ortalama kırılma görüntüsü.....	32
Şekil 4.16. Varyans ifadesiyle elde edilen görüntü.....	33
Şekil 4.17. “ $\Delta\omega$ ” değerleri ile elde edilen görüntü.....	34
Şekil 4.18. “n” değerleri ile elde edilen görüntü.....	35
Şekil 4.19. Kristalin sağa ve sola doğru mikroradyan mertebesinde konumlandırılmasıyla elde edilen yansıtma eğrisi.....	37
Şekil 4.20. Analizör kristalin düşük ve yüksek açı değerleri için 18 keV’de alınan DEI Görüntüleri.....	37
Şekil 4.21. Soğurma görüntüsü.....	38
Şekil 4.22. Kırılma görüntüsü.....	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. Yansıtma eğrisinde her bir açıya karşılık gelen şiddet değerleri.....	21

SİMGELER DİZİNİ

θ_B	Bragg Açısı
θ_D	Düşük Açı
θ_Y	Yüksek Açı
$\Delta\theta$	Işının sapma miktarı
θ	Kristalin konulduğu açısal pozisyon
I	Değişime uğramış şiddet
I_0	Örneğin olmadığı durumdaki maksimum şiddet
I_D	Düşük açıda alınan şiddet
I_Y	Yüksek açıda alınan şiddet
f_0	Atomik saçılma faktörü
f'	Gerçek atomik dispersiyon düzeltme terimi
f''	Sanal atomik dispersiyon düzeltme terimi
N	Birim hacimdeki atom sayısı
ρ	Ortam yoğunluğu
A	Atom ağırlığı
Z	Atom numarası
r_e	Klasik elektron yarıçapı
λ	Dalga boyu
t	Işının ortamda aldığı yol
n'	Kırılma indisi
A	Atom ağırlığı
ω	Yansıtma eğrisinin genişliği
n	Önerilen fonksiyon için üstsel mertebe
m_n	n. dereceden moment
i	Zaman artışının adımı
σ	Standart sapma

1. GİRİŞ

Difraksiyon arttırımlı görüntüleme (Diffraction Enhanced Imaging, DEI) görüntülenecek cisim ile dedektör arasına konulan bir analizör kristalin kullanılmasına dayanan bir tekniktir. Bu teknik klasik x-ışını görüntülerinde çok zayıf bir şekilde görüntülenebilen düşük soğurma özelliğine sahip özellikleri ortaya çıkarabilmektedir. Metot, sinkratronda elde edilen yüksek derecede kolime edilmiş x-ışınlarını kullanmaktadır. Sinkratron temelli x-ışınlarının kullanılmasının nedeni laboratuvarlarda kullanılan x-ışınları cihazından çok daha büyük sayıda foton akısının olmasıdır. Bu x-ışınları *monokromatör* adı verilen kristal ya da kristaller yardımıyla monokromatik hale getirilir. Demet halindeki x-ışınları görüntülenecek cisimden geçirilir. Cisimle x-ışınları arasındaki temel etkileşim genel olarak burada ilgilendiğimiz özelliklere bağlı olarak soğurma, kırılma ve saçılma olarak değerlendirilebilir. Cisim içerisinden geçen x-ışınları geçtiği ortamın kırılma indeksine bağlı olarak geliş doğrultusundan sapar. Analizör kristal Bragg yasasına bağlı olarak gelen x-ışını fotonlarını kabul ederek dedektör üzerine gönderir ya da dedektör üzerine gitmesini engeller. Bir anlamda analizör kristal bir filtre görevi yaparak hangi fotonların hangi şartlara bağlı olarak geçeceğine karar verir. Dolayısıyla kristal, filtreleme işlemi yani seçicilik yapmaktadır. Cisim içerisinden geçen x-ışınları açısız sapmaya uğradığında, kristal bu açısız değişimin bir şiddet değişimi olarak dedektörde görülmesini sağlamaktadır. Kristalin hangi açısız sınırdaki gelen x-ışınlarını kabul edeceği o kristalin yansıtma eğrisi (rocking curve) ile belirlenir. Örneğin bir silikon Si(111) kristali ile Si(333) kristalinin açısız kabul aralığı birbirinden farklıdır. Bu yansıtma eğrisi bazen filtre fonksiyonu olarak da bilinir. Kristalin açısız kabul aralığı mikroradyan mertebesinde olduğundan, cisim içerisinde mikroradyan mertebesinde büyük açılarda sapan x-ışınları kristal tarafından reddedilmektedir. Bu durum, görüntü kalitesini arttırmakta ve normal x-ışınları görüntüleriyle kıyaslandığında ise üstün bir teknik olduğunu göstermektedir.

Yeni bir teknik olan DEI metodu son beş yıldır büyük bir ilgi görmüş ve sinkratron tesislerine sahip ülkelerde çalışılmaya başlanmıştır. Metot ilk olarak Amerikalı Dean Chapman ve ekibi tarafından 1997 yılında bulunmuş olup yansıtma

eğrisinin yani kristalin simetrik iki açı değerinde yüksek (pozitif) ve düşük (negatif) açılarda sabitlenmesi ve bu noktalarda cismin görüntüsünün alınması temeline dayanır (Chapman, 1997). Bu oluşum matematiksel olarak formülize edilmiş ve görüntülerin işlenmesi bu matematiksel işlemlere dayalı olarak yapılmıştır. Metot iki yeni görüntüyü yüksek kalitede bir kontrastla sunmuştur. Elde edilen görüntüler, literatürde görünen soğurma (apparent absorption) ve görünen kırılma (apparent refraction) görüntüsü olarak isimlendirilmiştir. DEI metodunun bu yüksek kalitedeki görüntüleri bilim adamlarının ilgisini çekmiş ve metodu medikal örneklerle uygulamışlardır (Chapman, 1998). Yumuşak dokuların yoğunluklarının birbirine çok yakın olması soğurma katsayılarının birbirinden ayırt edilemeyecek şekilde yakın olması anlamına geldiğinden, DEI metodu bu alandaki çalışmalara da uygulanmıştır. Kanseri dokuların tesbit edilmesi çok zor olduğundan, metot öncelikle bu alanda kullanılmıştır (Hasnah, 2002). Özellikle kadınlardaki meme kanseri riski ve erken teşhisin önemi DEI çalışmalarının bu alana da uygulanmasını mümkün kılmıştır. Metodun medikal alanlarda dikkat çeken bir başka uygulaması ise kıkırdak doku görüntülemeleri (Mollenhauer, 2002; Li, 2005) ve kemik kırılmalarında uygulanan platin takılmasının kemik tarafından kabul edilmesinin izlenmesidir (Wagner, 2006). Kristal fonksiyonun analitik olarak ifadesinin aşırı derecede kompleks olması bu kristal fonksiyonunun daha basit formda modellenmesini gerektirmiştir. DEI'daki asıl gelişme çoklu görüntülerin alınması ve buna uygun bir matematiksel formülün geliştirilmesiyle olmuştur (Oltulu, 2003). DEI görüntülerindeki kontrast, özellikle kırılım (refraksiyon) ve soğurma kontrastının incelenmesi ve kontrast kazancının belirlenmesi bu tekniğin ortaya koyduğu kontrast kazancının anlaşılmasını ve radyografi ile karşılaştırılmasını mümkün kılmıştır (Kiss, 2003). Özellikle soğurma, kırılma ve saçılma olaylarının birbirinden fiziksel olarak ayırtedilebilmesi ve bunların görüntü olarak sunulması (Oltulu, 2003; Pagot, 2003) DEI çalışmalarına değişik bir yön vermiştir. Metot bilgisayarlı tomografi alanında da başarı ile uygulanmıştır (Zhong, 2000; Dilmanian, 2000; Wang, 2007; SUN, 2007). Daha sonraki çalışmaların bir kısmı ise deneysel olarak elde edilen verileri uygun ve basit bir matematiksel modelle ifade etmeye yönelmiştir (Peiping, 2006; Kitchen, 2007).

Bu çalışma, DEI alanında matematiksel modellemelerde analitik ifadeler bulma ihtiyacını karşılamayı amaçlamıştır. Bilinen modeller belli bir dereceye kadar iyi sonuçlar vermesine rağmen, x-ışınlarını büyük derecede saçıcı özelliğe sahip örneklerden dolayı modellerin birçoğu istenilen başarıyı gösterememiştir. “Eğri uydurma” işlemlerinde daha önce önerilen bazı modeller, eğri üzerindeki bölgeye bağlı olarak farklı yani birden fazla ağırlık fonksiyonları kullanmak zorundayken, önerdiğimiz yöntem tek bir ağırlık fonksiyonu ile istenilen işi yerine getirmiştir. Bu çalışma hem daha önceki klasik DEI denklemlerinden elde edilen görüntülere benzer görüntüler sunarken, aynı zamanda Çoklu Radyografi-DEI (Multiple Image Radiography-DEI) modeliyle geliştirilen modellemeye eşdeğer görüntüler de sunmuştur. Önerdiğimiz analitik ifade bir anlamda şu ana kadar geliştirilen DEI modellerinin birçoğunu kapsayarak ihtiyaç duyulan bütün görüntüleri ortaya çıkarmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Difraksiyon Arttırımlı Görüntüleme 25 yıl önce ortaya çıkmasına rağmen, özellikle son 10 yılda çoğunluğu sinkrotron grubu olan araştırmacılar tarafından yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Kısaca DEI olarak adlandırılan bu yöntem örnek ve dedektör arasına bir analizör kristal yerleştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Analizör kristalin yansıtma eğrisi açısal bir filtre gibi davranmakta olup, kristalin yansıtma eğrisinin genişliği, örneği geçen x-ışını fotonlarının küçük açısal sapma miktarıyla karşılaştırılabilir düzeydedir (1-100 mikroradyan mertebesinde). Bu görüntüleme yöntemi özellikle kırılma ve küçük açı saçılmalarını göz önüne alarak soğurma kontrastına ilave olarak yeni kontrast kaynakları oluşturmaktadır. Yöntem genel olarak kırılma ve soğurma etkilerini birbirinden ayırt eden yeni bir algoritma önermiştir. Chapman 1997 'de küçük açı yaklaşımıyla Taylor seri açılımını göz önüne alarak kırılma ve soğurma etkilerini birbirinden ayırarak bu tekniği keşfetmiş ve bulduğu bu yeni metoda Diffraction Enhanced Imaging (DEI) adını vermiştir.

Chapman, görüntü oluşturmak için cisim üzerine gönderilen ışının iki farklı açıda oluşturduğu görüntüleri kullanmıştır. Bu görüntüler, Bragg açısından (θ_B) uzaklıkları simetrik olan düşük açıda (θ_D) ve yüksek açıda (θ_Y) alınan görüntülerdir. Bu iki açıdaki şiddetler ise (I_D) ve (I_Y) 'dır. Taylor serisi açılımı ile elde edilen şiddet ifadesi yüksek ve düşük açıdaki görüntülere uygulanarak kırılma açısı görüntüsü ve görünür soğurma görüntüsü oluşturulmuştur (Chapman, 1997).

Chapman ve arkadaşlarının bulduğu bu yeni yöntem, bilimsel çevrelerde oldukça ilgi görmüş ve yöntemin farklı uygulama alanları araştırılmaya başlanmıştır. Dilmanian ve arkadaşları, Brookhaven Uluslararası Sinkrotron Işık Kaynağı 'nda (National Synchrotron Light Source-NSLS) 22 keV enerjili x-ışınları kullanarak DEI tekniğini tomografi alanına uygulayarak silindirik lusit (Lucite) bir çubuğun tomografik görüntüsünü başarılı bir şekilde elde etmişlerdir (Dilmanian, 2000).

Hasnah ve arkadaşları DEI tekniğini kullanarak elde ettikleri kırılma açısının mekanizmasını ve görünür soğurma görüntülerini klasik radyografi tekniği ile elde edilen görüntülerle karşılaştırmışlardır. Hem DEI tekniği ile elde edilen kırılma açısı hem de radyografideki kontrastın, kemikteki yoğunluk farklarından dolayı meydana geldiğini, aynı zamanda yoğunluk farkının kanserli yapılardaki kontrast farklılıklarını da doğruduğunu göstermişlerdir. Buna ek olarak yazar ve arkadaşları yansıtma eğrisinin maksimum noktasındaki şiddet değerleri ile elde edilen görüntünün klasik radyografiden daha iyi olduğunu göstermişlerdir (Hasnah, 2002).

Mollenhauer ve arkadaşları yeni bir teknik olan DEI yöntemini kullanarak, eklem hastalıklarında önemli bir yer tutan kıkırdak dejenerasyonunu görüntülemişlerdir. Burada eklemler arasında kıkırdak ve eklem etrafındaki doku tahribatlarının incelenmesi amaçlanmış ve DEI metoduyla bu görüntülemenin mümkün olduğu gösterilmiştir. Deneyde üç adet silikon kristal, kolime edilmiş x-ışını demetini sadece mikroradyan mertebesinde kabul etmesi için kullanılmıştır. Kullanılan üçüncü analizör kristal üç farklı açıda kurularak sonuçta elde edilmiş olan görüntüler için farklı karakteristikler ortaya koymuştur. Analizör kristalin her farklı açısında örneğin görüntüsünde küçük farklılıklar olup, analizör açısını değiştirdikçe bu görüntülerin kontrast şiddetlerinin değiştiğini ve bunun bir karakteristik özellik olduğunu bulmuşlardır (Mollenhauer, 2002).

