

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI



MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE KATILARDA FOTON
ETKİLEŞİMLERİNİN MODELLENMESİ

FATMA AHAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Aysun BÖKE (Tez Danışmanı)
Dr.Öğretim Üyesi Gülay İNLEK
Dr.Öğretim Üyesi Cengiz AKAY

BALIKESİR, HAZİRAN- 2022

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Monte Carlo Yöntemi ile Katılarda Foton Etkileşimlerinin Modellenmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Fatma AHAT

**Bu tez alışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Birimi tarafından
BAP 2019/015 nolu proje ile desteklenmiştir.**

ÖZET

**MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE KATILARDA FOTON ETKİLEŞİMİNİN
MODELLENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
FATMA AHAT
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. AYSUN BÖKE)**

BALIKESİR, HAZİRAN- 2022

Katı maddelerdeki foton etkileşimlerinin belirlenmesi için teorik hesaplamalar yapılması planlanmıştır. Öncelikle fotoelektrik soğurma, koherent (Rayleigh) ve inkoherent (Compton) saçılmayı içine alan foton etkileşim tesir kesitleri hesaplanmıştır. Moleküler fotoelektrik soğurma tesir kesiti değerleri atomik tesir kesiti verilerinden elde edilmiştir. Moleküler koherent ve inkoherent saçılma tesir kesitleri, sırasıyla modifiye olmuş relativistik form faktör ve incoherent saçılma fonksiyonu yaklaşımları kullanılarak hesaplanmıştır. Moleküler girişim etkilerini hesaba katarak elde edilen moleküler form faktörler ve inkoherent saçılma fonksiyonları ayrıca hesaplanmıştır. Foton etkileşim katsayılarının Monte Carlo simülasyon programının içerisine katılması suretiyle katı maddeye ait saçılma dağılımı elde edilmiştir. Sonuçlar literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Monte Carlo, katı madde, foton etkileşimi

Bilim Kod / Kodları : 20216

Sayfa Sayısı : 42

ABSTRACT

MODELLING OF PHOTON INTERACTIONS IN SOLIDS BY MONTE CARLO METHOD

MSC THESIS

FATMA AHAT

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

PHYSICS

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. AYSUN BÖKE)

BALIKESİR, JUNE - 2022

Theoretical calculations were planned to determine the photon interactions in solid materials. Firstly, photon interaction cross sections including photoelectric absorption, coherent (Rayleigh), and incoherent (Compton) scattering were calculated. The molecular photoelectric absorption cross section values were obtained from the atomic cross section data. Molecular coherent and incoherent scattering cross sections were calculated using the modified relativistic form factor and incoherent scattering function approaches, respectively. The molecular form factors obtained by taking into account the molecular interference effects and incoherent scattering functions were calculated separately. The scattering distribution of solid matter was obtained by incorporating the photon interaction coefficients into the Monte Carlo simulation program. The results were compared with the data in the literature.

KEYWORDS: Monte Carlo, solid material, photon interaction

Science Code / Codes: 20216

Page Number: 42

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ.....	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. YÖNTEM.....	5
3.1 Doku Eşdeğeri Moleküler Yapılara Ait Moleküler Girişim Etkilerinin Dahil Edildiği Moleküler Form Faktör Tablolarının Oluşturulması	5
3.2 Oluşturulan Moleküler Form Faktör Tabloları Kullanılarak, Düşük Foton Enerji Değerleri İçin Moleküler Koherent (Rayleigh) Saçılma Tesir Kesitlerinin Hesaplanması	6
3.3 İnkoherent (Compton) Saçılma.....	7
3.4 Fotoelektrik Soğurma.....	8
3.5 Lineer Zayıflama.....	8
3.6 Monte Carlo Metodu.....	9
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	10
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	32
6. KAYNAKLAR	34
EK A: Meme eşdeğeri PMMA 'a ait [1] çalışmasının elementel bolluk değerleri verilmektedir. N_i , PMMA 'a ait i . element, w_i , i . elementin kütle kesri ve M_i , i . elementin kütlesi. (Burada insan meme eşdeğer materyali PMMA için moleküler yoğunluk 1.18 g/cm^3 olarak alınmaktadır.).....	41
EK B: Meme eşdeğeri PMMA 'a ait [2] çalışmasının elementel bolluk değerleri verilmektedir. N_i , PMMA'a ait i . element, w_i , i . elementin kütle kesri ve M_i , i . elementin kütlesi. (Burada insan meme eşdeğer materyali PMMA için moleküler yoğunluk 1.185 g/cm^3 olarak alınmaktadır.).....	41
ÖZGEÇMİŞ	42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 4.1:** Meme dokusu eşdeğeri madde olan PMMA'nın teorik olarak hesapladığımız form faktör sonuçlarının literatürdeki veriler ile karşılaştırılması..... 13
- Şekil 4.2:** Meme doku eşdeğeri PMMA'ya ait moleküler lineer diferansiyel koherent saçılma katsayılarının literatürdeki deneysel verileri ile karşılaştırılması..... 13

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1: Meme eşdeğer materyali PMMA molekülüne ait moleküler form faktör $Fm(x)$, [1] ve [2] verileri kullanılarak sütun 2 ve 3'te sırasıyla sunulmuştur.	14
Tablo 4.2: Moleküler inkoherent saçılma fonksiyonu $Sm(x)$, [1] ve [2] verileri ile elde edilmiştir.....	18
Tablo 4.3: Moleküler koherent (Rayleigh), inkoherent (Compton) saçılma ve fotoelektrik soğurma katsayılarının [1] elementel bilgisi kullanılarak elde edilen sonuçları sütun 2, 4 ve 5'te sırasıyla sunulmaktadır. Girişim etkileri düşünülerek hesaplanan moleküler koherent saçılma katsayıları da sütun 3'de ayrıca listelenmiştir.	20
Tablo 4.4: Moleküler koherent (Rayleigh), inkoherent (Compton) saçılma ve fotoelektrik soğurma katsayılarının [2] elementel bilgisi kullanılarak elde edilen sonuçları sütun 2, 4 ve 5'te sırasıyla sunulmaktadır. Girişim etkileri düşünülerek hesaplanan moleküler koherent saçılma katsayıları da sütun 3'de ayrıca listelenmiştir	23
Tablo 4.5: Meme eşdeğer materyali PMMA molekülüne ait [1] ve [2] elementel veriler ile elde edilen lineer zayıflama katsayıları [1/cm], sütun 2 , 3'te ve bu bulguların literatür ile karşılaştırılması sütun 4'te sırasıyla verilmiştir.....	26

SEMBOL LİSTESİ

PMMA	: Polimetil Metakrilat
IAM	: Bağımsız atomik model (Independent Atomic Model)
MRFF	: Modifiye Relativistik Form Faktör
KN	: Klein-Nishina
θ	: Açık (0- π)
Ω	: Toplam katı açı
μ	: Lineer zayıflama katsayısı
$d\sigma_{KN}$: Klein-Nishina diferansiyel katsayı
$d\sigma^T$: Diferansiyel Thomson katsayısı
$F_i(x, Z_i)$: <i>i</i> . elementin atomik form faktörü
$F_m(x)$: Moleküler form faktör
<i>i</i>	: Meydana gelen etkileşimlerin sayısı
M_i	: <i>i</i> . elementin atomik kütlesi
N_A	: Avogadro sayısı
ρ	: Yoğunluk
σ	: Tesir kesiti
σ_i	: <i>i</i> . elementin atomik tesir kesiti
σ_{inc}	: İnkoherent saçılma tesir kesiti
σ_{ph}	: Fotoelektrik tesir kesiti

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmalarımı yönlendiren, bana her aşamada rehber olan, engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan, bilimsel yaklaşımı kendisinden öğrendiğim ve kendisinin yüksek lisans öğrencisi olduğum için kendimi çok şanslı hissettiğim sayın danışman hocam Doç. Dr. Aysun BÖKE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez aşamasında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Senem KAYRAL'a teşekkür ederim.

Her zaman beni destekleyen aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Balıkesir, 2022

FATMA AHAT

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, katı madde olarak meme dokusuna eşdeğer bir madde olan Polimetil Metakrilat (PMMA) (Lucite veya Plexiglas) ele alınmıştır. Doku eşdeğeri moleküler yapı olan PMMA, medikal uygulamalarda geniş bir yere sahiptir. Amorf bir madde olup en biyouyumlu polimerdir. Bunun için öncelikle [1] ve [2]'den elde edilmiş olan elementel veya kimyasal kompozisyonlar denenmiştir. Hesaplanan koherent saçılma katsayılarının deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel sonuçlarla karşılaştırmalarda uygun sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada yapılan hesaplamalar ile diğer araştırmacıların hesaplamaları arasındaki farklılıklar şunlardır:

1. Moleküler girişim etkilerinin hesaplamalara dahil edilmesidir. Bunun için, teorik araştırmacıların sıklıkla kullandığı, karışım ve bileşiklere ait tesir kesiti ve zayıflama katsayılarını üreten XCOM [3] veya herhangi bir başka hazır bilgisayar programı kullanılmamıştır. XCOM [3] dahil bazı hazır programlar, sadece atom içi girişim etkilerini içermekte olup molekül içi ve moleküller arası girişim etkilerini ihmal etmektedir.

2. Moleküle ait koherent saçılma tesir kesiti hesaplamalarında önemli bir çarpan olarak kullanılan moleküler form faktör değerleri, modifiye olmuş relativistik atomik form faktör (MRFF) teorisinden elde edilmiştir. Bu teorisinin diğer teorilerden üstünlüğü bazı araştırmacılar [4-18] tarafından rapor edilmiştir. MRFF teorisi kullanılarak hesaplanan koherent saçılma katsayılarının deneysel verilerle daha uyumlu olduğu araştırmacılar [19-24] tarafından ayrıca rapor edilmiştir. Atomik form faktör değerleri (form faktörler bundan sonra FF olarak gösterilecektir) $Z=1$ 'den $Z=100$ 'e kadar olan tüm elementler için tablolaştırılmıştır. Nonrelativistik atomik FF, [25] tarafından ve relativistik atomik FF verileri [26] tarafından tablolaştırılmıştır. Modifiye edilen relativistik FF ise, elektronların bağlanma enerjilerini hesaba katan deneysel bir faktör ile düzeltilmiş olup, [16] tarafından tablolar halinde yayınlanmıştır.

3. Koherent saçılma tesir kesitlerinin hesaplamalarında nümerik (sayısal) integrasyon yöntemi kullanılmıştır. Küçük açı ve düşük enerji bölgelerinde diferansiyel tesir kesitlerinin ve form faktörlerinin çok şiddetli değişmesi nedeniyle nümerik integrasyonda logaritmik bölge seçimi yapılmıştır. İntegrasyon aralığı, [19] tarafından modifiye edilen formül ile logaritmik olarak istenilen sayıda aralıklara bölünmesi suretiyle integrasyon ağ noktaları

artırılarak koherent saçılma için çok önemli olan küçük açıların hesaba katılması sağlanmıştır. Literatürde tabloları çok kez kullanılan araştırmacılardan olan [25, 26] 'nın çalışmalarında integrasyon aralığı, $1-\cos\theta=10^{-12}$ 'den $1-\cos\theta=2.0$ 'ye kadar alınırken bizim bu çalışmada, $1-\cos\theta=10^{-16}$ 'dan $1-\cos\theta=2.0$ 'ye kadar alınmıştır. Bu integrasyon aralığına karşılık gelen açı aralığı ise, $\theta=0.0000008538^\circ$ 'den 180° 'e kadar olan açı değerlerini kapsamaktadır.

