

**POMZA TAŞININ RADYASON ZIRHLAMA
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Rıza ÇEÇEN

Yüksek lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN

2012

Her Hakkı Saklıdır

**AĞRI İBRAHİM ÇEÇEN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POMZA TAŞININ RADYASON ZIRHLAMA
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Rıza ÇEÇEN

FİZİK ANABİLİM DALI

**AĞRI
2012**

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
AĞRI İBRAHİM ÇEÇEN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

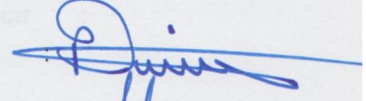
TEZ ONAY FORMU

**POMZA TAŞININ RADYASON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN danışmanlığında, Rıza ÇEÇEN tarafından hazırlanan bu çalışma 18/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu (../..) ile kabul edilmiştir.

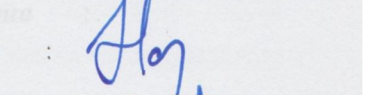
Başkan: Prof. Dr. Lütfü DEMİR

İmza



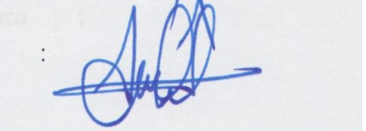
Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN

İmza



Üye : Yrd. Doç. Dr. Adem ÜN

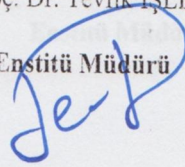
İmza



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Yrd. Doç. Dr. Tevfik İŞLEYEN

Enstitü Müdürü



ÖZET

Y. Lisans Tezi

POMZA TAŞININ RADYASON ZIRHLAMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Rıza ÇEÇEN

Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN

Pomzanın radyasyon zırhlama özellikleri farklı foton enerjileri için kütle soğurma katsayıları ölçülerek araştırılmıştır. 59,5, 80,9, 295,5 ve 361,3 keV enerjili fotonları elde etmek için ^{241}Am ve ^{133}Ba radyoaktif nokta kaynaklar kullanılmıştır. Her bir numune ve enerji için kaynaktan gelen soğurulmamış I_0 şiddeti ve numune tarafından soğurulduktan sonraki I şiddeti MCA ile birleşik bir NaI(Tl) dedektör transmission geometrisinde kullanılarak ölçüldü ve kütle soğurma katsayıları bu şiddetler kullanılarak belirlendi. Foton (X-ışını veya γ -ışını gibi) azaltma kabiliyetini belirlemek için pomza için elde edilen sonuçlar kurşun, çimento ve farklı konsatrasyonda pomza ihtiva eden (%0, %25, %50 ve %75) kurşun ve çimento agregaları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, kütle soğurma katsayılarının deneysel değerleri, Monte Carlo simülasyonu ve WinXCom yazılım ile elde edilen teorik değerler ile karşılaştırılmıştır. Genellikle, standart hata sınırları içerisinde deneysel ve teorik değerler arasında bir uyum vardır.

2012, 67 sayfa

Anahtar Kelimeler: Pomza, Radyasyon, Zırhlama, Kütle soğurma katsayısı

ABSTRACT

MS Thesis

INVESTIGATION OF RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF PUMICE

Rıza ÇEÇEN

Ağrı İbrahim Çeçen University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Yrd. Dr. İbrahim HAN

Radiation shielding properties of pumice have been investigated by measuring mass attenuation coefficients for different photon energies. The ^{241}Am and ^{133}Ba radioactive point source are used to get photons with energy 59,5, 80,9, 295,5 and 361,3 keV. For each sample and energy, I_0 and I intensities which are without and after attenuation were measured by a NaI(Tl) detector coupled to MCA using narrow beam transmission arrangement and mass attenuation coefficients were determined using these intensities. To determine its ability for attenuation of photons (such as X-rays or γ -rays), the results obtained for pumice have been compared with the results for lead, cement and lead and cement aggregate containing different concentrations (0%, 25%, 50% and 75%) pumice. Also, the experimental values of the mass attenuation coefficients have been compared with theoretical values obtained from Monte Carlo simulation and WinXcom software. In most cases, there is an agreement between the experimental and theoretical values within the standard uncertainties.

2012, 67 Pages

Keywords: Pomza, Radiation, Shielding, Mass atenuation coefficient

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde yapılmıştır. Bu çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde tecrübelerini ve kıymetli bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim HAN'a en içten şükranlarımı arz ederim.

Çalışmalarım esnasında laboratuvar imkânlarını sağlayan Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümüne ve öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Lütfü DEMİR'e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında yapmış oldukları katkılardan dolayı kıymetli hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Turgay KORKUT ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Adem ÜN'e teşekkür ederim.