Kiss ve arkadaşları DEI ile radyografik görüntüleme tekniklerini karşılaştırmışlar ve iki yöntem arasındaki kontrast farkını bularak DEI metodunun yüksek kontrasta sahip olduğunu göstermişlerdir. Lusit silindirler ve ince naylon kablolar Brookhaven Ulusal Laboratuvarında, Ulusal Sinkrotron Işık Kaynağı 'ndan üretilen monokromatik ışınlar kullanılarak görüntülenmiştir. DEI görüntüleri gelen ışın yolu üzerinde örnek ile dedektör arasına yerleştirilmiş [3 3 3] kırınım düzlemine sahip bir silikon analizör kristal ile oluşturulmuştur. DEI görüntüleri ile Klasik Radyografik görüntülerin karşılaştırılması için kırılma ve soğurma kontrast tanımlarını yapma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Kontrast tanımları radyografi ve DEI 'de farklıdır ve ayrıca DEI kontrast tanımı DEI' nin özel bir karakteristik özelliğidir. Bu çalışmada sonuçlar göstermiştir ki DEI 'deki sinyal gürültü oranı yani

kazanç, radyografiden daha iyi olduğundan dolayı DEI tekniği daha çok bilgi sunmuştur (Kiss, 2003).

DEI cismin x-ışını soğurması, kırılması ve küçük açı saçılması özelliklerini kullanarak kontrast türeten radyografik bir tekniktir. Oltulu ve arkadaşlarının hazırlamış olduğu çalışmadan daha önce yapılan çalışmalarda, görüntülerin analizör kristalin iki farklı konumunda alınan görüntüler yardımıyla analizleri yapılmış, kırılma açısı ve görünür soğurma görüntüsü elde edilmiştir. Oltulu ve arkadaşları bu çalışmada cismin kırılma, soğurma ve saçılma özelliklerinin birbirinden bağımsız bir şekilde sunmanın mümkün olduğunu göstermiştir. Bu yaklaşımda cismin ışını soğurma, kırma ve saçılmaya uğratma özellikleri modellenmiş ve bu kontrast kaynakları birbirinden bağımsız olarak literatüre yeni görüntüler olarak sunulmuştur. Önceki DEI tekniğinden farklı olarak bu yeni metot 2 görüntü yerine farklı açılarda alınan 24 adet görüntü kullanmıştır. Sonuçta bu yaklaşımla çoklu görüntü analizi sonucu olarak, kırılma açısı görüntüsü, soğurma görüntüsü, zayıflama ve saçılma genişliği görüntüsü oluşturulmuştur. Bu metot Çoklu Görüntü Radyografisi (Multiple Image Radiography) olarak da bilinmektedir (Oltulu, 2003).

Pagot ve arkadaşları çoklu görüntüleme tekniğini kullanarak yeni bir modelleme oluşturmuşlardır. Pagot DEI metoduna, moment teorisini uygulayarak sıfıncı, birinci ve ikinci momentleri, şiddet-açı dağılımlarını kullanarak elde etmiştir. Ayrıca bu istatistiksel model, elde edilen görüntülerde analizör kristalin yapısındaki bir bozukluğun etkilerini de minimum düzeye indirmektedir (Pagot, 2003).

DEI, örnek ile dedektör arasına kurulan bir kristal yardımıyla x-ışınlarının faz-duyarlılık özelliğini kullanan bir görüntüleme yöntemidir. Son yıllarda DEI hem madde biliminde hem medikal görüntüleme nicel bilgileri oluşturmadaki gücünü göstermiştir. Rigon ve arkadaşları dedektör tarafından kırınım etkilerinin uzaysal olarak ayırt edilemediği durumlarda klasik DEI algoritmasının yetersiz kaldığını görmüş ve yeni bir algoritma önermişlerdir. Önerdikleri algoritma piksel boyutu

skalasındaki bu özellikleri ortaya koymuş ve daha detaylı soğurma ve kırılma görüntüleri elde etmişlerdir (Rigon, 2003).

Kanserli beyin dokularının görüntülenmesinde farklı modeller tanımlanır. Bu görüntüler klinik mamogramları ve bilgisayarlı tomografi (CT) görüntülerini kapsar. Bilgisayarlı tomografi görüntülerinin bazıları uygun sinkrotron radyasyonu ile bazıları ise DEI Metodu kullanılarak sinkrotron radyasyonu ile görüntülenir. Bu görüntüler radyologlar tarafından değerlendirilir. Kanser belirtileri ya çok zayıftır ya da klasik görüntüleme yöntemiyle gözlenemezler ama DEI yöntemi kullanılarak morfolojik değişimlerle kanser gibi yapıların incelenmesi ve gözlenmesi mümkün hale gelmiştir. Fiedler ve arkadaşlarının yapmış oldukları incelemeler sonucunda DEI-CT yöntemiyle elde edilen görüntülerde açık bir şekilde kanserli hücrelerin belirlenmesi başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Bunun yanı sıra görüntüler oluşturulurken örnek üzerine gönderilen radyasyonun dozu önemli bir unsur olduğundan, DEI tekniğinde kullanılan dozun, klasik mamografide kullanılan dozdan daha az olduğu bulunmuştur (Fiedler, 2004).

Klasik x-ışını radyografi tekniği bir cismin x-ışını ne kadar zayıflattığını ölçer. Genelde en iyi soğurma kontrastı, soğurmanın yüksek olduğu enerjideki x-ışınlarını kullanarak elde edilir. DEI tekniği soğurma, kırılma ve zayıflama özelliklerinden kontrastı elde etmeye yardımcı olur. DEI 'nin kırılma açısı görüntüsü, bir cismin elektron yoğunluğunun değişimini göz önüne getirir. Elektron yoğunluğu genel olarak kütle yoğunluğu ve yumuşak doku görüntülemesindeki soğurma ile ilgilidir. Bu ilişki sayesinde, Hasnah ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile düşük dozdaki x-ışınlarının kullanılmasıyla kütle-yoğunluk görüntüsü elde etmenin mümkün olduğu gözlenmiştir (Hasnah, 2004).

Klasik DEI yaklaşımı görünen soğurma ve kırılma görüntüsünü oluşturmak için yüksek ve düşük açılarda iki görüntünün alınmasını ve bunların uygun bir şekilde işlenerek soğurma ve kırılma görüntüsü elde etmeyi gerektirmektedir. Elde edilen kırılma görüntüsü uygun bir algoritmayla kütle-yoğunluk görüntüsüne yukarıda belirtildiği gibi Hasnah ve arkadaşları tarafından dönüştürülmüştür. Bu elde edilen

görüntü, yoğunluk ve cismin kalınlığının bir fonksiyonudur. Benzer bir çalışma Briedis ve arkadaşları tarafından yapılmış ve bu çalışmada iki görüntüye gerek kalmadan tek bir görüntüyle cismin kalınlığına bağlı bir görüntü oluşturmanın mümkün olduğu gösterilmiştir. Tek görüntüden elde edilen kalınlık görüntüsü, bilinen mamografi metotlarıyla elde edilen görüntülerle karşılaştırıldığında eşdeğer ve düşük dozlarda daha iyi sonuçlar vermiştir (Briedis, 2005).

Connor ve arkadaşları, bovine kortikal kemiklerde (bovine cortical bone) oluşan mikro hasarların tespiti üzerine çalışmışlardır. Farklı açılarda çok sayıda görüntüler alınmış ve elde edilen şiddet-açı dağılımlarından, eğrilerdeki FWHM farklılıkları araştırılmıştır. Ancak mikro hasarları bu yöntemle doğrudan gözleyememişlerdir. Detaylı bir çalışma için ayırma gücü daha yüksek olan bir detektöre ihtiyaç bulunduğunu belirtmişlerdir. Kemikte meydana gelen mikro düzeydeki hasarların ultra seviyede küçük saçılmalara neden olacağı ve bu saçılmanın normal detektörlerle tespit edilemeyeceğini ileri sürmüşlerdir (Connor, 2005).

Radyografik görüntülemelerde kırık dokuların görüntülenmesi nerdeyse mümkün olmadığından DEI yönteminin eklem ve kırık alanındaki başarısı Li ve arkadaşlarını da bu alanda çalışmaya sevk etmiştir. Bu grup, çalışmalarında istatistiksel değerlendirmeler de yaparak yöntemin başarılı bir şekilde kırık bozulmalarının erken başlangıç aşamasında bile tespit edilebilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Grup, çalışmalarını ileride in vivo olarak yapmayı planladıklarını belirtmiştir (Li, 2005).

DEI yöntemleri, teorileri ve DEI bilgisayarlı tomografi son zamanlarda araştırma konularıdır. Fakat kırılma açısı görüntülerinin asıl yöntemlerinin ve DEI-CT 'nin tekrardan oluşturulan algoritmalarının sonuçları ile nadir ilgilenilmiştir. Yazar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bu konuya odaklanmıştır. Bir doğrulama metodu kullanarak hataları ayıklamayı hedeflemiştir. Çünkü hatalardan arınmış bir veri ile daha ayrıntılı sonuçlar elde edilebileceğini düşünmüşlerdir. Bu çalışmanın sonunda da doğrulama metodunun limitleri üzerine tartışmışlardır (Huang, 2006).

DEI tekniği, materyallerde saçılma ve x-ışını kırılmasını kullanarak incelenen cismin kenar yani sınır bölgelerini daha kolay ortaya koyan bir tekniktir. Cismin sınır bölgelerinde, x-ışınları farklı bir ortama geçerken gradient değişimi daha büyük olduğu için x-ışınlarının sapması daha fazla olmaktadır. Bu yüzden DEI sınır bölgelerini daha iyi tespit etmektedir. Bu gözlem Wagner ve arkadaşlarını kemik kırılmalarında tedavi amaçlı titanyum takılmasını incelemeye yöneltmiştir. Bilindiği üzere kemik kırıldığında kırılan yere platin çubuk veya çivi takılarak kırık bölgenin tedavisi sağlanmaktadır. Wagner ve arkadaşları hayvanlar üzerinde yaptıkları deneyde, kırık olan bölgelere titanyum çubuk takmışlar ve hem kemiğin iyileşmesini hem de kemiğin titanyuma iyileşme sürecinde gösterdiği tepkiyi adım adım incelemişlerdir (Wagner, 2006).

Wang ve arkadaşları çalışmalarında DEI 'de bilgisayarlı tomografi tekniğinin kullanılması üzerine odaklanmışlardır. DEI 'den elde edilen bir boyutlu kırılma indeksi gradyeni tam olarak gösterilmiş ve klasik bilgisayarlı tomografiden de sadece skaler nicelikleri elde edebildiklerini göstermişlerdir. Bununla birlikte tarama doğrultularını değiştirerek bir cismin kırılma indeksi gradientinin üç boyutlu dağılımı ile ilişkilendirerek CT görüntüsünü oluşturmuşlardır (Wang, 2006).

Zhu ve arkadaşları analizör kristalin yansıtma eğrisini bir üçgen olarak kabul edip 6 adet görüntü ortaya koymuşlardır. Yaptıkları kabulde, soğurma ve saçılmanın oldukça küçük olduğunu kabul ederek bilinen DEI denklemlerindeki eksponansiyel terimleri seriye açmışlar ve açılım sonucu ilk iki terimi alarak ifadeleri daha sade hale getirmişlerdir. Bu şekilde pik görüntüsü, düşük açı görüntüsü, yüksek açı görüntüsü, yüksek açı ve düşük açı görüntülerinin toplamı ve farkı, son olarak da kırılma görüntülerini elde ederek bu görüntülerdeki kontrast olaylarını başarılı bir şekilde açıklamışlardır. Düşük ve yüksek açı görüntülerinin farkının alınmasının, kırılma görüntüsü verdiğini ancak bu yolla elde edilen kırılma görüntüsünün düşük kontrasta sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Önceki algoritmayla elde edilen kırılma görüntüsünün daha yüksek kontrast verdiğini analizleri sonucu bulmuşlardır. Pik görüntüsünün ve kırılma görüntüsünün neden daha yüksek kontrasta ve kaliteye

sahip olduğunu önerdikleri metotla oldukça başarılı bir şekilde açıklayabilmişlerdir (Zhu, 2006).

DEI görüntülerinin alımı, kristal pozisyonu, cismin detektöre olan uzaklığı elde edilen görüntülerin kalitesini belirlemektedir. Huang ve arkadaşları teorik olarak en uygun görüntü alımını bulmaya ve uzaklığa bağlı yanlış görüntü alımının ne tür hatalar ortaya çıkardığını incelemişlerdir. Tek, iki veya üç adet görüntü alımı için görüntülere uygulanan algoritmalar büyük hatalara neden olmazken çoklu görüntülerde bu hatalar artmaktadır. Bu teorik çalışma analizör kristal ve detektör mesafesinin önemli olduğunu ve bu tür uzaklıklardan kaynaklanan hataların nasıl düzeltileceğini göstermişlerdir (Huang, 2007).