Bu çalışma için planlanan meme dokusu eşdeğeri molekülü PMMA'ya ait en muhtemel elementel kompozisyonlar kullanılarak, x-ışınlarının gerçekleştirebileceği olası foton soğurma ve saçılma tesir kesit değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu tesir kesit değerleri, foton transferinin Monte Carlo simülasyonunu oluşturan bilgisayar programının en önemli datalarıdır. Doku eşdeğeri moleküllerin fotonla etkileşimlerinin modellenmesi suretiyle dokuların foton zayıflama karakteristikleri belirlenebilecektir. Zayıflama özelliklerinin doğru bilinmesi ile sağlıklı doku ile tümörlü doku arasındaki farkı veren görüntünün net biçimde ortaya çıkarılması sağlanmış olup görüntü kalitesinin artırılması ile hastaya verilecek dozun miktarı da daha doğru ayarlanmış olacaktır. Bu çalışmanın sonuçları, modelleme yapan diğer araştırmacıların hesaplamalarında kullanılabilmesi gibi günümüzde yapılan veya yapılacak olan deneysel çalışmalara da ışık tutacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Moleküler maddeler için foton etkileşim tesir kesitleri, medikal fizik alanında gereklidir [27-29]. Saçılan fotonun doğru bilgisi görüntülemenin tam olarak anlaşılmasını sağlar. Görüntüleme sistemi, moleküler yapılardan koherent olarak saçılan fotonların dağılım bilgisine dayanır [30]. Koherent ve inkoherent saçılım bilgisi, radyolojik görüntüyü elde etmek için önemlidir. Görüntüleme tekniği, moleküler maddeler arasındaki etkileşim katsayılarının değişkenliği ile yakından ilgilidir. Bazı araştırmacılar [31, 32] tarafından da belirtildiği gibi “etkileşim katsayıları endüstriyel, biyolojik, ziraat alanında ve medikal çalışmalarda büyük etkiye sahiptir. Etkileşim katsayılarının doğru değerleri, teorinin geçerli olduğu bölgeleri oluşturmak için gereklidir”. Etkileşim katsayıları, literatürde [3], XCOM adı ile bilinen bilgisayar programı yardımı ile geniş biçimde kullanılarak elde edilmektedir. XCOM programının eksik tarafı, atom içi girişim etkileri düşünülmüş olup atomlararası saçılımdan kaynaklanan girişim etkileri hesaba katılmamaktadır. Bu durum, araştırmacılar [33, 34] tarafından da belirtildiği gibi, modellemenin doğru biçimde yapılamadığını göstermiş olup programın modifiye edilmesini gerektirmektedir.

Düşük x-ışını enerji aralığında, her bir madde için eşi benzeri olmayan bir saçılma imzası veren, başlıca küçük açılarda elastik saçılmış fotonların koherentinden dolayı girişim etkileri vardır [35]. Koherent saçılma için modellemelerde girişim etkileri ihmal edildiği zaman hesaplamalarda önemli bir biçimde hata yapılmış olur [36]. Girişim etkileri kristallografinin alanında iyi bilinmektedir. Şekilsiz bir katıda, moleküllerin düzenlenmesi tamamen özelliksiz değildir. Hala zayıf bir düzen vardır. Bu yüzden, şekilsiz katılardan koherent x-ışını saçılması için girişim ayrıca mümkündür [36, 37]. Modellemelerde girişim etkileri ihmal edildiği zaman hesaplamalarda önemli bir biçimde hata edilmiş olur [36]. Bazı araştırmacılar [38, 39, 40, 1, 41, 42, 43] moleküler girişim etkilerinin dahil edildiği moleküler form faktörlerini temin etmek için çaba sarf etmişlerdir. Bu girişim etkileri sebebiyle ele alınan her bir madde için saçılma imzası diyebileceğimiz nitelikte karakteristik bir saçılma mevcuttur. Moleküllerin ve kompleks yapıların koherent saçılmasının modellenmesinde, moleküler girişim etkilerini hesaba katmak için son zamanlarda bazı araştırmacılar simülasyonlarını modifiye etmişlerdir [43, 37, 34, 33, 44].

Fotonların elastik saçılması kullanılarak moleküler yapıların karakterizasyonu son zamanlarda çalışılmaktadır [45-51]. Fotonların elastik saçılması, tıpta doku analizinin birçok

alanında bilgi sağlamakta ve kırınım bilgisi oluşturma kabiliyetlerinden dolayı tıbbi fiziğe ilgiyi artırmaktadır [52, 53]. Koherent (Rayleigh) sağılma, dūřuk enerji bōlgesi için elastik sağılan fotonların tek sağılma faktōrūdūr. Farklı molekōl ve kompleks yapıların yapısal ōzellikleri arasındaki ōnemli değişimin belirlenmesi koherent sağılımın kullanılması ile mōmkōndūr. Gōrüntōleme yōntemlerinin çalışmalarında koherent sağılma ōnemli rol oynar. Koherent sağılma gōrüntōlemesi, malzeme kompozisyonunu doğrudan tanımlamanın ōncelik haline geldiği endōstriyel ve gōvenlik uygulamalarında da artan kullanım bulmaktadır [37].

3. YÖNTEM

Fotonun PMMA içerisindeki davranışlarının belirlenmesi için etkileşim tesir kesitlerinin bilinmesi gerekmektedir. Foton etkileşimi, çalıştığımız düşük enerji aralığından (1-150 KeV) dolayı soğurulma ve saçılma şeklinde ele alınmıştır. Bu düşük enerji aralığında meydana gelen etkileşimler: Koherent (Rayleigh), inkohherent (Compton) saçılma ve fotoelektrik soğurulmadır. Bu çalışmada yapılması düşünülen hesaplamaların tümünde Turbo Basic Programlama dili kullanılmıştır. Hesaplamalar düşük foton enerji değerlerini kapsayan nümerik (sayısal) integrasyon yöntemi kullanılarak hazırladığımız bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar aşağıdaki ana başlıklar altında toplanabilir:

3.1 Doku Eşdeğeri Moleküler Yapılara Ait Moleküler Girişim Etkilerinin Dahil Edildiği Moleküler Form Faktör Tablolarının Oluşturulması

Çoğu kompleks maddelerin moleküler formülünü bilmeksizin moleküler form faktörünü hesaplamak mümkündür. Bunun için kompleks maddenin elementel bilgisi yeterlidir. Bu tür maddelerin moleküler form faktörleri, literatürdeki bazı araştırmacılar [2, 3, 54, 55] tarafından rapor edilen bağımsız atomik model (Independent Atomic Model (IAM)) denilen toplam kuralı uygulanarak hesaplanabilmektedir. Doku eşdeğeri moleküler madde olan PMMA' ya ait moleküler form faktör tablosunun oluşturulması için bu kural (3.1) eşitliğindeki gibi formülüne edilebilir.

$$\frac{F_m^2(x)}{W} = \sum_i \frac{w_i}{M_i} F_i^2(x, Z_i) \quad (3.1)$$

Burada W moleküler ağırlıktır. M_i , w_i ve Z_i sırası ile element i 'nin kütlesi, kütle kesri ve sayısıdır. Element i 'ye ait atomik form faktörü $F_i(x, Z_i)$, "Modifiye olmuş relativistik atomik form faktör teorisi" kullanılarak [16] tarafından hesaplanmış ve tablolaştırılmış olan atomik form faktör verilerinden temin edilmiştir. Momentum transfer değişkeni olarak gösterilen x 'i daha açık biçimde,

$$x = \sin(\theta/2) / \lambda(\text{Å}) = [(1 - \cos\theta) / 2]^{1/2} / \lambda(\text{Å}) \quad (3.2)$$

olarak formülüne edilebiliriz. $F_m(x)$ ise, x 'in değerlerine karşılık bizim hesapladığımız moleküler form faktör değerleridir.

Momentum transfer değişkeninin küçük değerlerinde, denklem (3.1) ile verilen toplam kuralı uygulanamaz. Sebebi ise moleküler girişim etkilerinin yüksek olmasıdır. Bu yüzden girişim etkilerini dahil etmek için $\sim x < 10 \text{ nm}^{-1}$ değerlerini içeren FF değerleri (araştırmacıların deneysel çalışmalarına göre değişkenlik göstermekle birlikte, genellikle $x \leq 8 \text{ nm}^{-1}$, bazen $x \leq 5 \text{ nm}^{-1}$ bazen de $x \leq 3 \text{ nm}^{-1}$ olabilmektedir) deneysel verilerden alınmalıdır. $x \geq 10 \text{ nm}^{-1}$ değerinden daha büyük değerler için deneysel veriler yoktur. Momentum transfer değişkeninin büyük değerlerinde ise, bazı araştırmacılar [2, 3, 54, 55] tarafından rapor edildiği gibi bağımsız atomik model olan toplam kuralını veren (3.1) denklemini uygulanır. Denklem (3.1), deneysel verilerin olmadığı momentum transfer değişkeninin büyük değerleri için moleküler FF değerlerini hesaplar. Bu şekilde x 'in bütün mümkün değerleri olan $0 \leq x \leq 10^3 \text{ nm}^{-1}$ aralığı için moleküler FF değerlerini veren tablo oluşturulmuş olmaktadır. Deneysel verilerle teorik verilerin uyumlu olması ve bir bütünlük sağlaması gerekmektedir. Modifiye olmuş Relativistik atomik FF teorisi kullanılması ile uyumluluğun sağlandığı araştırmacılar [6-18] tarafından gösterilmiştir. Bu çalışmamızda, meme dokusu için $x \leq 8 \text{ nm}^{-1}$ değerlerini içeren deneysel FF değerleri ile $x > 8 \text{ nm}^{-1}$ değerlerini içeren teorik moleküler FF değerlerinin uyumluluğu şekil 3.1 'de gösterilmiştir.

3.2 Oluşturulan Moleküler Form Faktör Tabloları Kullanılarak, Düşük Foton Enerji Değerleri İçin Moleküler Koherent (Rayleigh) Saçılma Tesir Kesitlerinin Hesaplanması

Moleküler bir madde olan PMMA ya ait koherent saçılma tesir kesiti hesaplamalarında önemli bir çarpan olan modifiye olmuş relativistik atomik form faktör (MRFF) teorisi kullanılmıştır. Moleküler form faktör tablosunu oluştururken, Atom içi elektronlar arası girişim etkilerinin haricinde, molekül içi atomlar arası ve moleküller arası girişim etkileri hesaba katılmıştır. Moleküler girişim etkileri için literatürdeki deneysel veriler yani $x \leq 8 \text{ nm}^{-1}$ değerlerini içeren deneysel FF değerleri kullanılmıştır.

Toplam moleküler koherent saçılma katsayısını, denklem (3.3) eşitliğindeki gibi moleküler FF olan $F_m(x)$ cinsinden ifade edebiliriz.

$$\sigma_{mol} = \int_{\theta=0}^{\theta=\pi} d\sigma^T(\theta) [F_m(x)]^2 \quad (3.3)$$

Burada $d\sigma^T$, serbest elektronlardan x-ışınlarının saçılma teorisi [66] tarafından çalışılmış ve Thomson saçılması olarak isimlendirilmiştir. Serbest elektron başına diferansiyel Thomson saçılma tesir kesiti $d\sigma^T$,

$$d\sigma^T(\theta) = \frac{r_e^2}{2} (1 + \cos^2\theta) d\Omega \quad (3.4)$$

denklemini ile ifade edilir. Burada, r_e klasik elektron yarıçapı olup $r_e = e^2/(m_0c^2)$ değerine eşittir. Diferansiyel katı açı olan $d\Omega$ ise, $d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$ değerine eşittir.