Çok sayıda görüntü alınarak elde edilen şiddet-açı dağılımlarını modellemek DEI metodu için yeni çalışma alanı oluşturmuştur. Elde edilen şiddet dağılımı için analitik bir ifade önermek oldukça zordur. Sıklıkla kullanılan modeller genelde Gauss dağılımı veya Lorentz dağılım fonksiyonlarıdır. Ancak bu iki dağılım fonksiyonu soğurma ve kırılma durumlarında uygunluk gösterirken saçılmanın olduğu durumda genelde yetersiz kalmaktadır. Bir dağılım fonksiyonu genel olarak pik değeri, ağırlık merkezi ve FWHM değeri ile karakterize edilir. Gauss ve Lorentz fonksiyonları pik ve ağırlık merkezlerine çok iyi uyum sağlarken bu fonksiyonlar FWHM değerlerinde yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden Kitchen ve arkadaşları spektroskopide çok yaygın olarak kullanılan Pearson VII türünde bir fonksiyonu DEI yönteminden elde edilen şiddet-açı dağılımlarına uygulamıştır. Bu önerdikleri fonksiyon, modellemede iyi bir başarı göstermiş ve Gauss dağılım fonksiyonu ile karşılaştırıldığında %10 oranında daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu modelde naylon bir silindir çubuk, 20 keV 'de Si(111) analizörü kullanılarak ELETTRA Sinkrotron Tesisi 'nde görüntülenmiştir. Ancak önerdikleri Pearson VII fonksiyonu her ne kadar iyi sonuçlar vermiş olsa da fonksiyonun elde edilen görüntülere uygulanması pratikte bazı zorlukları da beraberinde getirmiştir. Fonksiyon m 'nci mertebeden bir fonksiyon olduğundan, m değerleri aşırı yüksek değerlere kadar çıkmakta ve bunun engellenmesi için belli m değerleri göz ardı edilmek zorunda kalmıştır. Bu

çalışmayı ilginç kılan özellik ise yeni dağılım fonksiyonları yardımıyla çoklu DEI metodunun daha iyi sonuçlar verebileceğidir (Kitchen, 2007).

Klasik bilgisayarlı tomografi (CT) soğurma kontrastına bağlı bir görüntüleme tekniğidir. Son yıllarda x-ışını faz kontrastlı bilgisayarlı tomografi metotları gelişmektedir. Bu teknik faz bilgisini kullanarak cisim hakkında daha özel çözümler önermektedir. DEI, x-ışını faz-hassasiyet görüntüleme tekniklerinin üç tanesinden birisidir. DEI metodu bir analizör kristal kullanarak cismin kırılma bilgilerini ortaya koyan ve CT 'de de uygulanabilecek bir tekniktir. Sun ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, cisim içindeki her hangi bir noktada kırılma olayının fiziksel olarak değişmez olduğunu, fakat uygulanan farklı yöntem ve algoritmalarla kırılmanın daha iyi bir şekilde ortaya konacağını göstermiştir. Sun ve arkadaşları bunun için iki farklı yöntem önermiş ve yöntemler arasındaki farklılıkları ortaya koymuştur (Sun, 2007).

Wang ve arkadaşları önceki çalışmalarını geliştirerek DEI-Bilgisayarlı Tomografide örneğin $0-360^0$ aralığındaki izdüşüm görüntüleri yardımıyla hem kırılma hem de iki türevli kırılma görüntüsü elde etmişlerdir. Bu yöntem ve önerilen yeni algoritma şimdiye kadar elde edilen görüntülerden çok daha yüksek kalitede görüntü elde edilmesini mümkün kılmıştır (Wang, 2007).

Ando ve arkadaşları, beyin dokularının 2, 2.5 ve 3 boyutlu x-ışını kırılma görüntüleri üzerine çalışmışlardır. XDFI (X-ray dark-field imaging) Yöntemi ile x-ışınlarının iki boyutlu yüksek kontrastlı görüntülerini oluşturmuşlar ve bu şekilde x-ışını filmlerinde 2 ve 2.5 boyutlu görüntüleri belirli bir şekilde elde etmeyi başarmışlardır. X-ışınlarına duyarlı CCD kamera ile üç boyutlu görüntüleri de başarı ile kaydeden grup, eklemdeki kıkırdak yapıların düşük radyasyon dozunda kaliteli görüntülerini oluşturmuşlardır (Ando, 2008).

Rigon ve arkadaşları GDEI olarak isimlendirilen Genelleştirilmiş Kırınım Arttırımlı Görüntüleme tekniğini tomografik görüntülerde uygulanmasını incelemiştir. Bu yöntemde daha öncekilerde olduğu gibi soğurma, kırılma ve saçılma görüntüleri elde etmişlerdir (Rigon, 2008).

Wang ve arkadaşları fan şeklinde x-ışınları demeti ile DEI-Bilgisayarlı Tomografi tekniğini kullanarak cismin kırılma indeksi ile bilgiler elde etmiştir. Önceki çalışmalardan farklı olarak Wang cismin görüntüsünü 0-360° aralığında alarak cismin kırılma gradientini analizör kristalin tek bir açısal konumu için oluşturmuştur. Bu çalışma aynı zamanda normalde ikili setler halinde alınan düşük ve yüksek açı görüntülerinin alınmasına gerek kalmadan da kırılma görüntüsünün elde edilebileceğini göstermiştir (Wang, 2008).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. X-Işınlarnın Difraksiyonu

X-ışınları bir ortama girdiğinde ortamlar arası yoğunluğun farkından dolayı enerjisi, dolayısıyla dalga boyu değişir. Görünür ışığın tersine x-ışınları için kırılma indeksi 1' den küçük olup gerçek ve sanal bölümler olmak üzere aşağıdaki denklemlerle verilir.

$$n = \frac{\lambda}{\lambda'} = 1 - \delta - i\beta = 1 - (1/2\pi)r_e\lambda^2 \sum_j N_j (f_{o_j} + f_j' + if_j'') \quad (3.1)$$

Burada n kırılma indeksi, λ birinci ortamda ilerleyen x-ışınının dalga boyu, λ' ikinci ortamda ilerleyen x-ışınının dalga boyu, r_e klasik elektron yarıçapı, N birim hacimdeki atom sayısı; f_o ileri yönde saçılma terimi olup düşük enerjilerde Z atom numarasına eşittir. f' ve f'' ise j 'inci atom için gerçek ve sanal atomik dispersiyon düzeltme terimleridir.

X-ışınlarının bir ortama girip çıktığında geliş doğrultusundan sapması en uygun silindirik bir yapıda gösterilebilir. (Şekil 3.1) gelen ışının silindirik yüzeyi terkettiğindeki sapmasını temsil etmektedir. Gelen ışın yüzey normaliyle θ_1 açısı yapmaktadır. Kırılma indisi x-ışınları için 1'den küçük olduğundan sapma, görünür ışıkta gözlenen durumun tersi olacaktır. Işın birinci ortamdan ikinci ortama girdiğinde sapacak ve ikinci ortamdan tekrar birinci ortama geçerken yine sapacaktır. Dolayısıyla ışın iki kez saptmaya uğrayacaktır. Toplam sapma miktarını bulmak için klasik optikten bilinen Snell Yasası uygulanabilir. Buna göre;

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3.2)$$

θ_1 silindir yüzey normali ile yapılan açı, θ_2 ise ikinci ortamdaki kırılma açısıdır. Kırılma açısı;

$$\theta_1 + \Delta\theta = \theta_2 \quad (3.3)$$

olarak yazılabilir. Bu ifadeler kullanıldığında

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin(\theta_1 + \Delta\theta) \quad (3.4)$$

yazılabilir. Buradan sinüs ifadesi için trigonometrik özdeşlik kullanılır ve $\Delta\theta$ 'nın küçük olduğu kabul edilirse;

$$\sin(\theta_1 + \Delta\theta) = \sin \theta_1 \cos \Delta\theta + \cos \theta_1 \sin \Delta\theta \approx \sin \theta_1 + \Delta\theta \cos \theta_1 \quad (3.5)$$

olacaktır. Bu denklem $\Delta\theta$ için tekrar düzenlendiğinde birinci yüzeyden sapma miktarı;

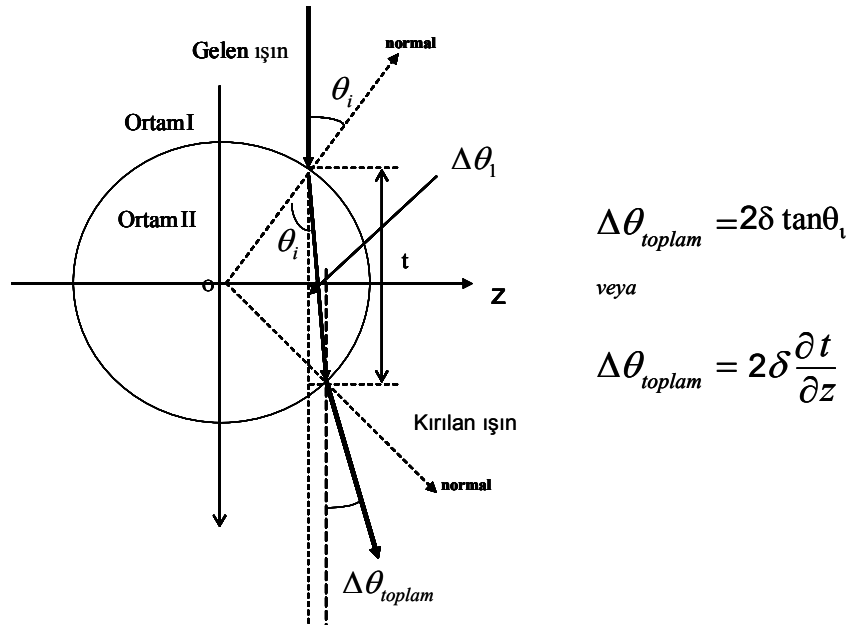
$$\Delta\theta \cong \Delta n \tan \theta \quad (3.6)$$

olur. Silindir için simetri göz önüne alındığında iki yüzeyden meydana gelen toplam sapma miktarını;

$$\Delta\theta_{\text{toplam}} \cong 2\Delta n \tan \theta \quad (3.7)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada $\Delta n = n_1 - n_2$ iki yüzey arasında kırınım indeksleri arasındaki farktır. Δn ifadesi daha basit ve kullanışlı bir form olarak aşağıdaki gibi verilebilir. Burada N Avagadro sayısı, f_0 iletkenlikteki atomik saçılma faktörü, A atom ağırlığı, ρ ise ortamın yoğunluğudur.

$$\Delta n = \lambda^2 N r_e f_0 \rho / (2\pi A) \quad (3.8)$$



Şekil 3.1. X-ışınlarının silindirik bir cisimden kırılması

Denklem 3.7' deki $\tan \theta$ terimi basitçe eğimdir. Işının geliş doğrultusu x olmak üzere ve ışının silindir içerisinde aldığı yolu t ile gösterirsek toplam sapma miktarını;

$$\Delta \theta_{toplam} \cong \Delta n \frac{\partial t}{\partial z} \quad (3.9)$$

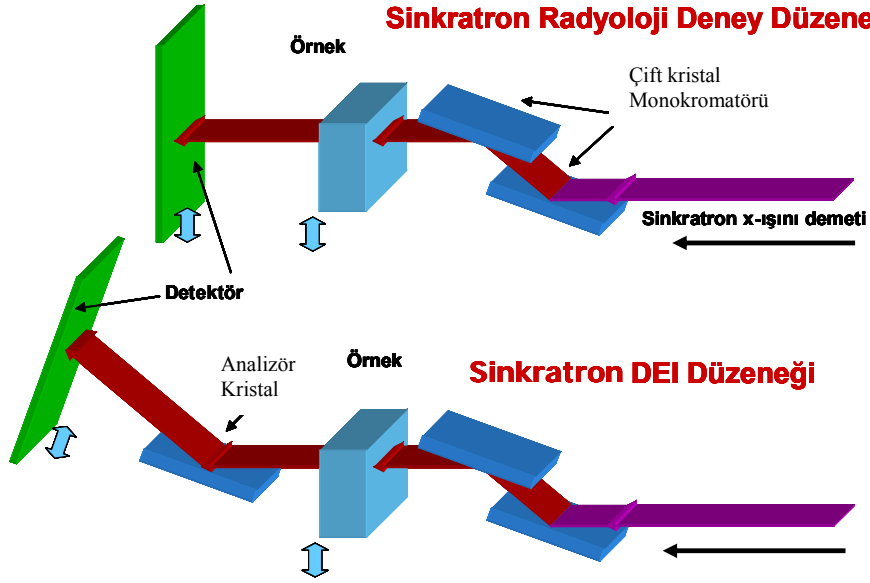
olarak yazabiliriz.

3.2. Deney Düzenegi

Kırınım Arttırımlı Görüntüleme Tekniği' nde sinkratron tesislerinde üretilen x-ışınları (Şekil 3.2) 'de görüldüğü gibi ilk önce çift kristal monokromatörüne gönderilerek tek enerjili X-Işınları elde edilir. Tek enerjili ışınlar incelenecek olan örneğin üzerine gönderilir. Örneği terk eden ışınlar analizör kristal tarafından kırınımına uğratıldıktan sonra dedektöre ulaşarak veriler bir bilgisayara aktarılır. Burada dedektör ve cisim aynı anda hareket ettirilerek cismin her bir noktasından geçen ışınların dedektördeki ayrı piksellere iletilmesi sağlanır. (Şekil 3.2) 'den de anlaşılacağı gibi DEI 'nin Radyografi tekniğinden farkı, cisimle dedektör arasında yerleştirilen bir kristalin olmasıdır. Bu sayede görüntüleme tekniğinde kırınım olayı da yer almaktadır. Bu çalışmada kullanılacak olan deneysel veriler için kullanılan x-ışınları demeti, 60 mm genişliğinde ve 1mm yüksekliğindedir. 18 keV foton enerjisinde yaklaşık olarak 100 rad/saniyelik bir radyasyona maruz bırakılmıştır. Bu da gelen foton akısının 10^6 foton/mm² mertebesinde olması demektir. Dedektör olarak kullanılan film FUJI yüksek çözünürlüğe sahip olup, 50x50 mikron pikseli okuma yapabilen Fuji Bas-2500 sistemiyle okunarak dijital veri haline getirilmiştir.