Moleküler diferansiyel koherent (Rayleigh) saçılma tesir kesiti, moleküler FF cinsinden denklem (3.5) ile ifade edilmektedir.

$$d\sigma_{mol}(\theta) = \frac{r_e^2}{2} (1 + \cos^2\theta) [F_m(x)]^2 2\pi \sin\theta d\theta \quad (3.5)$$

3.3 İnkohherent (Compton) Saçılma

Serbest durgun bir elektrondan bir fotonun inkohherent x-ışını saçılması [67] tarafından polarize olmamış x ışınları için diferansiyel saçılma tesir kesiti ile tarif edilmiştir. Gelen düşük enerji değerlerinde, elektronun bağlanma enerjisi, inkohherent saçılma etkileşimlerinin olma olasılığını azaltır. Bu gerçek [67] formülünde, düşük momentum transfer değerlerinde elektronun bağlanma etkisini veren inkohherent saçılma fonksiyonu (bundan sonra ISF olarak belirtilecektir) olan $S(x,Z)$ düzeltme faktörü ile çarpılması suretiyle bir modifikasyona yol açmaktadır [41, 56]. ISF 'nin hesaba katılması ile inelastik saçılma için atom başına toplam inkohherent saçılma tesir kesiti aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\sigma_{inc} = \int_{\theta=0}^{\theta=\pi} d\sigma_{KN}(\theta) S(x,Z) \quad (3.6)$$

Düşük momentum transfer değerlerinde, girişim etkileri ve moleküler bağlanmanın etkisi çok küçüktür. Bundan dolayı, moleküle ait inkohherent saçılma fonksiyonu, IAM tarafından tahmin edilmektedir. Moleküler $S_m(x)$, dokuların veya doku eşdeğeri maddelerin bileşim ve yoğunluklarına göre atomik ISF $S_f(x,Z)$ kullanılarak, x 'in tüm değerleri için aşağıdaki formüle göre hesaplanabilmektedir.

$$\frac{S_m(x)}{W} = \sum_i \frac{w_i}{M_i} S_i(x, Z_i) \quad (3.7)$$

Burada W moleküler ağırlıktır. M_i , w_i ve Z_i sırası ile element i 'nin kütlesi, kütle kesri ve sayısıdır. $S_i(x, Z_i)$, i . elemente ait atomik inkoherent saçılma fonksiyonu olup bu veriler [25]'in tablolarından elde edilmiştir. Moleküler $S_m(x)$ fonksiyonu elde edilmesi ile doku eşdeğeri moleküller için inkoherent saçılma tesir kesitini elde etmek mümkün olmaktadır.

3.4 Fotoelektrik Soğurma

Moleküler fotoelektrik soğurma katsayısı $\sigma_{ph}(cm^{-1})$, aşağıdaki formüle [57] göre hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_{ph} = \rho N_A \sum_i \frac{w_i}{M_i} \sigma_i \quad (3.8)$$

Burada, N_A Avogadro sayısı, ρ maddenin yoğunluğu, M_i , w_i ve σ_i sırasıyla i . elementin kütlesi, kütle kesri ve elementel fotoelektrik tesir kesitidir. Moleküle ait fotoelektrik soğurma katsayı değerleri, moleküler yapıdaki maddenin yoğunluğuna ve elementel bilgisine göre denklem (3.8) kullanılarak hesaplanabilmektedir. Elementel fotoelektrik tesir kesit değerleri (σ_i) [58] 'ün teorik verilerinden elde edilmektedir.

3.5 Lineer Zayıflama Katsayısı

Düşük enerji aralığındaki x ışınlarının madde ile etkileşimlerinde üç etkileşim meydana gelmektedir: Fotoelektrik soğurma, inkoherent (Compton) ve koherent (Rayleigh) saçılma. Lineer zayıflama katsayısı $\mu (cm^{-1})$, foton etkileşimlerinin her birinin katılımı ile, 0-150 keV enerji aralığında etkin olan üç etkileşimin toplamı ile aşağıdaki (3.9) denklemi ile edilmektedir.

$$\mu = \mu_{ph} + \mu_C + \mu_R \quad (3.9)$$

Lineer zayıflama katsayısı $\mu (cm^{-1})$, molekül başına foton etkileşim tesir kesiti σ (barn/molekül) ile orantılıdır. Bu ilişki [59] tarafından aşağıdaki gibi rapor edilmiştir.

$$\mu(cm^{-1}) = \sigma \left[\frac{\text{barn}}{\text{molekül}} \right] \cdot \frac{N_A \rho}{M} \cdot 10^{-24} \quad (3.10)$$

Burada, N_A Avogadro sabiti, ρ molekülün yoğunluğu, M molekülün kütlesi ve σ molekül başına foton etkileşim tesir kesitidir.

Birim katı açı başına molekülün diferansiyel lineer koherent saçılma katsayısı olan $\mu_s(x)$, aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\mu_s(x) = \frac{N_A \rho}{M} \left[\frac{d\sigma^T(\theta)}{d\Omega} F_m^2(x) \right] \quad (3.11)$$

Burada, $d\sigma^T$ diferansiyel Thomson saçılma tesir kesiti ve $F_m(x)$ moleküler form faktördür.

3.6 Monte Carlo Metodu

Bu çalışmada Monte Carlo metodu kullanılmıştır. Monte Carlo benzetişim yöntemi [20] çalışmasında ayrıntılı biçimde açıklanmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Meme eşdeğer materyali olan PMMA 'ya ait, $x \leq 8 \text{ nm}^{-1}$ için [1]'in deneysel FF verileri kullanılmıştır. Literatürde mevcut olmayan $x=9 \text{ nm}^{-1}$ ile $x=1000 \text{ nm}^{-1}$ aralığındaki FF verileri teorik olarak elde edilmiştir. FF hesaplamaları, [16]'nın relativistik modifiye olmuş atomik form faktör (RMFF) verileri ile her bir moleküle ait elementel bolluklar kullanılarak hesaplanmıştır. Elementel bolluk verileri olarak [1, 2] 'nin verilerinden yararlanılmıştır. Bu belirtilen elementel bollukların kullanılması ile moleküler FF olan $F(x)$ değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada hesaplanan moleküler FF değerleri Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1'de listelenen meme eşdeğer dokusuna ait teorik moleküler FF değerleri, denklem (3.1)'de verilen formül kullanılarak $0 \leq x \leq 1000 \text{ nm}^{-1}$ aralığında hesaplanmıştır. Teorik moleküler FF değerleri, deneysel moleküler FF değerlerini veren [1, 2, 39, 40, 42, 60, 61, 62] ile birlikte şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Teorik FF verileri deneysel verilerin olmadığı $x > 8 \text{ nm}^{-1}$ bölgesi için bir yaklaşım temin eder. Bazı araştırmacılar [38, 39, 42, 63, 64, 65] tarafından tartışıldığı gibi, x 'in büyük değerlerinde deneysel FF verileri teorik FF verileri olan IAM değerlerine yaklaşır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi teorik ve deneysel FF değerleri $x > 2,5 \text{ nm}^{-1}$ 'den sonra birbirine çok yakındır.

Düşük x değerlerinde, teorik ve deneysel FF arasındaki farklılıklar çok önemlidir. Bu farklılıklar, molekül içi ve moleküller arası girişimin etkisinden dolayıdır. Bu durum şekil 4.1'de açıkça görülmektedir. Deneysel FF, teorik tahminlerden farklılık gösterir. FF değerleri küçük x değerlerinde güçlü bir artış gösterir ki bu da bize girişim etkilerinin büyük olduğunu anlatır. Girişimin bir sonucu olarak, açısız dağılım sıfır saçılma açısı civarında pik vermez ancak belli bir açıda pik verir. Bu pik açısı, saçılan maddenin tipine, yapısına ve gelen fotonun enerji değerine bağlıdır.

Toplam inkohherent saçılma katsayılarının hesaplanabilmesi için gerekli olan inkohherent saçılma fonksiyonları, [1, 2] elementel bollukları kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 4.2 'de sunulmuştur.

Toplam moleküler koherent ve inkoherent saçılma katsayıları $E=0-150$ keV enerji aralığında, sırasıyla denklem (3.3) ve (3.6) kullanılarak nümerik integrasyonla hesaplanmıştır. Moleküler fotoelektrik soğurma katsayıları da denklem (3.8) ile atomik verilerden elde edilmiştir. Tablo 4.3 ve Tablo 4.4, meme eşdeğer materyali PMMA 'ya ait, toplam moleküler koherent ve inkoherent saçılma ve ayrıca toplam moleküler fotoelektrik soğurma katsayılarının teorik sonuçlarını vermektedir. Toplam moleküler koherent saçılma katsayıları hesaplanırken, girişim etkilerini dahil etmek amacıyla, $x \leq 8$ nm⁻¹ değerleri için deneysel FF verileri [1] hesaba dahil edilmektedir. $8 < x \leq 1000$ nm⁻¹ bölgesindeki FF verileri olarak bizim bu çalışmada hesapladığımız teorik FF verileri kullanılmıştır.

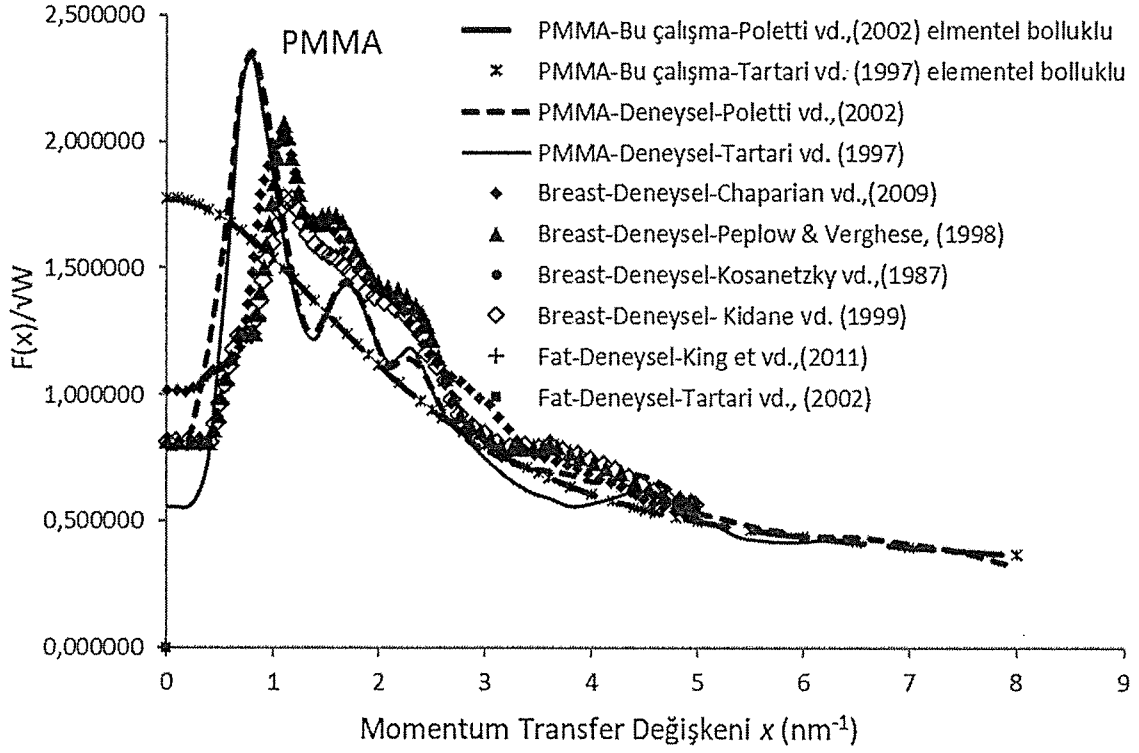
Nümerik integrasyonda, integrasyon değişkeni olarak, " $x = \sin(\theta/2)/\lambda = [(1 - \cos\theta)/2]^{1/2}/\lambda$ " değerinin bir çarpanı olan " $1 - \cos\theta$ " ele alınmıştır. Kullanılan integrasyon aralığı, $1 - \cos\theta = 10^{-16}$ ile 2.0 ($\theta = 0.0000008538^\circ$ ile 180°) 'dır. FF değerleri küçük x değerlerinde hızlı biçimde değiştiği için integrasyon ağ noktaları bu aralıkta arttırılmış olması için logaritmik eşelleme uygulanmıştır. Böylece, daha küçük saçılma açılarının hesaba katılması ile daha doğru veri elde edilmesi sağlanmıştır.

Moleküler koherent saçılma katsayıları, küçük x değerlerini kapsayan çok düşük enerjilerde moleküler girişimin etkilerine duyarlıdır. Bu durum, koherent saçılma tesir kesitlerinde önemli bir azalmaya sebep olur. Meme eşdeğer dokusu için hesaplamalarda, $\sim E < 10$ keV için integrasyon değişkeni, $x \leq 8$ nm⁻¹ değerlerini uzanır ve koherent saçılma katsayıları hesaplanırken sadece deneysel FF verileri kullanılmış olmaktadır. $\sim E > 10$ keV için ise $x > 8$ nm⁻¹'in değerlerine uzanır ve koherent saçılma katsayıları hesabında hem deneysel hem de teorik FF verileri kullanılmış olmaktadır.

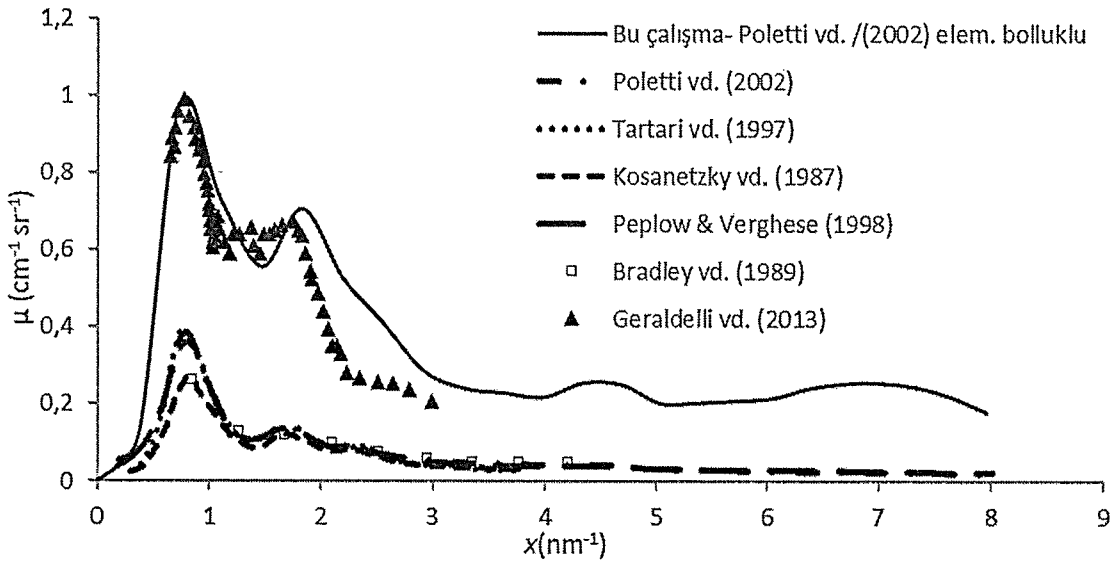
Meme eşdeğer materyali PMMA 'ya ait çalışmanın doğruluğunu test etmek amacıyla literatürdeki deneysel verilerle karşılaştırmalar yapmak gerekmektedir. Deneysel lineer diferansiyel koherent saçılma katsayısı olan μ (cm⁻¹ sr⁻¹) 'nün momentum transferi x (nm⁻¹) 'e bağlı değişimi grafiksel olarak, mamografide kullanılan enerji değeri $E = 17,44$ keV için verilmiş olduğundan, bu çalışmadaki meme eşdeğer materyaline ait teorik lineer diferansiyel koherent saçılma katsayıları da 17,44 keV enerji değerinde deneysel veriler ile [1, 2, 31, 39, 60, 77] karşılaştırmalı olarak şekil 4.2'de gösterilmiştir. Meme eşdeğer materyali PMMA için, momentum transferinin bir fonksiyonu olarak birim katı açı başına diferansiyel lineer

koherent saçılma katsayısı μ ($\text{cm}^{-1} \text{sr}^{-1}$) (x) dağılımı, $x= 0,5 \text{ nm}^{-1}$ ve $x= 2,5 \text{ nm}^{-1}$ aralığında geniş bir pik verir. Bu bölgede girişim etkileri çok önemlidir. Dokuların moleküler yapısıyla ilişkili olan bu farklılıklar meme görüntüleme için önemli etkilere sahip olabilmektedir.

Meme eşdeğer materyali PMMA molekülüne ait teorik olarak elde ettiğimiz toplam lineer zayıflama katsayıları μ (cm^{-1}) (koherent, inkoherent ve fotoelektrik etkilerin toplamı olarak) Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de listelenmiş ve literatürdeki başka araştırmacıların deneysel ve teorik zayıflama katsayı sonuçları ile birlikte karşılaştırmalı biçimde Tablo 4.5'de sunulmuştur. Sonuçlar literatürdeki verilere çok yakındır. Gerek diferansiyel Koherent saçılma katsayıları ve gerekse de toplam zayıflama katsayılarının deneysel verilerle oldukça uyumlu olması hesaplamalarımızın doğruluğunu göstermektedir. Bu hesaplamalardaki en önemli aşama koherent saçılma katsayı hesaplamalarının ne kadar önemli olduğunu bize gösterir. Koherent saçılma katsayısı hesabının en önemli aşaması da moleküle ait en muhtemel elementel içeriğinin belirlenmesidir. [1] ve [2] elementel içeriklerinin ayrı ayrı kullanımı ile hesapladığımız sonuçların literatür verileri ile uyumlu olduğu görülmüş olup, [1] çalışmasının elementel içeriğinin kullanımı ile elde edilen sonuçların literatür verilerine daha yakın olduğu görülmektedir. Elementel içeriğin haricinde diğer bir önemli kısım da girişim etkilerinin hesaplamalarımıza dahil edilmesi için kullandığımız deneysel FF [1] verilerinin kullanılmasıdır.



Şekil 4.1: Meme dokusu eşdeğeri madde olan PMMA'nın teorik olarak hesapladığımız form faktör sonuçlarının literatürdeki veriler ile karşılaştırılması



Şekil 4.2: Meme doku eşdeğeri PMMA'ya ait moleküler lineer diferansiyel koherent saçılma katsayılarının literatürdeki deneysel verileri ile karşılaştırılması.

Tablo 4.1: Meme eşdeğer materyali PMMA molekülüne ait moleküler form faktör $F_m(x)$, [1] ve [2] verileri kullanılarak sütun 2 ve 3'te sırasıyla sunulmuştur

$x(\text{Å}^{-1})$	$F_m(x)$	
	[1]	[2]
0	17.7380	17.7691
1.00 E-02	17.7103	17.7414
2.00 E-02	17.6255	17.6568
3.00 E-02	17.4881	17.5196
4.00 E-02	17.2998	17.3316
5.00 E-02	17.0635	17.0957
6.00 E-02	16.7854	16.8181
7.00 E-02	16.4700	16.5032
8.00 E-02	16.1219	16.1556
9.00 E-02	15.7493	15.7833
1.00 E-01	15.3528	15.3873
1.10 E-01	14.9423	14.9771
1.20 E-01	14.5189	14.5540
1.30 E-01	14.0910	14.1265
1.40 E-01	13.6590	13.6946
1.50 E-01	13.2280	13.2636
1.60 E-01	12.7990	12.8346
1.70 E-01	12.3778	12.4133
1.80 E-01	11.9639	11.9991
1.90 E-01	11.5612	11.5961
2.00 E-01	11.1692	11.2038
2.20 E-01	10.4233	10.4569
2.40 E-01	9.7299	9.7622
2.50 E-01	9.4058	9.4374
2.60 E-01	9.0948	9.1256

Tablo 4.1 (devamı)

$x(\text{\AA}^{-1})$	$F_m(x)$	$F_m(x)$
	[1]	[2]
2.80 E-01	8.5162	8.5455
3.00 E-01	7.9928	8.0203
3.20 E-01	7.5200	7.5458
3.40 E-01	7.0953	7.1193
3.50 E-01	6.9016	6.9247
3.60 E-01	6.7179	6.7402
3.80 E-01	6.3791	6.3996
4.00 E-01	6.0781	6.0970
4.20 E-01	5.8105	5.8278
4.40 E-01	5.5738	5.5897
4.50 E-01	5.4651	5.4802
4.60 E-01	5.3636	5.3781
4.80 E-01	5.1754	5.1887
5.00 E-01	5.0076	5.0197
5.50 E-01	4.6614	4.6711
6.00 E-01	4.3920	4.4000
6.50 E-01	4.1724	4.1792
7.00 E-01	3.9865	3.9924
8.00 E-01	3.6689	3.6741
9.00 E-01	3.3870	3.3920
1.00 E+00	3.1233	3.1284
1.10 E+00	2.8729	2.8785
1.20 E+00	2.6332	2.6390
1.30 E+00	2.4069	2.4129
1.40 E+00	2.1956	2.2018

Tablo 4.1 (devami)

$x(\text{\AA}^{-1})$	$F_m(x)$	$F_m(x)$
	[1]	[2]
1.50 E+00	1.9992	2.0055
1.60 E+00	1.8181	1.8243
1.70 E+00	1.6521	1.6581
1.80 E+00	1.5004	1.5063
1.90 E+00	1.3626	1.3683
2.00 E+00	1.2378	1.2431
2.20 E+00	1.0221	1.0270
2.40 E+00	0.8465	0.8508
2.50 E+00	0.7711	0.7752
2.60 E+00	0.7033	0.7071
2.80 E+00	0.5866	0.5899
3.00 E+00	0.4914	0.4943
3.30 E+00	0.3800	0.3824
3.50 E+00	0.3218	0.3239
3.60 E+00	0.2968	0.2987
3.90 E+00	0.2342	0.2357
4.00 E+00	0.2168	0.2182
4.20 E+00	0.1866	0.1878
4.60 E+00	0.1397	0.1407
5.00 E+00	0.1063	0.1070
5.40 E+00	8.1975E-02	8.2566E-02
5.50 E+00	7.699E-02	7.7548E-02
5.80 E+00	6.4077E-02	6.4545E-02
6.00 E+00	5.6895E-02	5.7313E-02
6.20 E+00	5.0674E-02	5.1048E-02

Tablo 4.1 (devamı)