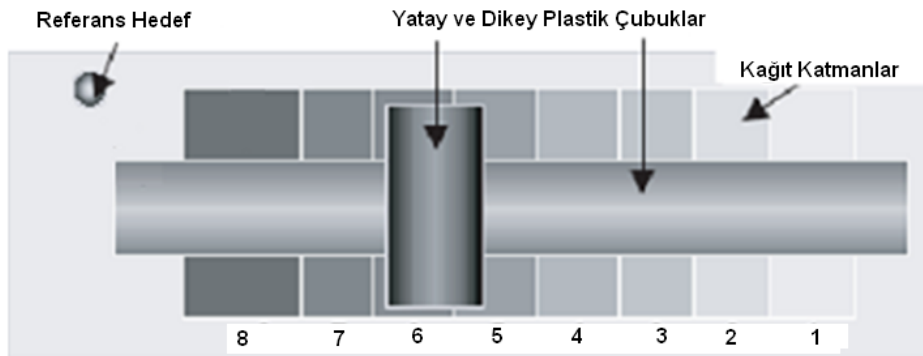
3.3. Materyal

Bu çalışmada incelenen örnek, üst üste sekiz adet kağıt ve bu kağıtların üzerinde yatay ve dikey konumda yerleştirilmiş lusit çubuklardan oluşmaktadır (Şekil 3.3). Kağıtlar katmanlar oluşturacak şekilde üst üste konulmuş ve 1 ile 8 arasında kalınlıkları değişecek şekilde üst üste konulmuştur. Yatay ve dikey olarak kullanılan lusit çubukların çapları eşit olup 6mm 'dir.



Şekil 3.2. Sinkratron Radyografi ve DEI Deneysel Düzeneği

Kağıt kullanılmasının nedeni fiber yapıya sahip olması ve bu fiberlerin kağıt içerisinde değişik yönelimlere sahip olmasıdır. Kağıdın bu ilginç özelliği onun saçıcı bir materyal olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Katman kalınlığı çok büyük olmadığında burada kağıt ayrıca düşük soğurma özelliğine sahiptir. Lusit silindirik çubuk ise geometrisinden dolayı refraksiyon yani kırılmayı mümkün kılacak ve aynı zamanda soğurma özelliği de gösterecektir. Böyle elde edilen kağıt-lusit çubuk modeli kağıt üzerinde saçılma, çubukta kırılma-soğurma, kağıt-lusit bölgesinde ise kırılma-soğurma-saçılma özelliklerine sahip olacaktır. Dikey olarak konulan lusit çubuk ise kırılma ve soğurma özelliği gösterse de, kristalin sadece dikey yöndeki kırılmayı tespit edebilmesi yüzünden dikey lusit kırılması kristal tarafından tespit edilemeyecektir.



Şekil 3.3. X-ışınlarının üzerine gönderildiği örneğin resmedilmiş hali

3.4. Yöntem

Bu çalışma öncelikle deneysel ve matematiksel modellemeye dayanmaktadır. Bilgisayar ortamına aktarılan veriler, kristali farklı açılarda konumlandırarak her bir açıda alınan şiddet değerleridir. Bu sayede örnek üzerinde her bir nokta için kristalin farklı açı değerlerine göre şiddetlerini gösteren yansıtma eğrileri vardır. Yani cisim üzerinde herhangi bir (x,y) noktası için kristal farklı açılarda farklı şiddetlere sahip x-ışınını geçirir. Bu yüzden kristalin bu noktalar için açığa bağlı olarak bir yansıtma eğrisi vardır. Bu eğriler bir dağılımla tanımlanabildiğinden yöntem olarak elde edilen verileri önerilen fonksiyonlarla matematiksel olarak uygunluğu (eğri uydurma) incelenebilir. Kristalin yansıtma eğrisini analitik olarak ifade etmek oldukça kompleks ve karışık fonksiyonlar içermektedir. Bu yüzden yansıtma eğrisini modellemek DEI çalışmalarında oldukça önemlidir. Kompleks analitik ifadelerden ziyade, kullanılması daha basit modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla yansıtma eğrisini temsil edebilecek yeni bir fonksiyon belirlemek bu tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Aşağıda önerilen denklem hem kristalin hem de örnek tarafından değişime uğratılan şiddet eğrisini temsil etmek amacıyla kullanılacaktır.

$$I(\theta) = \frac{I_0}{1 + \left| \frac{\theta + \Delta\theta}{\omega} \right|^n} \quad (3.10)$$

Önerilen bu fonksiyondaki terimler;

I : Değişime uğramış şiddet;

I_0 : Örneğin olmadığı durumdaki eğrinin maksimum şiddet değeri;

θ : Kristalin konulduğu açısal pozisyonlar;

ω : Yansıtma eğrisinin genişliği (FWHM);

n : Önerilen fonksiyon için üstsel mertebe;

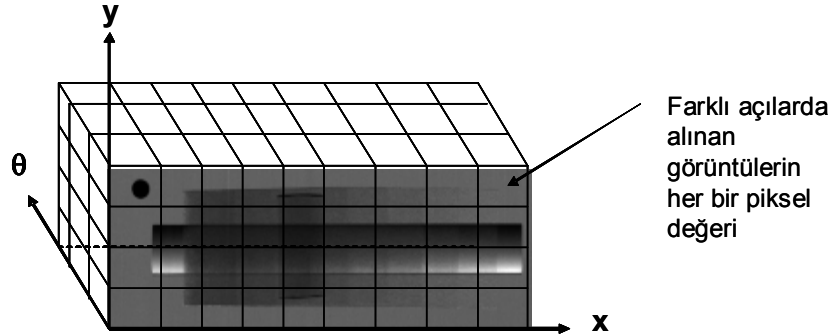
Dikkat edilirse yukarıdaki denklemde I , ω ve θ deneysel olarak elde edilmektedir. Denklem 3.10 'da bu deneysel verileri kullanarak en uygun I_0 , ω , $\Delta\theta$ ve

n değerlerini bulmakta kullanılacaktır. Bu işleme *eğri uydurma* veya *'fitting'* adı verilir. Uydurma işlemi IDL adlı Interactive Data Language bilgisayar programıyla yapılacaktır. Uydurma işleminden elde edilen en optimal değerler iki boyutlu bir matris içerisine saklanacak ve görüntü olarak sunulacaktır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

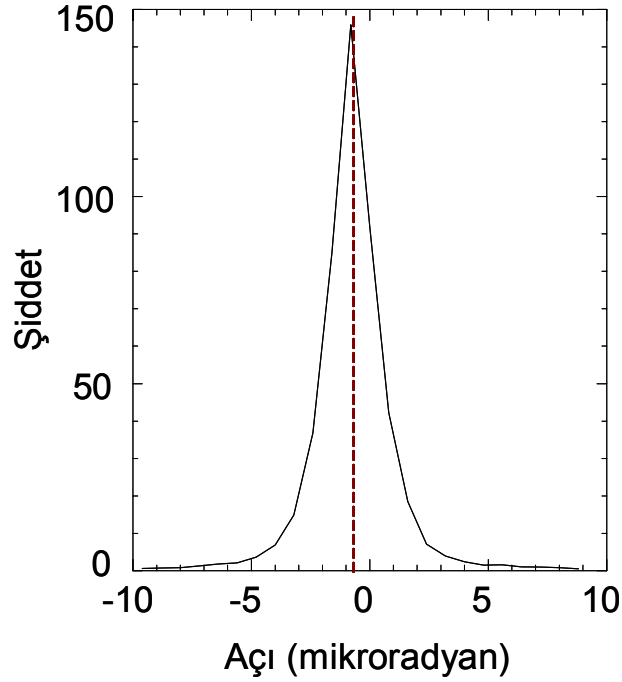
Bu çalışmada elde edilen veriler iki boyutlu görüntüler olup her bir görüntü kristalin farklı açıları altında alınmıştır. Her bir açıda alınan bu görüntüler arka arkaya sıralanarak bir matris içerisinde saklanmıştır (Şekil 4.1). Şekilde kare kutularla temsili olarak görüntüdeki pikseller gösterilmiştir. Gerçek piksel boyutları çok küçük olduğundan şekilde bu pikseller abartılı olarak çizilmiştir. Kristal yirmi dört farklı açı değerinde konumlandırılmış ve -9.6 mikroradyandan başlayarak 0.8 mikroradyan artırımla 8.8 mikroradyana kadar 24 değişik görüntü alınmıştır.

X-ışınları kristalden sadece Bragg açısında en yüksek şiddet değerinde kırınım (difraksiyona) uğrayacaktır. Bunu kristalin yansıtma eğrisinden kolayca görebiliriz (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan verileri temsilen üç boyutlu matris

Alınan görüntülerde kağıt ve lusit çubuğun olmadığı bir bölge kristalin referans eğrisini yani yansıtma eğrisini elde etmekte kullanılmıştır. Bu şekilde elde edilen yansıtma eğrisi (Şekil 4.2)' de gösterilmektedir. Bu eğri ham deneysel veriyi gösterme amacıyla normalize edilmemiştir. Veri analizi sırasında bu eğriler normalize edilecektir.



Şekil 4.2. Örneğin olmadığı bir nokta seçilerek alınan kristalin yansıtma eğrisi

Kristali belli bir açı değerinde deney sırasında uzun süre tutabilmek çok zor olduğundan kristal zaman içerisinde konumundan kaymaktadır. Bu şu demektir: Kristal yerleştirilen konumda olmayabilir. (Şekil 4.2) 'de bu açıkça görülmektedir. Kristal Bragg açısından sapmıştır. Bu, deneyde elde edilen verilerin düzeltilmesini gerektirir. Bu düzeltme bütün pikseller üzerinde yapılmalıdır. Bu tür bir düzeltme aşağıda bir örnekle gösterilmektedir. (Şekil 4.2) 'nin çizilmesinde kullanılan şiddet ve açı değerleri (Çizelge 4.1) 'de verilmektedir. Burada temel mantık eğrinin ağırlık merkezinin bulunması ve buna göre bütün veri noktalarının bu değer kadar kaydırılmasıdır. Böylece kristalin zaman içindeki bulunduğu açı değerinden kayması düzeltilebilmektedir. Bu verilere göre referans alınan yansıtma eğrisinin ağırlık merkezi:

$$Ağ.Mer. = \frac{\sum_i I(\theta_i) \cdot \theta_i}{\sum_i I(\theta_i)} \quad (4.1)$$

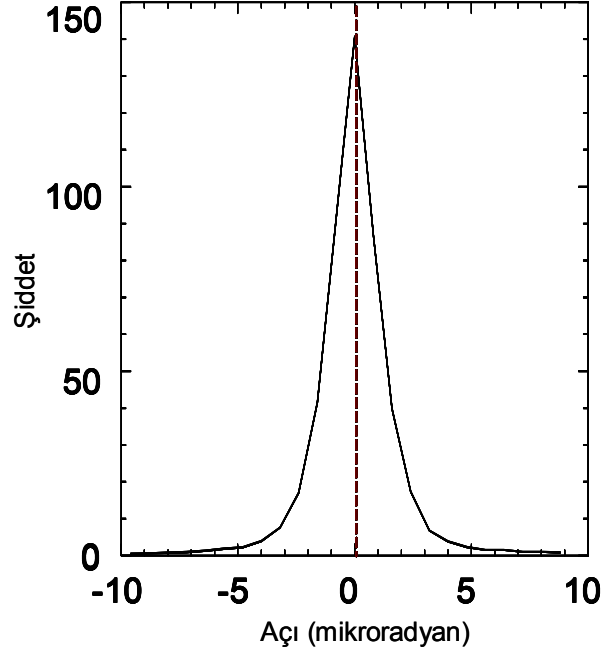
ile bulunur. Burada I her bir açığa karşılık gelen şiddet değeri, θ ise açı değerleridir.

Çizelge 4.1. Yansıtma eğrisinde her bir açığa karşılık gelen şiddet değerleri

	Açı(mikroradyan)	Şiddet
1	-9.6	0.629073
2	-8.8	0.751497
3	-8.0	0.859322
4	-7.2	1.27518
5	-6.4	1.80669
6	-5.6	2.09866
7	-4.8	3.59470
8	-4.0	6.84239
9	-3.2	14.8911
10	-2.4	36.7964
11	-1.6	84.9086
12	-0.8	145.904
13	0	91.6721
14	0.8	42.2115
15	1.6	18.4555
16	2.4	7.07277
17	3.2	3.96645
18	4.0	2.41507
19	4.8	1.50072
20	5.6	1.58429
21	6.4	1.04131
22	7.2	0.983653
23	8.0	0.849679
24	8.8	0.520957

Yansıtma eğrisinin ağırlık merkezi Çizelge 4.1 'deki verileri Denklem 4.1 'de kullanıldığında, -0.722249 mikroradyan olarak bulunur. Yani eğrideki değerler ağırlık merkezi kadar sağa kaydırıldığında ağırlık merkezi tam Bragg açısına karşılık

gelir. Kaydırma işlemi yapıldıktan sonra en yüksek şiddet değeri artık Bragg açısındadır (Şekil 4.3).