$x(\text{\AA}^{-1})$	$F_m(x)$	
	[1]	[2]
6.60 E+00	4.0530-02	4.0832E-02
7.00 E+00	3.2748E-02	3.2994E-02
7.40 E+00	2.6699E-02	2.6901E-02
8.00 E+00	1.9969E-02	2.0121E-02
9.00 E+00	1.2779E-02	1.2877E-02
1.00 E+01	8.5054E-03	8.5714E-03
1.10 E+01	5.8503E-03	5.8960E-03
1.20 E+01	4.1360E-03	4.1684E-03
1.40 E+01	2.2123E-03	2.2297E-03
1.60 E+01	1.2693E-03	1.2794E-03
1.80 E+01	7.6792E-04	7.7402E-04
2.00 E+01	4.8381E-04	4.8766E-04
2.20 E+01	3.1453E-04	3.1704E-04
2.50 E+01	1.7196E-04	1.7334E-04
2.80 E+01	9.7189E-05	9.7974E-05
3.10 E+01	5.5663E-05	5.6116E-05
3.50 E+01	2.6003E-05	2.6218E-05
4.00 E+01	8.4491E-06	8.5225E-06
4.50 E+01	6.9294E-07	6.9983E-07
5.00 E+01	3.0842E-06	3.1041E-06
6.00 E+01	5.1753E-06	5.2131E-06
7.00 E+01	5.0533E-06	5.0910E-06
8.00 E+01	4.4291E-06	4.4623E-06
9.00 E+01	3.7608E-06	3.7890E-06
1.00 E+02	3.1679E-06	3.1917E-06

Tablo 4.2: Moleküler inkohherent saçılma fonksiyonu $S_m(x)$, [1] ve [2] verileri ile elde edilmiştir.

$x(\text{\AA}^{-1})$	$S_m(x)$ [1]	$S_m(x)$ [2]
0	0	0
5.00 E-03	0.03404	0.03379
1.00 E-02	0.1232	0.1222
1.50 E-02	0.2796	0.2774
2.00 E-02	0.4916	0.4878
2.50 E-02	0.7654	0.7595
3.00 E-02	1.0979	1.0895
4.00 E-02	1.9164	1.9018
5.00 E-02	2.9341	2.9120
7.00 E-02	5.4340	5.3939
9.00 E-02	8.3862	8.3259
1.00 E-01	9.9625	9.8919
1.25 E-01	13.9448	13.8502
1.50 E-01	17.9290	17.8133
1.75 E-01	21.6081	21.4762
2.00 E-01	24.9156	24.7723
2.50 E-01	30.3958	30.2412
3.00 E-01	34.4528	34.2974
4.00 E-01	39.4450	39.2998
5.00 E-01	42.1430	42.0080
6.00 E-01	43.9209	43.7917
7.00 E-01	45.3362	45.2095
8.00 E-01	46.5745	46.4488
9.00 E-01	47.6799	47.5547
1.00 E+00	48.6715	48.5471
1.25 E+00	50.6326	50.5111
1.50 E+00	51.9473	51.8298
2.00 E+00	53.2926	53.1821

Tablo 4.2 (devamı)

$x(\text{\AA}^{-1})$	$S_m(x)$ [1]	$S_m(x)$ [2]
2.50 E+00	53.7941	53.6875
3.00 E+00	53.9799	53.8752
3.50 E+00	54.0520	53.9481
4.00 E+00	54.0812	53.9777
5.00 E+00	54.0999	53.9966
6.00 E+00	54.1040	54.0008
7.00 E+00	54.1055	54.0023
8.00 E+00	54.1059	54.0027
1.00 E+01	54.1059	54.0027
1.50 E+01	54.1059	54.0027
2.00 E+01	54.1059	54.0027
5.00 E+01	54.1059	54.0027
8.00 E+01	54.1059	54.0027
1.00 E+02	54.1059	54.0027
1.00 E+03	54.1059	54.0027
1.00 E+06	54.1059	54.0027
1.00 E+09	54.1059	54.0027

Tablo 4.3: Moleküler koherent (Rayleigh), inkoherent (Compton) saçılma ve fotoelektrik soğurma katsayılarının [1] elementel bilgisi kullanılarak elde edilen sonuçları sütun 2, 4 ve 5'te sırasıyla sunulmaktadır. Girişim etkileri düşünülerek hesaplanan moleküler koherent saçılma katsayıları da sütun 3'de ayrıca listelenmiştir.

E [keV]	Koherent [b/mol]	Koherent [b/mol]	İnkoherent [b/mol]	Fotoelektrik [1/cm]
1	183.9735	202.5809	2.4217	3270.7808
2	146.3838	161.1698	7.3968	471.3274
3	11.3291	127.1967	12.1902	143.7095
4	84.7837	94.1466	15.9690	60.6386
5	66.8195	79.2025	18.7079	30.7306
6	53.6663	61.5885	20.7489	17.5254
7	44.6945	54.2746	22.2818	12.3368
8	37.7603	41.7954	23.4662	7.1481
9	32.7331	38.7959	24.4148	5.3418
10	28.7500	33.7290	25.1979	3.5355
11	25.4669	27.6863	25.8593	3.0219
12	22.7860	24.3622	26.4266	2.5082
13	20.5680	24.2334	26.9185	1.9946
14	18.6698	21.5733	27.3418	1.4810
15	17.0045	18.7629	27.7116	0.9674
16	15.5203	16.3262	28.0418	0.8501
17	14.2569	15.1987	28.3307	0.7329
18	13.1429	14.9675	28.5807	0.6157
19	12.1520	14.0838	28.8014	0.4985
20	11.2479	12.6893	28.9944	0.3812
21	10.4466	11.4394	29.1558	0.3532
22	9.7101	10.3457	29.2922	0.3253
23	9.0459	9.3587	29.4092	0.2973
24	8.4583	8.9145	29.5098	0.2693
25	7.9256	8.7414	29.5975	0.2413

Tablo 4.3 (devami)

E [keV]	Koherent [b/mol]	Koherent [b/mol]	İnkoherent [b/mol]	Fotoelektrik [1/cm]
26	7.4355	8.4971	20.6739	0.2133
27	6.9952	7.9947	29.7366	0.1853
28	6.5849	7.4008	29.7851	0.1573
29	6.2097	6.8314	29.8215	0.1293
30	5.8683	6.3408	29.8481	0.1013
31	5.5449	5.8790	29.8666	9.5073E-02
32	5.2469	5.4187	29.8775	8.8871E-02
33	4.9810	5.1494	29.8825	8.2668E-02
34	4.7292	4.9520	29.8807	7.6466E-02
35	4.4995	4.8589	29.8722	7.0263E-02
36	4.2849	4.7749	29.8581	6.4061E-02
37	4.0849	4.6382	29.8396	5.7858E-02
38	3.9022	4.4246	29.8164	5.1656E-02
39	3.7284	4.1985	29.7896	4.5453E-02
40	3.5625	3.9458	29.7595	3.9251E-02
41	3.4121	3.7289	29.7262	3.7202E-02
42	3.2709	3.5297	29.6899	3.5153E-02
43	3.1348	3.3505	29.6506	3.3104E-02
44	3.0072	3.1638	29.6090	3.1055E-02
45	2.8866	2.9828	29.5654	2.9006E-02
46	2.7748	2.8377	29.5198	2.6956E-02
47	2.6706	2.7581	29.4723	2.4907E-02
48	2.5701	2.6772	29.4233	2.2858E-02
49	2.4759	2.6279	29.3731	2.0809E-02
50	2.3880	2.5958	29.3212	1.8760E-02

Tablo 4.3 (devamı)

E [keV]	Koherent [b/mol]	Koherent [b/mol]	İnkoherent [b/mol]	Fotoelektrik [1/cm]
55	2.0094	2.2521	29.0466	1.4505E-02
60	1.7126	1.8329	28.7540	1.0250E-02
65	1.4738	1.5031	28.4520	8.6741E-03
70	1.2838	1.3736	28.1458	7.0981E-03
75	1.1283	1.2682	27.8395	5.5222E-03
80	0.9984	1.0958	27.5350	3.9463E-03
85	0.8908	0.9504	27.2341	3.4307E-03
90	0.7976	0.8207	26.9379	2.9152E-03
95	0.7193	0.7428	26.6476	2.3997E-03
100	0.6517	0.7039	26.3630	1.8841E-03
105	0.5932	0.6647	26.0848	1.7454E-03
110	0.5428	0.6040	25.8129	1.6066E-03
115	0.4976	0.5398	25.5476	1.4679E-03
120	0.4586	0.4888	25.2887	1.3292E-03
125	0.4231	0.4410	25.0364	1.1904E-03
130	0.3917	0.3988	24.7903	1.0517E-03
135	0.3640	0.3763	24.5502	9.1295E-04
140	0.3390	0.3614	24.3161	7.7421E-04
145	0.3164	0.3493	24.0879	6.3547E-04
150	0.2963	0.3314	23.8656	4.9672E-04

Tablo 4.4: Moleküler koherent (Rayleigh), inkoherent (Compton) saçılma ve fotoelektrik soğurma katsayılarının [2] elementel bilgisi kullanılarak elde edilen sonuçları sütun 2, 4 ve 5'te sırasıyla sunulmaktadır. Girişim etkileri düşünülerek hesaplanan moleküler koherent saçılma katsayıları da sütun 3'de ayrıca listelenmiştir.

E [keV]	Koherent [b/mol]	Koherent [b/mol]	İnkoherent [b/mol]	Fotoelektrik [1/cm]
1	184.5225	1136.9302	2.4037	3309.2954
2	147.0015	469.8777	7.3472	477.2321
3	111.6653	278.3688	12.1183	145.5595
4	85.2333	197.6087	15.8861	61.4317
5	66.7696	147.9461	18.6212	31.1371
6	53.9031	108.8771	20.6613	17.7593
7	44.7063	90.1519	22.1948	12.5020
8	37.9594	73.9641	23.3802	7.2448
9	32.8307	60.3956	24.3297	5.4143
10	28.7881	52.3967	25.1136	3.5838
11	25.5687	46.3264	25.7758	3.0632
12	22.8836	40.9778	26.3439	2.5426
13	20.6243	36.5195	26.8364	2.0220
14	18.7021	31.8289	27.2604	1.5014
15	17.0585	27.6524	27.6310	0.9808
16	15.5956	26.0745	27.9619	0.8619
17	14.3190	23.5974	28.2514	0.7431
18	13.1895	21.6137	28.5021	0.6243
19	12.1835	19.6869	28.7236	0.5054
20	11.2766	17.7838	28.9173	0.3866
21	10.4823	15.9689	29.0794	0.3582
22	9.7526	15.5095	29.2165	0.3298
23	9.0917	14.3872	29.3342	0.3014
24	8.4976	13.3720	29.4356	0.2730
25	7.9587	12.5007	29.5239	0.2446

Tablo 4.4 (devamı)