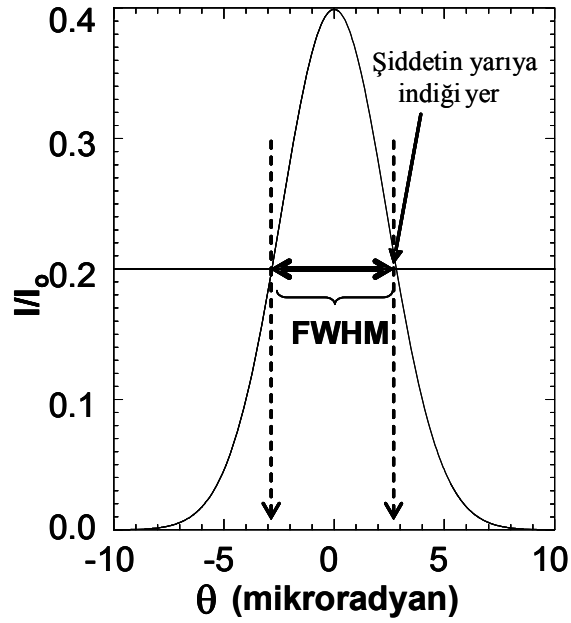
Şekil 4.3. Kaydırma işleminden sonraki yansıtma eğrisi

Ağırlık merkezi her bir yansıtma eğrisine uygulanarak bütün eğrilerin en yüksek şiddet değerinin Bragg açısına karşılık gelmesi sağlanır. Böylece deneysel verilerdeki hatalar bu şekilde düzeltilmiş olmaktadır.

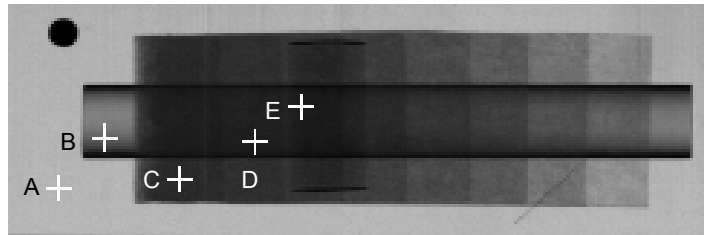
Bir eğri genel olarak genlik, ağırlık merkezi ve maksimum şiddetin yarıya indiği değerdeki eğri genişliği (FWHM) ile karakterize edilir. Bu genişlik örnek yokken elde edilen yansıtma eğrisi için Darwin genişliği (ω_D) olarak bilinir ve kristalin seçilen düzlemlerinin, örneğin (111) veya (333) gibi, bir fonksiyonudur. Darwin genişliği yansıtma eğrisinin altındaki alana yaklaşık olarak eşittir. Eğri genişliği (Şekil 4.4) `de temsili olarak gösterilmektedir.

X-ışınları maddeyle etkileştiğinde en genel olarak soğurulma, saçılma ve kırılma olaylarıyla karşılaşır. Diğer fiziksel etkileşimler bu çalışmada doğrudan göz önüne alınmayacaktır. Işınlardan soğurulması şiddetin yani genliğin azalmasına, saçılma eğrinin FWHM değerinin büyümesine yani eğrinin genişlemesine, ışının kırılması ise eğrinin ışının sapmasına bağlı olarak sağa ya da sola doğru kaymasına neden olacaktır. Bu şiddet dağılımlarındaki değişimi örnek üzerindeki farklı noktalar

için görebiliriz. Örnek üzerinde seçilen noktalar (Şekil 4.5) 'de gösterilmektedir. Seçilen noktalardan; B noktasında soğurma ve kırılma; C noktasında saçılma, D noktasında soğurma, saçılma ve kırılma; E noktasında daha fazla soğurma, saçılma ve kırılma gözlenecektir. A noktası ise örneğin olmadığı bir nokta olduğundan dolayı herhangi bir fiziksel özellik gözlenmeyecektir. Bu referans noktalarından sadece A noktası için normalize edilmiş şiddet dağılımı (Şekil 4.6) 'da verilmiştir.



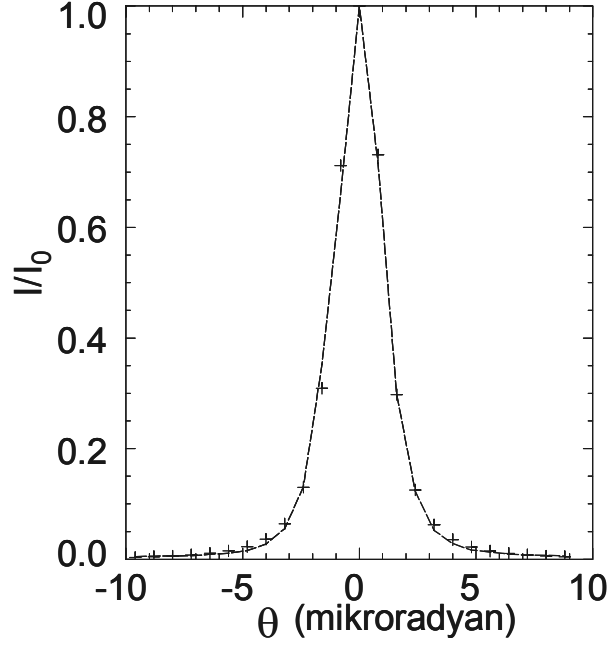
Şekil 4.4. Herhangi bir yansıtma eğrisinin temsili genişliği



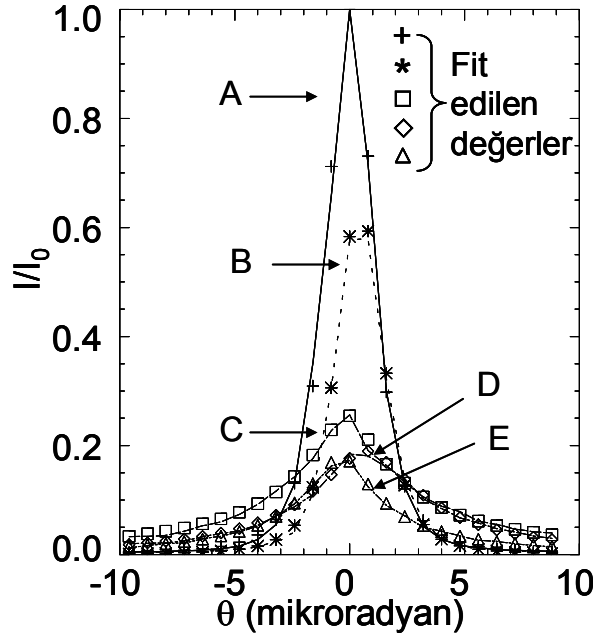
Şekil 4.5. Örnek üzerinde seçilen referans noktaları

Denklem 3.10 'un kullanılmasıyla elde edilen normalize edilmiş şiddet-açı grafikleri ve bunların deneysel verilere uygunluğu (Şekil 4.7) 'de gösterilmektedir.

Eğrilerdeki şiddet azalması, eğrinin genişlemesi ve sağa sola doğru kayması görülmektedir.



Şekil 4.6. Örnek üzerinde seçilen A noktası için yansıtma eğrisi



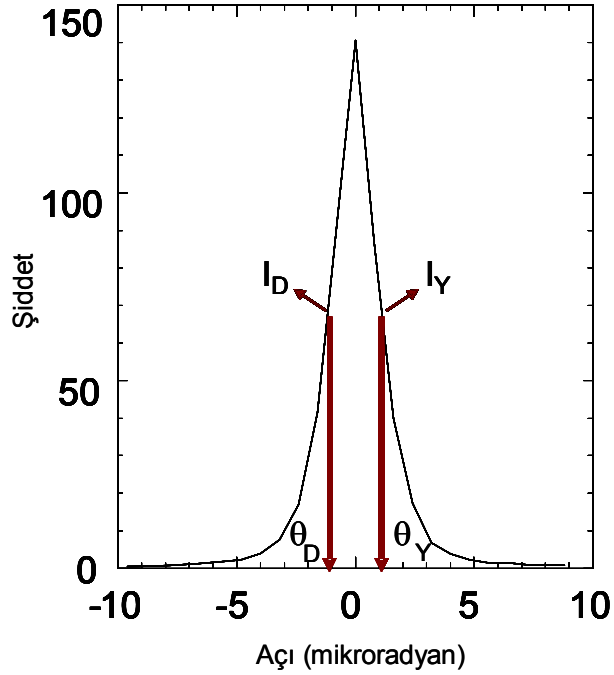
Şekil 4.7. Örnek üzerinde seçilen beş ayrı nokta için yansıtma eğrisi

Kristalin sola (negatif açı değerleri veya düşük açı değerleri) ve sağa (pozitif açı değerleri veya yüksek açı değerleri) doğru döndürülerek elde edilen görüntüleri sırasıyla I_D ve I_Y ile gösterilirse, denklem 3.10 şu şekilde yazılabilir:

$$I_Y = \frac{I_0}{1 + \left| \frac{\theta_Y + \Delta\theta}{\omega} \right|^n} \quad (4.2)$$

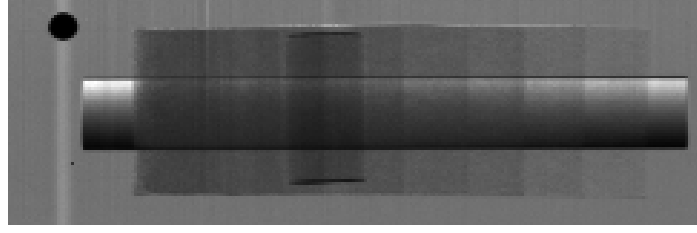
$$I_D = \frac{I_0}{1 + \left| \frac{\theta_D + \Delta\theta}{\omega} \right|^n} \quad (4.3)$$

Düşük ve yüksek açı değerleriyle kastedilen noktalar (Şekil 4.8) 'de gösterilmektedir.

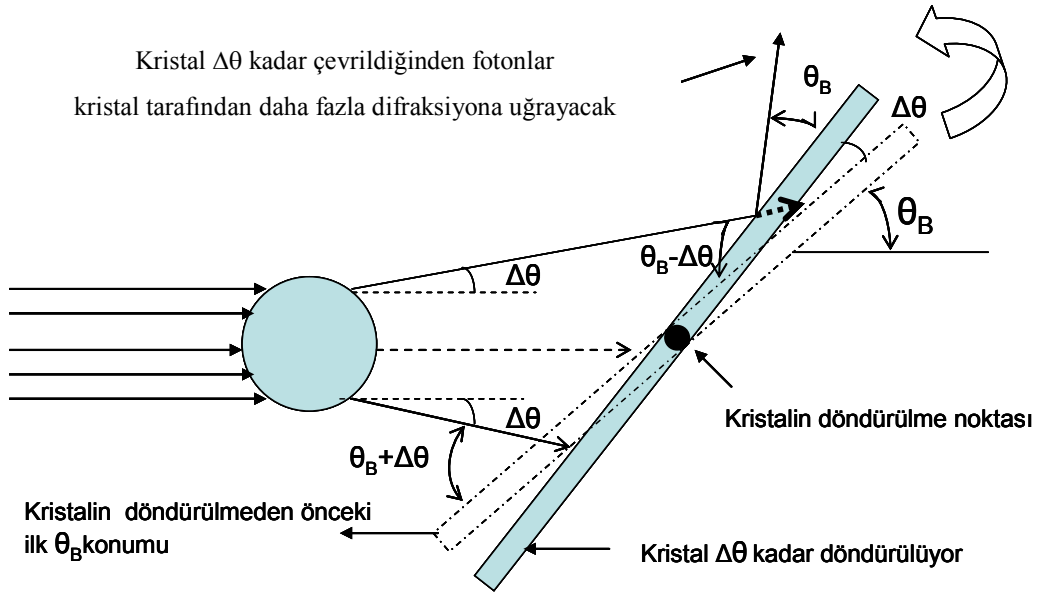


Şekil 4.8. Yansıtma eğrisinde simetrik iki açıdaki şiddetler

Yüksek açı değerinde ($\theta_Y = 1.6$ mikroradyan) alınan görüntülerden bir tanesi (Şekil 4.9) 'da görülmektedir. Şekilde göze çarpan en belirgin özellik çubuğun üst ve alt bölgelerindeki kontrast farklılığıdır. Üst kısım daha karanlık iken alt kısım daha aydınlıktır. Bu ilk başta şaşırtıcı gelmesine rağmen kristal açısından bakıldığında



Şekil 4.11. Örneğin -1.6 mikroradyanda alınan görüntüsü



Şekil 4.12. Örneğin üst kısmından geçen ışınların sapması

Bu bilgiler ışığında Denklem 4.2 ve Denklem 4.3 yeniden düzenlenirse;

$$I_0 = I_Y + I_Y \left| \frac{\theta_Y + \Delta\theta}{\omega} \right|^n \quad (4.4)$$

$$\frac{I_0 - I_Y}{I_Y} = \left| \frac{\theta_Y + \Delta\theta}{\omega} \right|^n \quad (4.5)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\frac{I_0 - I_Y}{I_Y}$ ifadesi bir sabit değer olduğundan

$$\frac{I_0 - I_Y}{I_Y} = B_Y \quad (4.6)$$

ile gösterilerek denklem tekrar düzenlenirse

$$B_Y = \left| \frac{\theta_Y + \Delta\theta}{\omega} \right|^n \quad (4.7)$$

olur. Bu eşitliğin her iki tarafının 1/n kuvveti alınırsa denklem

$$|\theta_Y + \Delta\theta| = \omega B_Y^{1/n} \quad (4.8)$$

formunu alacaktır. Aynı yöntemle Denklem 4.3 düzenlenirse,

$$I_0 = I_D + I_D \left| \frac{\theta_D + \Delta\theta}{\omega} \right|^n \quad (4.9)$$

şeklinde olup,

$$\frac{I_0 - I_D}{I_D} = \left| \frac{\theta_D + \Delta\theta}{\omega} \right|^n \quad (4.10)$$

ifadesini elde ederiz. Burada da $\frac{I_0 - I_D}{I_D}$ ifadesi bir sabit değer olduğundan,

$$\frac{I_0 - I_D}{I_D} = B_D \quad (4.11)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Denklem tekrar düzenlendiğinde,

$$B_D = \left| \frac{\theta_D + \Delta\theta}{\omega} \right|^n \quad (4.12)$$

olur. Benzer şekilde her iki tarafın 1/n kuvveti alındığında denklem

$$|\theta_D + \Delta\theta| = \omega B_D^{1/n} \quad (4.13)$$

formunda yazılabilir.