E [keV]	Koherent [b/mol]	Koherent [b/mol]	İnkoherent [b/mol]	Fotoelektrik [1/cm]
26	7.4626	11.6665	29.6009	0.2163
27	7.0164	10.8758	29.6643	0.1879
28	6.6043	10.0758	29.7134	0.1595
29	6.2310	9.2584	29.7504	0.1311
30	5.8916	8.7032	29.7776	0.1027
31	5.5702	8.5580	29.7966	9.6419E-02
32	5.2742	8.1161	29.8081	9.0130E-02
33	5.0064	7.6389	29.8136	8.3840E-02
34	4.7520	7.2604	29.8123	7.7550E-02
35	4.5199	6.9040	29.8043	7.1260E-02
36	4.3029	6.5891	29.7906	6.4970E-02
37	4.1006	6.2326	29.7726	5.8680E-02
38	3.9156	5.9139	29.7499	5.2390E-02
39	3.7398	5.6178	29.7235	4.6100E-02
40	3.5745	5.2673	29.6938	3.9810E-02
41	3.4246	4.9580	29.6609	3.7732E-02
42	3.2840	4.7000	29.6250	3.5654E-02
43	3.1485	4.6111	29.5861	3.3576E-02
44	3.0215	4.5312	29.5448	3.1498E-02
45	2.9015	4.3584	29.5016	2.9420E-02
46	2.7895	4.1774	29.4563	2.7341E-02
47	2.6843	4.0009	29.4092	2.5263E-02
48	2.5829	3.8614	29.3605	2.3185E-02
49	2.4877	3.7235	29.3106	2.1107E-02
50	2.3989	3.5927	29.2590	1.9029E-02

Tablo 4.4 (devami)

E [keV]	Koherent [b/mol]	Koherent [b/mol]	İnkoherent [b/mol]	Fotoelektrik [1/cm]
55	2.0160	2.9766	28.9858	1.4713E-02
60	1,7199	2.4360	28.6945	1.0397E-02
65	1.4818	2.1833	28.3937	8.7988E-03
70	1.2899	1.9023	28.0885	7.2003E-03
75	1.1328	1.6599	27.7833	5.6018E-03
80	1.0021	1.4303	27.4797	4.0033E-03
85	0.8947	1.2552	27.1796	3.4803E-03
90	0.8018	1.1708	26.8843	2.9573E-03
95	0.7230	1.0514	26.5947	2.4344E-03
100	0.6548	0.9575	26.3109	1.9114E-03
105	0.5957	0.8679	26.0333	1.7707E-03
110	0.5447	0.7870	25.7621	1.6299E-03
115	0.4996	0.6998	25.4974	1.4892E-03
120	0.4607	0.6405	25.2391	1.3484E-03
125	0.4253	0.6155	24.9874	1.2077E-03
130	0.3939	0.5705	24.7418	1.0669E-03
135	0.3659	0.5294	24.5023	9.2619E-04
140	0.3406	0.4948	24.2688	7.8545E-04
145	0.3178	0.4645	24.0411	6.4470E-04
150	0.2975	0.4301	23.8192	5.0395E-04

Tablo 4.5: Meme eşdeğer materyali PMMA molekülüne ait [1] ve [2] elementel veriler ile elde edilen lineer zayıflama katsayıları [1/cm], sütun 2, 3'te ve bu bulguların literatür ile karşılaştırılması sütun 4'te sırasıyla verilmiştir.

E[keV]	Bu çalışma	Bu çalışma	Referanslar
4	61.4202	62.9535	59.448 [71]
5	31.4256	32.3244	31.046 [71]
6	18.1098	18.6826	17.936 [71]
6.935	13.2201	13.6525	11.59 [60]
8	7.6113	7.9387	7.481 [71]
8.04	7.5385	7.8619	7.48 [2]
9.88	4.1742	4.3621	4.015 [71]
10	3.9538	4.1363	3.852 [72]
12.02	2.8585	3.0115	2.1959 [73]
12.06	2.8380	2.9896	2.1620 [74] 2.3323[75]
12.13	2.8023	2.9511	2.279 [75]
12.33	2.7001	2.8414	2.1874 [75]
12.55	2.5877	2.7206	2.0876 [75]
12.60	2.5621	2.6932	1.9465 [74]
12.65	2.5365	2.6657	1.9035 [31]
12.84	2.4395	2.5614	1.9579 [75]
12.93	2.3975	2.5120	1.9016 [75]
13.18	2.2624	2.3744	1.7525 [74]
13.43	2.1300	2.2367	1.7221 [75]
13.61	2.0347	2.1375	1.6629 [75]
13.77	1.9500	2.0493	1.5779 [74]
14.01	1.8229	1.9171	1.5505 [75]
14.21	1.7167	1.8076	1.4885 [75]

Tablo 4.6 (Devamı)

E[keV]	Bu çalışma	Bu çalışma	Referanslar
14.36	1.6371	1.7254	1.4289 [74]
14.57	1.5256	1.6104	1.3879 [75]
14.80	1.4035	1.4844	1.3324 [75]
14.97	1.3132	1.3913	1.2716 [74]
15	1.2973	1.3749	1.271 [71]
15.01	1.2960	1.3736	1.2310 [73]
15.22	1.2682	1.3468	1.2423 [75]
15.53	1.2272	1.3072	1.1583 [74]
15.85	1.1848	1.2663	1.1250 [75]
15.86	1.1835	1.2650	1.2206 [31]
16.13	1.1490	1.2296	1.0675 [74]
16.46	1.1084	1.1853	1.0308 [75]
16.72	1.0764	1.1503	0.9781 [74]
17.04	1.0372	1.1075	0.9444 [75]
17.29	1.0079	1.0747	0.8962 [74]
17.44	0.9904	1.0550	0.89 [1] 0.883 [72]
17.62	0.9693	1.0314	0.8755 [75]
17.90	0.9365	0.9946	0.8405 [74]
18.22	0.8980	0.9527	0.8116 [75]
18.48	0.8663	0.9186	0.7882 [74]
18.64	0.8468	0.8977	0.8626 [31]
18.78	0.8297	0.8793	0.7656 [75]
19.08	0.7928	0.8400	0.7264 [74]
19.39	0.7538	0.7994	0.7138 [75]
19.67	0.7186	0.7627	0.6893 [74]

Tablo 4.7 (Devamı)

E[keV]	Bu çalışma	Bu çalışma	Referanslar
19.96	0.6821	0.7412	0.6734 [75]
20	0.6771	0.7195	0.661 [71]
20.01	0.6767	0.7191	0.6516 [73]
20.28	0.6671	0.7082	0.6502 [74]
20.55	0.6574	0.6974	0.6390 [75]
20.85	0.6467	0.6853	0.6134 [74]
21.18	0.6351	0.6738	0.5993 [75]
21.43	0.6264	0.6661	0.5786 [74]
21.78	0.6142	0.6554	0.5620 [75]
22.03	0.6056	0.6475	0.5491 [74]
22.35	0.5947	0.6361	0.5364 [75]
22.61	0.5858	0.6269	0.5240 [74]
22.7	0.5827	0.6237	0.6279 [31]
22.91	0.5756	0.6162	0.5210 [75]
23.21	0.5661	0.6057	0.5149 [74]
23.79	0.5484	0.5854	0.5060 [74]
24.00	0.5420	0.5781	0.4718 [75]
24.39	0.5308	0.5648	0.4829 [74]
24.95	0.5148	0.5474	0.3992 [73]
24.96	0.5145	0.5455	0.4636 [74]
25.55	0.4973	0.5256	0.4451 [74]
26.34	0.4736	0.4990	0.4174 [75]
26.73	0.4615	0.4859	0.4223 [74]
27.21	0.4464	0.4698	0.4424 [31]
27.35	0.4419	0.4651	0.4126 [74]
28.49	0.4057	0.4265	0.3961 [74]

Tablo 4.8 (Devamı)

E[keV]	Bu çalışma	Bu çalışma	Referanslar
28.65	0.4006	0.4211	0.3736 [75]
29.16	0.3845	0.4040	0.3824 [74]
29.67	0.3685	0.3876	0.3758 [74]
29.89	0.3616	0.3805	0.3229 [73]
30.24	0.3559	0.3753	0.3693 [74]
30.46	0.3539	0.3737	0.3504 [75]
30.86	0.3501	0.3708	0.3608 [74]
31.08	0.3480	0.3690	0.3403 [75]
31.40	0.3450	0.3660	0.3545 [74]
31.50	0.3441	0.3651	0.3679 [31]
32.00	0.3394	0.3604	0.3423 [74]
32.10	0.3386	0.3594	0.321 [76]
32.61	0.3345	0.3545	0.3325 [74]
33.23	0.3296	0.3487	0.3384 [74]
33.28	0.3292	0.3483	0.3192 [75]
33.30	0.3290	0.3481	0.311 [76]
33.77	0.3254	0.3439	0.3286 [74]
34.26	0.3219	0.3395	0.3100 [75]
34.46	0.3205	0.3377	0.3248 [74]
34.92	0.3174	0.3336	0.3173 [74]
34.97	0.3170	0.3332	0.2801 [73]
35.43	0.3138	0.3292	0.3011 [75]
35.58	0.3128	0.3279	0.3155 [74]
35.73	0.3117	0.3266	0.3511 [31]
35.90	0.3106	0.3252	0.292 [76]
36.15	0.3088	0.3230	0.3046 [74]

Tablo 4.9 (Devamı)

E[keV]	Bu çalışma	Bu çalışma	Referanslar
36.60	0.3055	0.3189	0.287 [76]
36.74	0.3045	0.3176	0.3011 [74]
37.11	0.3017	0.3143	0.2908 [75]
37.20	0.3010	0.3136	0.288 [76]
37.99	0.2948	0.3067	0.2994 [74]
38.10	0.2939	0.3057	0.279 [76]
38.54	0.2904	0.3020	0.2759 [74]
39.10	0.2859	0.2971	0.2874 [74]
39.62	0.2816	0.2924	0.2759 [75]
39.79	0.2802	0.2909	0.2908 [74]
39.96	0.2788	0.2894	0.3178 [31]
40.04	0.2783	0.2888	0.2457 [73]
40.26	0.2775	0.2878	0.2840 [74]
40.97	0.2748	0.2846	0.2791 [74]
41.10	0.2743	0.2841	0.264 [76]
41.44	0.2730	0.2827	0.2727 [74]
42.11	0.2705	0.2799	0.2680 [74]
42.67	0.2685	0.2783	0.2840 [74]
42.7	0.2684	0.2782	0.266 [76]
42.73	0.2683	0.2781	0.2618 [75]
42.80	0.2680	0.2779	0.259 [76]
43.36	0.2660	0.2763	0.2857 [74]
43.61	0.2651	0.2755	0.2603 [75]
43.86	0.2642	0.2748	0.2808 [74]
44.37	0.2623	0.2731	0.2587 [74]
44.70	0.2611	0.2719	0.2310 [31]

Tablo 4.10 (Devamı)

E[keV]	Bu çalışma	Bu çalışma	Referanslar
44.98	0.2601	0.2709	0.2365 [73]
45.02	0.2599	0.2707	0.2633 [74]
45.60	0.2580	0.2686	0.250 [76]
45.62	0.2579	0.2685	0.2680 [74]
45.68	0.2577	0.2683	0.2528 [75]
46.29	0.2558	0.2660	0.2664 [74]
46.83	0.2542	0.2640	0.2528 [74]
47.10	0.2534	0.2631	0.246 [76]
48.00	0.2507	0.2600	0.2469 [74]
48.43	0.2495	0.2585	0.2347 [31]
48.60	0.2490	0.2580	0.244 [76]
49.30	0.2471	0.2556	0.249 [76]
49.77	0.2459	0.2540	0.2427 [74]
50.06	0.2452	0.2531	0.2356 [73]
52.50	0.2410	0.2479	0.2836 [31]
52.80	0.2405	0.2472	0.238 [76]
53.95	0.2385	0.2447	0.2434 [73]
54.6	0.2374	0.2434	0.235 [76]
55.5	0.2358	0.2415	0.2628 [31]
56.5	0.2341	0.2394	0.233 [76]
56.8	0.2336	0.2388	0.228 [76]
59.54	0.2289	0.2332	0.224 [2] 0.228 [77]
66.2	0.2202	0.2253	0.217 [76]