Denklemleri bu şekilde düzenlemedeki temel amaç bu iki denklemden $\Delta\theta$ ifadesini elde etmektir. Elde edilen Denklem 4.8 ve Denklem 4.13 ifadelerini biraz daha basitleştirmek için

$$\theta_D \leq \Delta\theta \leq \theta_Y \quad (4.14)$$

kabulü yapılabilir. Bu kabul yardımıyla,

$$-\theta_D \pm \Delta\theta_1 = \omega B_D^{1/n} \quad (4.15)$$

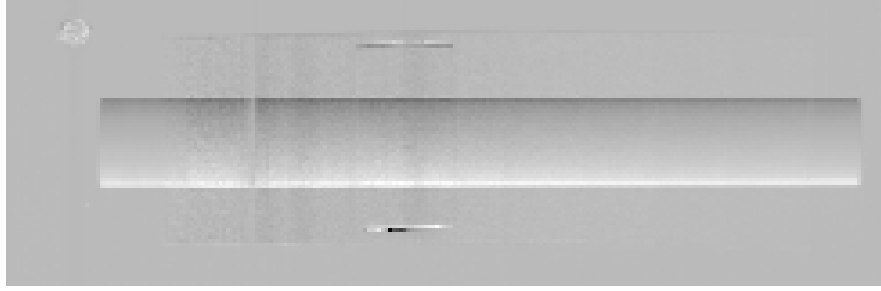
$$\theta_Y \pm \Delta\theta_2 = \omega B_Y^{1/n} \quad (4.16)$$

ifadeleri yazılabilir. Burada $\pm \Delta\theta$ teriminin önündeki artı ve eksi işaretleri sapma miktarının pozitif ve negatif yönde olabileceğini göstermek için kullanılmıştır. Bu işaretlerden sadece pozitif olanını ya da sadece negatif olanını almak elde edilecek olan $\Delta\theta$ ifadesini değiştirmeyecektir. Denklem 4.15 ve Denklem 4.16 taraf tarafa çıkarılırsa;

$$\overline{\Delta\theta} = \Delta\theta_1 - \Delta\theta_2 = \omega \left[B_D^{1/n} - B_Y^{1/n} \right] + (\theta_D + \theta_Y) \quad (4.17)$$

ortalama sapma miktarı bulunur. Bu son ifade düşük ve yüksek açı değerlerinde alınan iki görüntüye uygulandığında kırılma görüntüsü elde edilmiş olacaktır.

Denkem 4.17 yardımıyla elde edilen görüntü (Şekil 4.13) `de gösterilmektedir. Bu görüntüde dikey olarak yerleştirilen lusit çubuğun görünmemesi kristalin sadece dikey yönde sapan ışınları tespit edebilmesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü kristal düzlemleri Si(111) kristal yüzeyine paraleldir.



Şekil 4.13. $\Delta\theta$ denklemleriyle elde edilen kırılma açısı görüntüsü

Ölçülen veri noktalarının dağılımı istatistiksel momentlerle de karakterize edilebilir. Bir fonksiyonun n . dereceden momentini;

$$m_n = \int f(\theta) \times \theta^n \times d\theta \quad (4.18)$$

ile tanımlanır. Burada n tamsayı olup, $f(\theta)$ normalize edilmiş bir dağılımı ifade eder. Işının geldiği doğrultuda herhangi bir örnek yoksa, $f(\theta)$ kristalin yansıtma eğrisini; eğer bir örnek varsa, örneğin yansıtma eğrisini temsil eder. Buradan yola çıkarak sıfırıncı dereceden moment;

$$m_0 = \int f(\theta) \times d\theta \quad (4.19)$$

ile ifade edilir. Sıfırıncı dereceden moment soğurmaya verir. Çünkü sıfırıncı dereceden moment toplam şiddettir. Diğer bir deyişle, eğri altındaki alandır ve soğurmaya bulmak için kullanılabilir. Soğurma;

$$I = I_0 e^{-\mu t} \quad (4.20)$$

şeklinde tanımlanır. Burada;

I : Örnek varken alınan şiddet değeri,

I_0 : Örnek yokken alınan şiddet değeridir.

Denklem 4.20 düzenlendiğinde;

$$e^{-\mu t} = \frac{I}{I_0} \quad (4.21)$$

olur.

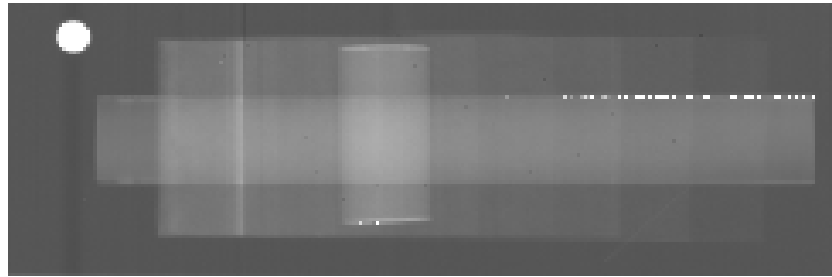
Örnek yokken kristal yansıtma eğrisi altındaki alan yaklaşık olarak ω_D olarak bilinen Darwin genişliğine eşittir. Kristalin değişik yönelimleriyle küçük açılarda saçılan x-ışını radyasyonu tekrar toplandığından yani saçılmayla kaybolan x-ışınları tekrar kazanıldığından eğri altındaki alan örnek madde varken $\omega_D e^{-\mu t}$ olacaktır. Bu iki ifadenin birbirine oranı

$$\frac{(Alan)_{\text{örnek}}}{(Alan)_{\text{referans}}} = \frac{\omega_D e^{-\mu t}}{\omega_D} \approx e^{-\mu t} \quad (4.22)$$

Elde edilen bu ifadenin logaritmasının da alınmasıyla

$$\mu t = - \ln \left[\frac{(Alan)_{\text{örnek}}}{(Alan)_{\text{referans}}} \right] \quad (4.23)$$

soğurma görüntüsü bulunabilir. Bu şekilde elde edilen *soğurma görüntüsü* (Şekil 4.14) 'de gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Soğurma görüntüsü

Moment teorisine göre birinci dereceden moment;

$$m_1 = \int f(\theta) \times \theta \times d\theta \quad (4.24)$$

ile ifade edilir. Birinci dereceden moment basitçe bir geometrik şeklin ağırlık merkezidir. Eğer integral içersindeki ‘f’ fonksiyonu normalize edilmemişse ağırlık merkezi

$$m_1 = \frac{\int f(\theta) \times \theta \times d\theta}{\int f(\theta) \times d\theta} \quad (4.25)$$

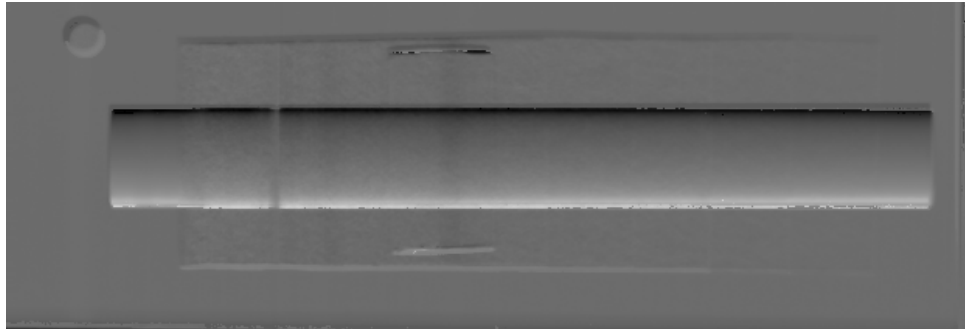
ifadesiyle bulunmalıdır. Bu ifade yansıtma eğrisinin $\theta = 0$ noktasından sağa ya da sola doğru ne kadar kaymaya uğradığını belirtmektedir. Bunun anlamı gelen x-ışınları radyasyonunun kırılması ve x-ışınlarının geliş doğrultusundan saparak yön değiştirmesidir.

O halde $m_1 = \bar{\theta}$ yani θ eksenini üzerindeki ağırlık merkezidir. Örnek maddenin olduğu ve olmadığı durumlar için eğrilerin ağırlık merkezleri hesaplanarak bunların farkının alınması; ışının kırılması ve radyan cinsinden sapma miktarı hakkında bilgi verecektir. Bu yolda elde edilen görüntüye *refraksiyon veya kırılma görüntüsü* adı verilir. Burada;

$\Delta\theta$: Ortalama kırılma değeri,

$\bar{\theta}_{örnek}$: Örnek varken yansıtma eğrisinin ağırlık merkezi,

$\bar{\theta}_{referans}$: Örnek yokken yansıtma eğrisinin ağırlık merkezidir. Bu yöntemle elde edilen kırılma görüntüsü (Şekil 4.15) ’deki gibidir.



Şekil 4.15. Ortalama kırılma görüntüsü

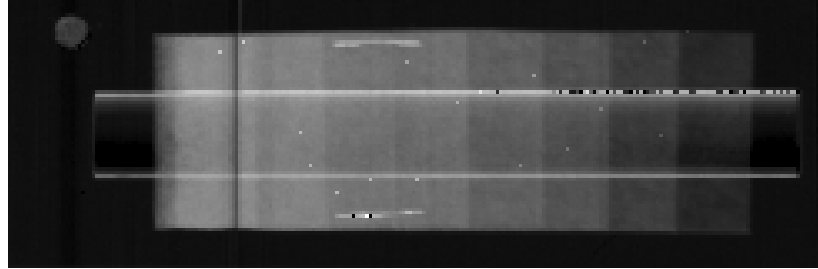
Moment teorisine göre ikinci dereceden moment;

$$m_2 = \int f(\theta) \times \theta^2 \times d\theta \quad (4.26)$$

ile ifade edilir. Bu ifade varyansın karekökünü ifade eder. Varyans bir eğrinin merkezi etrafındaki genişliğini karakterize etmek için iyi bir istatistiksel ölçümdür. İstatistiksel olarak bir dağılımın kendi ortalamasından sapmasının karesinin beklenen değeridir. Varyans, dağılıma ait her bir değer dağılımın ortalamasından ne kadar uzak olduğuyla ilgilidir ve söz konusu sapmaların ortalama değerini ölçmektedir. Soğurma ve kırılma standart sapmanın sonuçlarından biri olmamasına rağmen, küçük açı saçılmalarında oldukça iyi sonuçlar verir. Varyans;

$$\sigma = \sqrt{\text{var yans}} = \sqrt{(m_2)_{\text{örnek}}^2 - (m_2)_{\text{referans}}^2} \quad (4.27)$$

ile ifade edilir. Bu ifadeyle elde edilen görüntü (Şekil 4.16) 'daki gibidir.

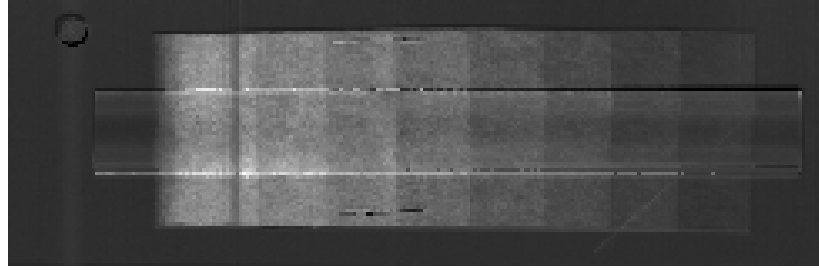


Şekil 4.16. Varyans ifadesiyle elde edilen görüntü

Bilindiği gibi aynı zamanda X-ışınlarının saçılması eğri genişliğini de değiştirmektedir. ω_o örneğin olmadığı durumdaki eğri genişliği (FWHM), ω_o ise örnek cismin var olduğu durumdaki eğri genişliği (FWHM) olarak tanımlandığında, ω_o değeri ω_o değerinden büyük olacaktır. Çünkü örnek varken, x-ışınları saçılmaya uğrayarak yansıtma eğrilerinden de gözlenebilen bir genişleme gözlenecektir. Varyans ifadesinden yola çıkarak eğri genişliklerinin standart sapmaları ayrı bir görüntü olarak sunulabilir. Matematiksel olarak;

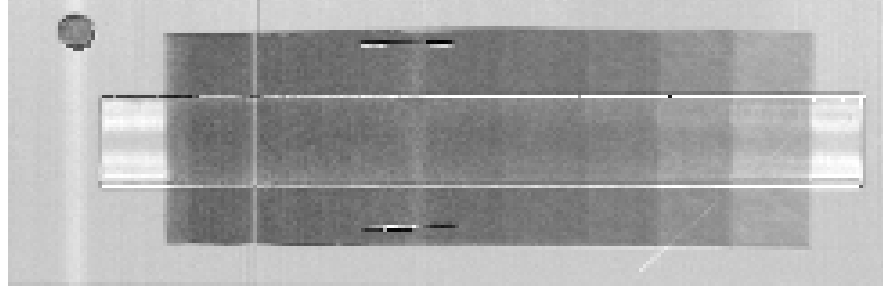
$$\Delta\omega = \sqrt{(\omega)_{\text{örnek}}^2 - (\omega)_{\text{referans}}^2} \quad (4.28)$$

ile ifade edilen eğri genişliklerinin standart sapmasından elde edilen görüntü (Şekil 4.17)'deki gibidir.



Şekil 4.17. $\Delta\omega$ ifadesiyle elde edilen görüntü

Unutulmamalıdır ki yukarıda elde edilen görüntüler deneysel olarak elde edilen verilerin Denklem 3.10 ile 'fitting' edilmesi ve daha sonra moment teorisinin bu *fit* edilen veriye uygulanmasıyla elde edilmiştir. Bu çalışmada önerilen fonksiyonda bir diğer ilginç parametre fonksiyonun n 'ci dereceden olması ve bu ' n ' parametresinin soğurma, saçılma ve kırılmaya bağlı olarak değişmesidir. Bu yüzden n değerinin bir görüntü olarak sunulması bize örnek cisim hakkında bilgi verecektir. Burada önemle belirtilmesi gereken nokta n üzerindeki şartın pozitif olması ve tam sayı olma şartının olmamasıdır. 'Fitting' işlemi sonucu ile elde edilen bu ' n ' ifadesinin görüntü olarak sunulması (Şekil 4.18) 'de gösterilmektedir. Bu görüntüye *güç görüntüsü* adını vereceğiz. Görüntü taşıdığı bilgi bakımından ilginç bir öneme sahiptir. n değerindeki değişim genel olarak soğurma ve saçılmadan etkilenmekte, kırılmadan ise etkilenmemektedir. Elde edilen güç görüntüsü soğurma görüntüsüyle karşılaştırıldığında, incelenen nesnedeki kağıt katmanlarının arttığı bölgelere doğru bakıldıkça aynı özelliği içerdiği, bununla birlikte varyans görüntüsüyle karşılaştırıldığında saçılmadan dolayı örnekteki çubuk ve kağıt kenarlarının güç görüntüsünde de mevcut olduğu görülüyor. Bu yüzden kuantitatif analizler için örnek hakkında bizlere bilgi verecektir.



Şekil 4.18. “n” değerleri ile elde edilen Güç Görüntüsü

Chapman’ın bulmuş olduğu Difraksiyon Arttırımlı Görüntüleme metodu kristal tarafından soğurulma, kırılma ve saçılmanın tespit edilmesine dayanmaktadır. Kristal (θ_B) Bragg açısında konumlandırılmakta ve gelen ışınlar kristal tarafında kırınım uğratıldıktan sonra dedektöre gelmektedir. Dedektör tarafından gözlenen şiddet

I_{DEI} ,

$$I_{DEI} = I \times R(\theta + \theta_B) \quad (4.29)$$

olacaktır. Burada I şiddeti, soğurulma ve saçılmadan kaybolan şiddeti temsil etmektedir. Denklemdaki $R(\theta)$ ise kristalin yansıtma eğrisidir. Kristal genel olarak DEI alanında analizör kristal olarak adlandırılır. Kristal yansıtma eğrisinin maksimum şiddet değerinin yarısına düştüğü noktadaki (Full width half maximum-FWHM) $\theta = \pm\Delta\theta_D/2$ açı değerlerine konumlandırılır ve gelen ışının gelme doğrultusuna, diğer bir deyişle kristal düzlemlerine dikey yönde sapması da $\Delta\theta_z$ olarak gösterilirse dedektör tarafından gözlenen şiddet,

$$I_{DEI} = I R(\theta_B + \Delta\theta_D + \Delta\theta_z) \quad (4.30)$$

olur. Küçük sapma açıları için bu denklem Taylor seri açılımına tabi tutlursa;

$$I_{DEI} = I \left[R(\theta_B + \Delta\theta_D) + \frac{dR}{d\theta}(\theta_B + \Delta\theta_D)\Delta\theta_z \right]. \quad (4.31)$$

şeklinde yazılabilir. DEI iki tane görüntüye ihtiyaç duyar. Bu görüntüler θ_D yani FWHM değeri ya da Darwin genişliği olarak bilinen $\theta = \pm\Delta\theta_D/2$ açısal değerlerinde alınır. Darwin genişliğinde kristalin yansıtma değeri 0.5’dir. Kristali θ_B

Bragg açısında konumlandırır ve bu konumu sıfır olarak alırsak, $\theta = \theta_D$ ile $\theta = \theta_Y$ şeklinde gösterirsek;

$$I_{(DEI)_D} = I \left(R(\theta_D) + \frac{dR}{d\theta}(\theta_D) \Delta\theta_Z \right) \quad (4.32.a)$$

ve

$$I_{(DEI)_Y} = I \left(R(\theta_Y) + \frac{dR}{d\theta}(\theta_Y) \Delta\theta_Z \right) \quad (4.32.b)$$

olur. Bu iki denklem birbiriyle bağlantılı olduğundan I ve $\Delta\theta_Z$ için çözülebilir. Bu iki denklem çözüldüğünde

$$I_R = \frac{I_D \left(\frac{dR}{d\theta} \right) (\theta_Y) - I_Y \left(\frac{dR}{d\theta} \right) (\theta_D)}{R(\theta_D) \left(\frac{dR}{d\theta} \right) (\theta_Y) - R(\theta_Y) \left(\frac{dR}{d\theta} \right) (\theta_D)} \quad (4.33)$$

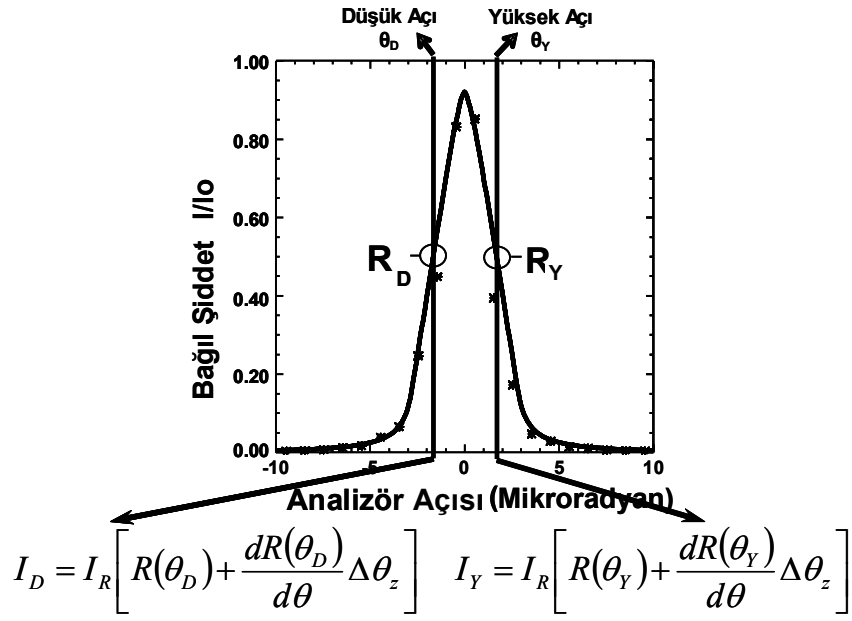
ve

$$\Delta\theta_Z = \frac{I_Y R(\theta_D) - I_D R(\theta_Y)}{I_D \left(\frac{dR}{d\theta} \right) (\theta_Y) - I_Y \left(\frac{dR}{d\theta} \right) (\theta_D)}. \quad (4.34)$$

olacaktır.

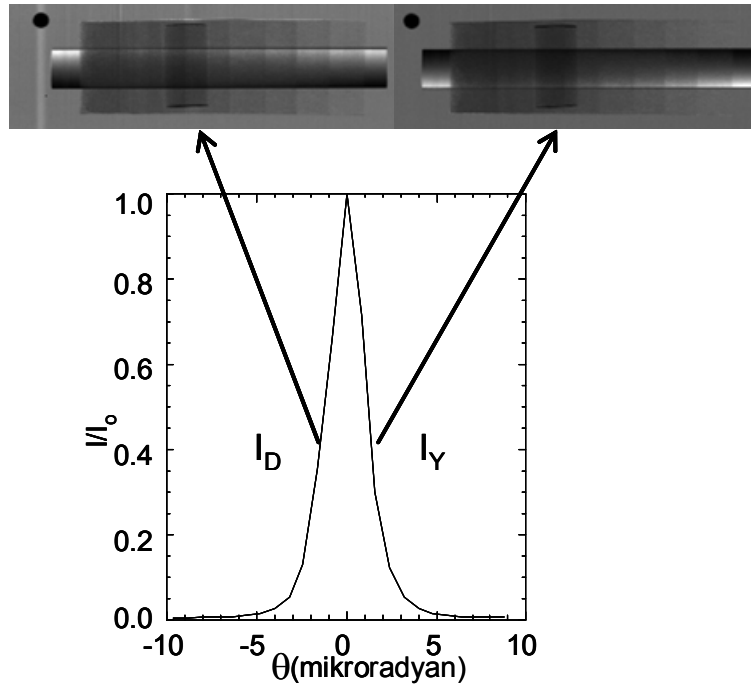
Örnek yokken analizör kristalin sağa ve sola doğru mikroradyan mertebesinde konumlandırılmasıyla elde edilen yansıtma eğrisi (Şekil 4.19) 'da gösterilmektedir. Şekilden görüleceği gibi düşük açı negatif açı değerleri olarak, yüksek açı değerleri ise pozitif açı değerleri olarak kabul edilmiştir.

Yukarıdaki deneysel sistem yardımıyla önceden alınmış görüntüler (Şekil 4.20) 'de gösterilmektedir. Görüntüler şekilden anlaşılacağı gibi kristalin farklı konumları için yani kristalin farklı açısal pozisyonlarında alınmıştır. Bu açısal değerler sırasıyla θ_D ve θ_Y açılarıdır. Bu çalışmada daha önceden Amerika Birleşik Devletlerindeki Brookhaven Ulusal Laboratuvarında alınmış olan görüntüler kullanılmıştır.

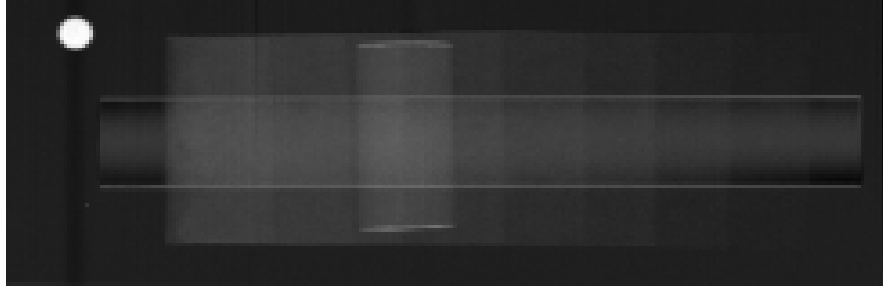


Şekil 4.19. Kristalin sağa ve sola doğru mikroradyan mertebesinde konumlandırılmasıyla elde edilen yansıtma eğrisi

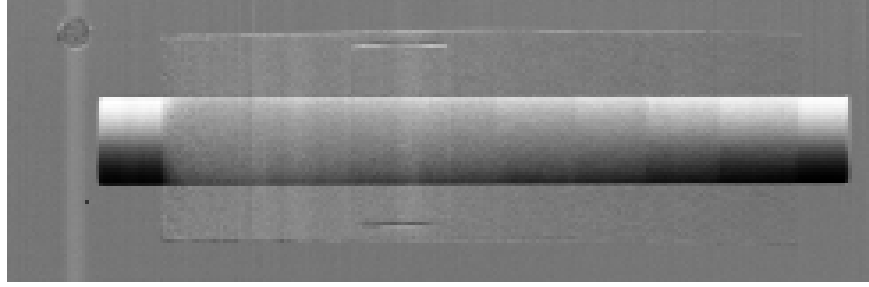
Denklem 4.33 ve Denklem 4.34 'e düşük ve yüksek açıda alınan görüntüler uygulandığında soğurma (Şekil 4.21) ve kırılma görüntüsü (Şekil 4.22) olarak adlandırılan görüntüleri elde edilecektir.



Şekil 4.20. Analizör kristalin düşük ve yüksek açı değerleri için 18 keV enerjide alınan DEI görüntüleri



Şekil 4.21. Soğurma görüntüsü



Şekil 4.22. Kırılma görüntüsü

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, DEI tekniği ile lusit-kağıt örneğine ait deneysel veriler kullanılarak incelenen örneğin analizör kristalin 24 değişik konumunda görüntüleri alınmış, bu görüntülerden yararlanılarak 24 görüntünün her bir piksel değeriyle oluşturulan şiddet (I)-açı (θ) grafiklerinin önerilen bir matematiksel modele uygunluğu test edilmiştir. Önerilen analitik ifade deneysel verilere büyük bir uygunluk göstermiştir. Bu çalışmayı önemli kılan, şu ana kadar ilk defa yeni bir görüntü olan üs veya güç görüntüsünü ortaya koymasıdır. Üs veya güç ile kastedilen *n* 'nci mertebe görüntüsü olup bu görüntü saçılma ve soğurmaya ait bilgiler içermektedir. Şu ana kadar örneğin olduğu ve olmadığı durumlarda elde edilen kristal yansıtma eğrileri; Gauss, Lorentz veya Pearson VII türü fonksiyonlarıyla modellenmiştir. Bu tez çalışması yukarıda belirtilen dağılım fonksiyonlarına ek olarak yeni bir model ortaya koymuştur. Modele uygunluğun test edilmesinden sonra soğurma, kırılma, saçılma ve varyans görüntüleri moment teorisine göre bulunmuştur.