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tanısal x-ışını enerji aralığı 10 -150 keV bölgesidir. Bu enerji aralığında, sadece fotoelektrik soğurma, elastik (Rayleigh veya koherent) ve inelastik (Compton) saçılma ilgilidir. Küçük açı x-ışını saçılmasında (10° 'den az açılarda) koherent baskın olup uygun form faktörü kullanılarak elde edilmelidir. Düşük momentum transfer değerlerinde ($\sim x < 8 \text{ nm}^{-1}$), moleküler FF, atomik bileşenlerinden direkt biçimde çıkarılması ile elde edilen IAM kuralına göre hesaplama yapılması doğru değildir. Moleküller arası girişimin dahil edildiği deneysel FF verileri kullanılmalıdır. Düşük momentum transfer değerlerinde, materyal yapıyı karakterize eden “kırınım deseni” veya “saçılma profili” veya “saçılma imzası” olarak adlandırılan girişim etkileri yüksektir. Bunun sebebi, aynı molekül içerisindeki farklı atomların elektronları arasındaki ilişki ve farklı moleküller arasındaki ilişkidir. Kristal maddeler belli saçılma açılarında keskin pik verirken, vücut dokusu gibi kristal olmayan amorf maddeler genellikle bir veya birkaç geniş pik verirler [68]. Girişim etkilerini dahil eden FF, sadece molekül yapısı değil aynı zamanda da maddenin yapısı hakkında bilgi verir [1]. Tanısal x-ışını enerji aralığında, küçük saçılma açılarında, elastik saçılan fotonların girişim etkilerinin varlığı nedeniyle düşük momentum transfer değerlerinde ($\sim x < 8 \text{ nm}^{-1}$), deneysel moleküler FF verilerini kullanmak zorunludur. Deneysel moleküler FF, momentum transfer değişkeni olan x 'in bir fonksiyonu olarak, bazen $x=3,5 \text{ nm}^{-1}$, bazen $x=5 \text{ nm}^{-1}$ ve bazen de $x=8 \text{ nm}^{-1}$ değerine kadar araştırmacılar tarafından deneysel olarak elde edilmiştir. Daha büyük momentum transfer değerlerinde ($x \geq 10 \text{ nm}^{-1}$) deneysel FF verileri olmadığı için deneysel verilerle uyumlu olabilecek şekilde moleküler FF verileri teorik olarak elde edilmelidir.

İnsan dokularının kimyasal kompozisyonları, soy, beslenme düzeni, yaş, cinsiyet ve sağlık durumu gibi faktörler bakımından, insanlar arasında kayda değer biçimde % 5-10 arasında değişim gösterebilmektedir [69]. Doku eşdeğeri moleküler yapılar için yapı karakterizasyonuna ait girişim etkilerinin dahil edildiği moleküler FF değerlerinin öncelikle oluşturulması gerekmektedir. Bu moleküler FF kullanılarak moleküler koherent ve inkoherent saçılma ve fotoelektrik soğurma katsayıları hesaplanmalıdır.

Bu çalışmada, insan meme dokusuna eşdeğer olan kompleks moleküler yapı olan PMMA katı madde incelenmiştir. İnsan meme dokusuna eşdeğer katı madde olan PMMA 'ya ait farklı iki kaynak olan [1,2]'den elde edilmiş olan elementel kimyasal kompozisyonlar

hesaplamalarda ayrı ayrı denenmiştir. Meme eşdeğer materyali PMMA için Poletti ve arkadaşlarının çalışması olan [1] elementel verilerinin deneysel verilere daha uyumlu olduğu bulunmuştur. Diğer önemli bir kısım da, girişim etkilerinin hesaplamalara dahil edilmesidir. Literatürde genellikle $0 < x \leq 8 \text{ nm}^{-1}$ aralığında verilen deneysel FF verileri içinde en uyumlu olarak [1] 'nin deneysel FF verileri olduğu görülmüştür.

Sonuçlarımızın daha ileriki çalışmalarımızda ve ayrıca modellemeler yapan diğer araştırmacıların çalışmalarında kullanılması suretiyle literatürde geniş yer bulacağına ve yarar sağlayacağına inancımız yüksektir.

6. KAYNAKLAR

- [1] M.E. Poletti, O.D. Gonçalves, and I. Mazzaro, “X-ray scattering from human breast tissues and breast-equivalent materials”, *Phys. Med. Biol.*, vol.47, pp. 47-63, 2002.
- [2] A. Tartari, E. Casnati, C. Bonifazzi, and C. Baraldi, “Molecular differential cross sections for x-ray coherent scattering in fat and polymethyl methacrylate”, *Phys. Med. Biol.*, vol.42, pp.2551–2560, 1997.
- [3] M.J. Berger, and Hubbell, J.H.(1987). *XCOM: photon cross sections on a personal computer*. Washington: NBSIR 87-3597, NBS, DC, 1987.
- [4] D.A. Bradley, and A.M. Ghose, “Total-atom differential coherent-scattering cross section measurements on Sn and Pb using moderate-energy γ -rays”, *Phys. Rev. A.*, vol.33, pp.191–204, 1986.
- [5] D.A. Bradley, O.D. Gonçalves, and P.P. Kane, “Measurements of photon–atom elastic scattering cross sections in the photon energy range 1 keV to 4 MeV”, *Radiation Physics and Chemistry*, 56, 125–150, 1999.
- [6] J. Eichler, S. Barros, O. Gonçalves, And M. Gaspar, “Comparison of Compton and Rayleigh scattering at 145 keV”, *Phys. Rev.*, vol.28, pp.3656–3658, 1983.
- [7] O. İçelli, S. Erzeneoğlu, “Coherent scattering of 59.5 keV γ -rays by 79 Au through angles from 451 to 1251”, *Spectrochim. Acta B.*, vol. 56, pp. 331–335, 2001.
- [8] P.P. Kane, “Elastic scattering of gamma rays and X-rays”, *Radiat. Phys. Chem.*, vol.74, pp. 402–410, 2005.
- [9] P.P. Kane, J. Mahajani, G.Basavaraju, And A.K. “Priyadarsini, Scattering of 1.1732- and 1.3325-MeV gamma rays through small angles by carbon, aluminum, copper, tin, and lead”, *Phys. Rev. A.*, vol. 28, pp.1509–1516, 1983.
- [10] L. Kissel, RTAB: the Rayleigh scattering data base. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 59, pp.185–200, (2000).
- [11] L. Kissel, R.H. Pratt, and S.C. Roy, Rayleigh scattering by neutral atoms, 100 eV to 10 MeV. *Phys. Rev. A.*, vol. 22, pp.1970–2004, (1980).
- [12] N.G. Nayak, and K. Siddappa, “Experimental atomic form factors of some rare earth and heavy elements by coherent scattering of 145.4 keV gamma rays”. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 71, pp.673–675, (2004).
- [13] S.C. Roy, L. Kissel, R.H. Pratt, “Elastic photon scattering at small momentum transfer and validity of form-factor theories”, *Phys. Rev. A.*, vol. 27, pp. 285–290, 1983.

- [14] Roy, S.C., Zhou, B., Kissel, L., Pratt, R.H. “Rayleigh scattering and form factors”, *Indian J. Phys. B.*, vol. 67, pp. 481–496, 1993.
- [15] S.C. Roy, L. Kissel, R.H. Pratt, “Elastic scattering of photons”, *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 56, pp.3–26, 1999.
- [16] D. Schaupp, M. Schumacher, F. Smend, P. Rullhusen, And J.H. Hubbell, “Small angle Rayleigh scattering of photons at high energies: tabulations of relativistic HFS modified atomic form factors”. *J. Phys. Chem. Ref.*, Vol. 12, pp.467–512, 1983.
- [17] K. Siddappa, N.G. Nayak, K.M. “Balakrishna, and N. Lingappa, Experimental studies on atomic form factors at $4.808\text{-}\text{\AA}^{-1}$ photon momentum transfer”, *Phys. Rev. A* 39, pp.5106-5110, 1989.
- [18] B. Zhou, R.H. Pratt, “Calculation of anomalous scattering for ions and atoms”, *Physica Scripta*, 41, pp.495–498, 1990.
- [19] A. Böke, “Calculation of the total Rayleigh scattering cross sections of photons in the energy range of 30–50 keV for Nb and Mo elements”, *Radiation Physics and Chemistry*, vol.80, 609–613, 2011.
- [20] A. Böke, “Linear attenuation coefficients of tissues from 1 keV to 150 keV”, *Radiation Physics and Chemistry*, vol.102, 49-59, 2014.
- [21] A. Böke, “The effect of molecular interference on coherent scattering”, *J. BAUN Inst. Sci. Technol.*, vol.19(2), pp.123-136. (2017a).
- [22] A. Böke, “The photon interaction cross sections of human cortical bone tissue”, *Chinese Journal of Physics*, vol.55, pp.2165–2172. (2017b).
- [23] A. Böke, “Coherent X-ray scattering data for plastics”, *J. BAUN Inst. Sci. Technol.* vol.21(1), pp.217-222. (2019).
- [24] A. Böke, D. Gencer, “The photon interaction cross sections of blood”, *Chinese Journal of Physics*, vol.58, pp.58-62, 2019.
- [25] J.H. Hubbell, W.J. Veigele, E.A. Briggs, R.T. Brown, D.T. Cromer, and R.J. Howerton, “Atomic form factors, incoherent scattering functions, and photon scattering cross sections”, *J. Phys. Chem. Ref.*, vol.4, pp.471–538, 1975.
- [26] J.H. Hubbell, I. Øverbø, “Relativistic atomic form factor and photon coherent scattering cross sections”, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, vol.8, pp. 69–105, 1979.
- [27] S. P. Hubbell, “Light-Gap Disturbances, Recruitment Limitation, and Tree Diversity in a Neotropical Forest.”, vol. 283(5401), pp.554–557, 1999.
- [28] J.M. Boone, and A.E. Chavez, “Comparison of X-Ray Cross Sections for Diagnostic and Therapeutic Medical Physics”, *Medical Physics*, vol. 23, 1997-2005, 1996.