Bu görüntüler, değişik kontrast kaynaklarının birbirinden ayrılması sağlanarak elde edilmiştir. Diğer bir deyişle x-ışınlarının bir maddeyle etkileşiminde temel olan soğurma, kırılma ve saçılma gibi fiziksel olaylar kontrastı oluşturmuş ve bunlar görüntü olarak sunulmuştur. Bu görüntüler klasik olarak yaygın şekilde kullanılan radyografi türü görüntülerle karşılaştırıldığında çok daha fazla bilgi içermektedir. Özellikle medikal alanda radyografik görüntülerde olmayan detayları verebilme ihtimalini ortaya koymaktadır. Buna en uygun örnek olarak kanserli dokular verilebilir. Bu dokular soğurma yanında x-ışınlarını saçma özelliğine de sahiptir. Bunun temel nedeni kanserli dokularda kalsifikasyonların daha fazla olmasıdır. Bu kalsifikasyonlar saçıcı özelliğe sahip olduğundan, radyografik görüntülerde bunları ayırt etmek neredeyse mümkün değildir. Önerdiğimiz model değişik kontrast kaynaklarını ayırt ettiğinden erken teşhis imkanı verebilir. Örnek olarak verdiğimiz bu görüntüler sadece medikal alanda değil güvenlik amaçlı kullanılan hava alanı gibi yerlerde ve malzeme biliminde de kullanılabilir.

Bu çalışma modelleme amaçlı kullanılan lusit-kağıt örnek için yapılmıştır. Önermiş olduğumuz matematiksel modelin uygulama alanının genişliğini görmek için biyolojik örneklerle uygulanması ilerisi için yapılması planlanan bir çalışmadır.

Şüphesiz daha farklı analitik ifadeler ve algoritmalar DEI metodunu geliştirecektir. Görüntü kalitesinin değişimini görmek ve incelemek için değişik kristal düzlemler denenebilir. Farklı düzlemlerden elde edilen yansımaların da FWHM değerleri farklı olacağından daha yüksek kontrast elde etmek mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

- ANDO, M., BANDO, H., ENDO, T., ICHIARA, S., HASHIMOTO, E., HYODO, K., KUNISADA, T., LI, G., MAKSIMENKO, A., MORI, K., SHIMAO, D., SUGIYAMA, H., YUASA, T., and UENO, E., 2008. Refraction-Based 2D, 2.5D and 3D Medical Imaging: Stepping Forward to A Clinical Trial. *European Journal of Radiology*, 68 (3): 32-36.
- BRIEDIS, D., SIU, K.K.W., PAGANIN, D.M., PAVLOV, K.M., and LEWIS, R.A., 2005. Analyser-Based Mammography Using Single Image Reconstruction. *Phys. Med. Biol.*, 50: 2599-3611.
- CHAPMAN, D., THOMLINSON, W., JOHNSTON, R. E., WASHBURN, D., PISANO, E., GMUR, N., ZHONG, Z., MENK, R., ARFELLI, F., and SAYERS, D., 1997. Diffraction Enhanced X-Ray Imaging. *Phys. Med. Biol.*, 42: 2015-2025.
- CONNOR, D.M., SAYERS, D., SUMNER, D.R., and ZHONG, Z., 2005. Identification of Fatigue Damage in Cortical Bone by Diffraction Enhanced Imaging. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 548: 234-239.
- DILMANIAN, F.A., ZHONG, Z., REN, B., WU, X.Y., CHAPMAN, D., ORION, I., and THOMLINSON, W.C., 2000. Computed Tomography of X-Ray Index of Refraction Using The Diffraction Enhanced Imaging Method. *Phys. Med. Biol.*, 45: 933-946.
- FIEDLER, S., BRAVIN, A., KEYRILÄINEN, J., FERNÁNDEZ, M., SUORTTI, P., THOMLINSON, W., TENHUNEN, M., VIRKKUNEN P., and KARJALAINEN-LINDSBERG, M.-L., 2004. Imaging Lobular Breast Carcinoma: Comparison of Synchrotron Radiation DEI-CT Technique with Clinical CT. *Mammography and Histology, Phys. Med. Biol.*, 49 (2): 175-188.
- HASNAH, M., ZHONG, Z., OLTULU, O ., PISANO, E., JOHNSTON, R ., SAYERS, D., THOMLINSON, W., and CHAPMAN, D., 2002. Diffraction Enhanced Imaging Contrast Mechanisms in Breast Cancer Specimens. *Med. Phys.*, 29: 2216-2221.
- HASNAH, M.O., ZHONG, Z., OLTULU, O., and CHAPMAN, D., 2004. Mass Density Images from The Diffraction Enhanced Imaging Technique. *Med. Phys.*, 32: 549-552.
- HUANG, Z., KANG, K., and LI, Z., 2006. Projection Correction for The Pixel-by-Pixel Basis in Diffraction Enhanced Imaging. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 39 (14): 2925-2931.
- HUANG, Z., KANG, K., ZHU, P., HUANG, W., YUAN, Q., and WANG, J., 2007. Strategy of Extraction Methods and Reconstruction Algorithms in Computed Tomography of Diffraction Enhanced Imaging. *Phys. Med. Biol.*, 52 (1): 1-12.
- KISS, M., SAYERS, D., and ZHONG, Z., 2003. Measurement of Image Contrast Using Diffraction Enhanced Imaging. *Phys. Med. Biol.*, 48: 325-340.
- KITCHEN, M.J., PAVLOV, K.M., SIU, K.K.W., MENK, R.H., TROMBA, G., and LEWIS, R.A., 2007. Analyser-Based Phase Contrast Image

- Reconstruction Using Geometrical Optics. *Phys. Med. Biol.*, 52 (14): 4171-4187.
- LI, J., WILLIAMS, J.M., ZHONG, Z., KUETTNER, K.E., AURICH, M., MOLLENHAUER, J., and MUEHLEMAN, C., 2005. Reliability Of Diffraction Enhanced Imaging for Assesment of Cartilage Lessions. *Ex Vivo*, 13: 187-197.
- MOLLENHAUER, J., AURICH, M., ZHONG, Z., MUEHLEMAN, C., COLE, A., HASNAH, M., OLTULU, O., KUETTNER, K., MARGULIS, A., and CAHPMAN, L., 2002. Diffraction Enhanced X-ray Imaging of Articular Cartilage. *Osteoarthr. Cartilage*, 10: 168-171.
- OLTULU, O., ZHONG, Z., HASNAH, M., WERNICK, M.N., and CHAPMAN, D., 2003. Extraction of Extinction, Refraction and Absorption Properties in Diffraction Enhanced Imaging. *J.Phys. D: Appl. Phys.*, 36: 2152-2156.
- PAGOT, E., CLOETENS, P., FIEDLER, S., BRAVIN, A., COAN, P., BARUCHEL, J., HARTWIG, J., and THOMLINSON, W., 2003. A Method to Extract Quantitative Information in Analyser-Based X-Ray Phase Contrast Imaging. *Applied Physics Letters*, 82: 3421-3423.
- RIGON, L., BESCH, H.J., ARFELLI, F., MENK R.H., HEITNER, G., and BESCH, H.P., 2003. A New Algortithm Capable of Investigating Sub-Pixel Structures. *J.Phys. D: Appl. Phys.*, 36: 107-112.
- RIGON, L., ASTOLFO, A., ARFELLI, F., and MENK, R.-H., 2008. Generalized Diffraction Enhanced Imaging: Application to Tomografy. *European Journal of Radiology*, 68 (3): 3-7.
- SUN, Y., ZHU, P., YU, J., and CHEN, X., 2007. Computerized Tomography Based on DEI Refraction Information. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 31: 383-389.
- WAGNER, A., SACHSE, A., KELLER, M., AURICH, M., WETZEL, W.D., HORTSCHANSKY, P., SCHMUCK, K., LOHMANN, M., REIME, B., METGE, J., ARFELLI, F., MENK, R., RIGON, L., MUEHLEMAN, C., BRAVIN, A., COAN, P., and MOLLENHAUER, J., 2006. Qualitative Evaluation of Titanium Implant Integration into Bone by Diffraction Enhanced Imaging. *Phys. Med. Biol.* 51: 1313-1324.
- WANG, J., ZHU, P., YUAN, Q., HUANG, W., SHU, H., CHEN, B., HU, T., and WU, Z., 2006. Reconstruction of The Refractive Index Gradient by X-Ray Diffraction Enhanced Computed Tomography. *Phys. Med. Biol.*, 51 (14): 3391-3396.
- WANG, M., ZHU, P.P., ZHANG, K., HU, X. F., HUANG, W. X., CEN, Y. W., YUAN, Q. X., YU, X. L., and WANG, J. Y., 2007. A New Method to Extract Angle of Refraction in Diffraction Enhanced Imaging Computed Tomography. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 40: 6917-6921.
- WANG, M., YU-WAN, C., ZHU P., HU, X., and YU X., 2008. Algorithm Study on Reconstruction of Refractive Angles in Fan Beam Diffraction Enhanced Computed Tomography. *Chinese Phys. Lett.*, 25 (3): 1026-1029.
- ZHU, P., YUAN, Q., HUANG, W., WANG, J., SHU, H., CHEN, B., LIU, Y., LI, E., and WU, Z., 2006. Diffraction Enhanced Imaging: A Simple Model. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 39: 4142-4147.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Şanlıurfa'da doğdu. İlköğretimini Şanlıurfa'nın Suruç ilçesinde, ortaöğretimini Şanlıurfa merkezde tamamladı. 2001 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünü kazanarak 2006 yılında lisans eğitimini tamamladı. Şubat 2007'de Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda halen devam etmekte olduğu yüksek lisans yapma hakkını kazandı.

ÖZET

Medikal ve güvenlik alanlarında kullanılan görüntüleme yöntemleri günümüzde yaygınlığı giderek artmaktadır. Bu sayede görüntüleme yöntemleri bizlere gözle görülemeyecek nesnelere görme olanağı sağlayarak gerek güvenlik gerekse tıpta hastalıkların belirlenmesinde önemli rol almaktadır. Bu görüntüleme yöntemlerinden bir tanesi de (Diffraction Enhanced Imaging-DEI) Difraksiyon Arttırımlı Görüntüleme Tekniği 'dir. Çok yeni bir teknik olmasına karşın verdiği bilgiler ve detaylar ölçüsünde diğer tekniklere göre daha belirgindir. DEI tekniği hem deneysel hem de teorik olarak gelişime açık bir yöntemdir.

Bu çalışmada, sinkratron tesisinde üretilen x-ışınları DEI deney düzeneğinde incelenen nesne üzerine gönderilerek nesneye ait şiddet verileri kullanılmıştır. Deney basitçe, cismi geçen x-ışınlarının mükemmel kristal tarafından kırınımına uğradıktan sonra dedektöre ulaşmasıyla gerçekleştirilir. Elde edilen veriler ışığında deneyde incelenen cismin konumunun tam olarak istenilen yerde olmayışından dolayı yansıtma eğrilerine bakılarak gözlenen şiddet değerleri kaymış olabilir. Bu yüzden işleme başlamadan önce veriler için yansıtma eğrilerindeki en büyük şiddet değerleri Bragg açısına karşılık gelecek şekilde kaydırılır. Bu kaydırma işleminden sonra önerilen fonksiyon kullanılarak uygunluk 'fitting' işlemi yapılarak verilerdeki dağılımın matematiksel olarak modellenmesi incelenmiştir. Önerilen matematiksel modelle, elde olan verilerin bu modele uyduğu gözlenmiştir.

Uygunluk işleminden sonra düşük ve yüksek açıda alınan iki görüntü kullanılarak cismin soğurma, saçılma ve kırılma özellikleri matematiksel ifadelerle gözlenmiş ve bu fiziksel unsurlar görüntü olarak sunulmuştur. Daha önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında aynı görüntülerin elde edilmesinin yanı sıra teorik bir nicelik olan önerdiğimiz fonksiyondaki mertebeye n niceliğinin de cismin farklı bölgelerinde farklı değerler alarak şiddet dağılımındaki etkisi incelenmiştir ve *güç görüntüsü* olarak sunulmuştur.

SUMMARY

Imaging methods have attracted considerable attention due to their wide applications in medical and security systems and because they enable us to visualise the objects that cannot be seen by naked eye and play important role on determination of diseases in medical sciences. One of these methods is known as Diffraction Enhanced Imaging (DEI). Although this is a recently introduced method, it is better than the other methods because it gives us fairly well detailed information. DEI method is open for improvements both in experimental and theoretical research fields.

In this study, X-rays produced in synchrotron facility were sent onto the object under examination on DEI experiment setup and the obtained intensity data of the object were used. Simply the experiment is performed as follows: X-rays are diffracted from the perfect crystal and then reach to the detector. Because of the fact that the object may or may not be on the desired position, the intensity values obtained by using the reflection curves may be changed from their actual values. Therefore before starting the process, the maximum intensity values of the reflection curves are changed as they correspond to the Bragg angle. After this changing process, the mathematical modelling of data distribution are investigated by using the proposed function and performing the coherence fitting process. It is observed that the results are consistent with proposed mathematical model.

After the coherence process, the absorption, scattering and refraction properties of the object has been observed by mathematical expressions by using two images that were obtained under low and high angles and these physical properties were represented as images. The results obtained in this study are in good agreement with those of the previous works and the effect of the theoretical quantity n which is the order of the proposed function on the intensity distribution was investigated and it was presented as *power image*.