- [29] M. Stephen Seltzer, “Calculation of Photon Mass Energy-Transfer and Mass Energy-Absorption Coefficients”, *Radiation Research*, vol.136(2), pp.147–170, (1993).
- [30] W. M. Elshemey, A. A. Elsayed and A. El-Lakkani, “Characteristics of low angle x-ray scattering from some biological samples”, *Phys. Med. Biol.* Vol. 44 pp. 2907–1, 1999.
- [31] W., Geraldelli, A. Tomal, And M.E. Poletti, “Characterization of tissue-equivalent materials through measurements of the linear attenuation coefficient and scattering profiles obtained with polyenergetic beams”, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.60, pp. 566–571, 2013.
- [32] M.E. Phelps, E.J. Hoffman, and M.M. Ter-Pogossian, “Attenuation coefficients of various body tissues, fluids and lesions at photon energies of 18–136 keV”, *Radiology* 117, pp. 573–583, 1975.
- [33] M.N. Lakshmanan, A.J. Kapadia, B.P. Harrawood, D. Brady, And E. Samei, “X-ray Coherent scatter imaging for surgical margin detection: A Monte Carlo study”, *Medical Imaging*, vol.9033, pp.1–8, 2014.
- [34] M.N. Lakshmanan, B.P. Harrawood, E. Samei, And A.J. Kapadia, “Volumetric x-ray coherent scatter imaging of cancer in resected breast tissue: A Monte Carlo study using virtual anthropomorphic phantoms”, *Phys. Med. Biol.*, vol. 60, pp. 6355–6370, 2015.
- [35] M.E. Poletti, O.D. Gonçalves, and I. Mazzaro, “Measurements of x-ray scatter signatures for some tissue-equivalent materials. Nuclear Instrum”, *Methods Phys. Res. B.*, vol. 213, pp.595–598. 2004.
- [36] C.J. Leliveld, J.G. Maas, V.R. Bom, C.W.E. Van Eijk, “Monte Carlo modelling of coherent scattering: influence of interference”, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 43, pp.3315–3321, 1996.
- [37] B., Ghammraoui A., Badal, and L.M. Popescu, “Maximum-likelihood estimation of scatter components algorithm for x-ray coherent scatter computed tomography of the breast”, *Phys. Med. Biol.*, vol.61, pp. 3164–3179, 2016.
- [38] L.R.M. Morin, “Molecular form factors and photon coherent scattering Cross sections of water”, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, vol.11, pp.1091–1098, 1982.
- [39] D.E. Peplow, and K.Vergheze, “Measured molecular coherent scattering form factors of animal tissues, plastics and human breast tissue”, *Phys. Med. Biol.*, vol.43, pp.2431–2452, 1998.
- [40] A. Tartari, A. Taibi, C. Bonifazzi, And C. Baraldi, “Updating of form factor tabulations for coherent scattering of photons in tissues”, *Phys. Med. Biol.*, vol.47, pp.163–175, 2002.

- [41] P.C. Johns, and M.P. Wismayer, “Measurement of coherent x-ray scatter form factors for amorphous material using diffractometers”, *Phys. Med. Biol.*, vol.49, pp.5233-5250, 2004.
- [42] B.W., King, K.A Landheer, and P.C. Johns, “X-ray coherent scattering form factors of tissues, water and plastic using energy dispersion”, *Phys. Med. Biol.*, vol.56, pp.4377–4397, 2011.
- [43] B. Ghammraoui, and L.M. Popescu, “Non-invasive classification of breast microcalcifications using x-ray coherent scatter computed tomography”, *Phys. Med. Biol.*, vol.62, pp.1192–1207, 2017.
- [44] B. Ghammraoui, R. Peng, I. Suarez, C. Bettolo, And A. Badal, “Including the effect of molecular interference in the coherent x-ray scattering modeling in MC-GPU and PENELOPE for the study of novel breast imaging modalities”, *Medical Imaging*, vol.9033, pp.1–8, (2014).
- [45] G. Paterno, P. Cardarelli, M. Gambaccini, A. Taibi, “Comprehensive data set to include interference effects in Monte Carlo models of x-ray coherent scattering inside biological tissues”, *Phys. Med. Biol.* Vol.65, pp. 245002, 2020.
- [46] B. Ghammraoui, And A. Badano, “Identification of amyloid plaques in the brain using an x-ray photon-counting strip detector”, *PlosOne*, 15(2), e0228720, 2020.
- [47] M.S.S. Gobo, L.D.H. Soares, and M.E. Poletti, “Effective atomic number of breast tissues determined by transmission and scattering methods”, *Radiation Physics and Chemistry*, vol.167, pp.108260, (2020).
- [48] A.L.C. Conceição, K. Meehan, M. Antoniassi, M. Piacenti-Silva, M.E. Poletti, “The influence of hydration on the architectural rearrangement of normal and neoplastic human breast tissues”, *Heliyon*, 5, 12-19, (2019).
- [49] E. Fredenberg, P. Willsher, E. Moa, D.R. Dance, K.C. Young, M.G. Wallis, “Measurement of breast-tissue x-ray attenuation by spectral imaging: Freshand fixed normal and malignant tissue”, *Phys. Med. Biol.*, vol.63, pp.12, (2018).
- [50] E. Fredenberg et all., “Measurement of breast-tissue x-ray attenuation by spectral mammography: Solid lesions”, *Phys. Med. Biol.*, vol.61, pp.2595-2612, (2016).
- [51] S. Mirji, N.M. Badiger, S.S. Kulkarni, P.B. Gai, and M.K. Tiwari, “Measurement of linear attenuation coefficients of normal and malignant breast tissues using synchrotron radiation”, *X-Ray Spectrom.*, vol.45, pp.185-189, 2016.
- [52] A. Kirrander, K. Saita, And D.V. Shalashilin, “Ultrafast x-ray scattering from molecule”, *J. Chem. Theory Comput.*, vol.12, pp. 957–967, (2016).

- [53] T. Northey, A.M. Carrascosa, S. Schäfer, And A. Kirrander, “Elastic x-ray scattering from state-selected molecules”, *J. Chem. Physics*, vol.145, pp.1–9, (2016).
- [54] J.H., Hubbell, S.M. Seltzer, “Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy Absorption Coefficients 1 keV to 20 MeV for Elements $Z = 1$ to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest”, *Report NISTIR*, pp. 5632, 1995.
- [55] C. Theodorakou, M.J. Farquharson, “Human soft tissue analysis using x-ray or gamma-ray techniques”, *Phys. Med. Biol.* Vol.53, pp.111–149, 2008.
- [56] G. Harding, J. Kosanetzky, U. Neitzel, “X-ray diffraction computed tomography”, *Med. Phys.* Vol.14, pp.515–525, 1987.
- [57] H. Zaidi, “Comparative evaluation of photon cross-section libraries for materials of interest in PET Monte Carlo simulations”, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol.47, pp.2722–2735. 2000.
- [58] J.H. Scofield, “Theoretical Photoionization Cross Sections from 1 to 1500 keV”, *Lawrence Livermore Lab. Report UCRL-51326*, 1973.
- [59] J.H. Hubbell, “Photon cross sections, attenuation coefficients, and energy absorption coefficients from 10 keV to 100 GeV.” NSRDS-NBS 29, 1969.
- [60] J. Kosanetzky, B. Knoerr, G. Harding, And U. Neitzel, “X-ray diffraction measurements of some plastic materials and body tissues”, *Med. Phys.*, vol.14, pp.526-532, 1987.
- [61] G. Kidane, R.D. Speller, G.J. Royle, and A.M. Hanby, “X-ray scatter signatures for normal and neoplastic breast tissues”, *Phys. Med. Biol.*, vol.44, pp.1791-1802, (1999).
- [62] A., Chaparian, M. Oghabian, And V. Changizi, “Acquiring molecular interference functions of x-ray coherent scattering for breast tissues by combination of simulation and experimental methods”, *Iran. J. Radiat. Res.*, vol.7, pp.113–117, 2009.
- [63] A., Tartari, C. Bonifazzi, and E. Casnati, “Photon scattering data from X-ray diffraction pattern measurements: correction procedure evaluation”, *Nucl. Instrum. Methods B.*, vol.142, 203–209, 1998.
- [64] A.H. Narten, and H.A. Levy, Liquid water: scattering of X-rays. In: Franks, F. (Ed.), *Water: A comprehensive treatise*, vol. I. New York, London, Plenum Press. (1972).
- [65] A. Tartari, C. Bonifazzi, J.E. Fernandez, M. Bastiano, E. Casnati, C. Baraldi, And G. Di Domenico, “Molecular coherent scattering data for tissue in photon transport Monte Carlo codes”, *Appl. Radiat. Isot.* Vol.53, pp.901–906, (2000).
- [66] B.W. King, and P.C. Johns, “An energy-dispersive technique to measure x-ray coherent scattering form factors of amorphous materials”, *Phys. Med. Biol.*, vol.55, pp.855-871. (2010).

- [67] J.J. Thomson, *Conduction of Electricity Through Gases*, Cambridge University Press Cambridge, London, p. 325. 1906.
- [68] O. Klein, Y. Nishina, "Über die streuung von strahlung durch freie electronen nach der neuen relativistischen quantendynamik von Dirac", *Z. Phys.* Vol. 52, pp. 853–868. 1929.
- [69] H.P. Klug, L.E. Alexander, "X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials." New York: Wiley 1974.
- [70] Y.S. Kim, "Human Tissues: Chemical Composition and Photon Dosimetry Data. A Correction", *Radiation Research* Vol. 60, pp. 361-362. 1974b.
- [71] R.H. Millar, "Experimental X-ray attenuation coefficients at low photon energies for substances of medical importance" *Phys. Med. Biol.* Vol.20, pp.974-979, 1975.
- [72] D.R. White, L.H.J. Peaple, T.J. Crosby, "Measured attenuation coefficients at low photon energies (9.88-59.32 keV) for 44 materials and tissues." *Radiation Research*, Vol. 84, pp. 239-252, 1980.
- [73] C.C. Ferreira a,*, R.E.M. Ximenes Filho a, J.W. Vieira b,c, A. Tomal d, M.E. Poletti, C.A.B. Garcia e, A.F. Maia, 2010
- [74] L.D.H, Soares M.S.S. Gobo, M.E. Poletti, "Measurement of the linear attenuation coefficient of breast tissues using polienergetic x-ray for energies from 12 to 50 keV and a silicon dispersive detector". *Radiation Physics and Chemistry*, Vol.167, pp.1-6. (2020)
- [75] C.T. Chantler, "Theoretical form factor, attenuation and scattering tabulation for $Z=1-92$ from $E=1-10$ eV to $E=0.4-1.0$ MeV". *J. Phys. Chem.* Vol. 24, pp.71–643, 1995.
- [76] S.M. Midgley, "Measurements of the X-ray linear attenuation coefficient for low atomic number materials at energies 32-66 and 140 keV Radiat." *Phys. Chem.* Vol.72, pp.525-535, 2005.
- [77] D.A. Bradley, D.R. Dance, S.H. Evans, C.H. Jones, "Quantitative measurement of small angle gamma ray scattering from water, nylon, and lucite". *Med. Phys.* Vol.16, pp. 851–857. 1989.

EKLER

EK A: Meme eşdeğeri PMMA 'a ait [1] çalışmasının elementel bolluk değerleri verilmektedir. N_i , PMMA 'a ait i . elementi temsil etmekte olup, w_i , i . elementin kütle kesrini ve M_i , i . elementin kütle ağırlığıdır. İnsan meme eşdeğer materyali PMMA için moleküler yoğunluk 1.18 g/cm^3 olarak alınmaktadır.

N_i	w_i	w_i / M_i
H	0.0827	8.2044 E-2
C	0.6045	5.0329 E-2
O	0.3128	1.9551 E-2

EK B: Meme eşdeğeri PMMA 'a ait [2] çalışmasının elementel bolluk değerleri verilmektedir. N_i , PMMA 'a ait i . elementi temsil etmekte olup, w_i , i . elementin kütle kesrini ve M_i , i . elementin kütle ağırlığıdır. İnsan meme eşdeğer materyali PMMA için moleküler yoğunluk 1.185 g/cm^3 olarak alınmaktadır.

N_i	w_i	w_i / M_i
H	0.0806	7.9960 E-2
C	0.5998	4.9938 E-2
O	0.3196	1.9976 E-2

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : FATMA AHAT
Doğum tarihi ve yeri : 1990 Savaştepe/BALIKESİR
e-posta : fatmaahat10@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Fizik	2022
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Fizik	2013
Lise	Akhisar Lisesi	2008