Teşvik ve desteklerinden dolayı değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Rıza ÇEÇEN

Haziran 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. X-Işınları	5
2.2. X-ışınlarının elde edilmesi	7
2.2.1. Sürekli X-Işınları	10
2.2.2. Karakteristik X-Işınları	12
2.3. Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulması	15
2.4. Soğurma Katsayıları	16
2.5. Radyasyon	17
2.5.1. İyonlaştırıcı Radyasyon	18
2.5.2. İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	19
2.5.3. Radyasyonun Canlılara Etkisi	19
2.6. Pomza	21
2.6.1. Türkiyedeki Pomza Rezervinin Potansiyeli	22
2.6.2. Pomzanın Kullanım Alanları	23
2.6.3. Ağrı Yöresi Pomza Karakterizasyonu	23
2.7. Çimento	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	27
3.1. X-ışını Flöresans Tekniği	27
3.2. Na(Ti) Dedektörün Çalışma Prensibi	29
3.3. Sayma Sistemi	37
3.3.1. Yüksek voltaj kaynağı	38
3.3.2. Ön yükseltici	38
3.3.3. Yükseltici	39

3.3.4. Analog sayısal dönüştürücü (ADC).....	39
3.3.5. Çok kanallı analizör (MCA).....	40
3.4. Ölçme Sistemleri ve Deney Geometrisi.....	40
3.5. Numunelerin Hazırlanması	42
3.6. Kütle Soğurma Katsayılarının Ölçülmesi	42
3.7. WinXCom programı	43
3.8. Monte Carlo Simulasyonunda Paralel Hesaplama	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	48
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ADC	Analog sayısal dönüştürücü
A	Atomik kütle
N	Avagadro Sayısı
σ	Compton soğurma katsayısı
MCA	Çok kanallı analizör
$WDXRF$	Dalga boyu ayırmalı X-ışını Floresans Spektrometresi
DSP	Dijital sinyal işlemi
ϑ	Elektron hızı
e	Elektron Yükü
K, L, M, N	Elektronik tabakalar
m_o	Elektronun Durgun Kütlesi
$EDXRF$	Enerji Ayırmalı X-ışını Floresans Spektrometresi
Z_e	Etkin Atom Numarası
ω	Floresans Verim
PM	Fotoçoğaltıcı
τ	Fotoelektrik soğurma katsayısı
Z	Hedef maddesinin atom numarası
c	Işık Hızı
V	İki elektrot (anot ile katot) arasına uygulanan gerilim
$K\alpha$	Karakteristik X-ışını türü
$K\beta$	Karakteristik X-ışını türü
λ_{min}	Kısa dalga boyu
μ_m	Kütle Soğurma Katsayısı
μ	Lineer soğurma katsayısı
λ_{max}	Maksimum şiddetin dalga boyu
t	Numune Kalınlığı (gr/cm ²)
T	Parçacığın kinetik enerjisi
h	Plank Sabiti
TS	Türk standartları
UV	Ultraviyole ısınları
CEM	Uluslararası çimento türü
XRF	X-ışını Floresans

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. X-ışını polarizasyonunu gösteren Barkla deneyi.	6
Şekil 2.2. Coolidge tipi X-ışını tüpü.....	8
Şekil 2.3. 35 keV Mo hedefli bir tüpe ait birincil X-ışınları spektrumu.....	10
Şekil 2.4. Sürekli X-ışını oluşum mekanizması	11
Şekil 2.5. Uyarma (excitation) modeli.....	13
Şekil 2.6. Bir atomda ilgili elektron geçişleri sonucu yayımlanan karakteristik K tabakası X-ışınları.	14
Şekil 2.7. X-ışınlarının bir madde ile etkileşmesi sırasında meydana gelebilecek temel olaylar.	16
Şekil 2.8. Türkiye’deki pomza rezervlerinin dağılımı.	22
Şekil 2.9. Ağrı yöresine ait pomza örneği.....	25
Şekil 2.10. Ağrı bölgesi pomza yataklarının haritası.....	27
Şekil 3.1. XRF tekniği ve tipik XRF analiz düzeneği.	28
Şekil 3.2. Sintilasyon dedektöründeki temel işlemler.	30
Şekil 3.3. Bir organik sintilatörde elektronik yapı.	32
Şekil 3.4. Bir kristaldeki enerji bantları. Sol taraf, NaI gibi saf bir kristaldeki, sağ taraf NaI(Tl)'daki Tl (Talyum) gibi bir aktivatörün bulunması durumunu ve temel işlemler.	33
Şekil 3.5. Bazı fotoçoğaltıcı tüplerle birleşik NaI(Tl) sitilatörleri.	34
Şekil 3.6. Bir Fotoçoğaltıcı tüpün çalışma şeması.	35
Şekil 3.7. Kullanılan NaI(Tl) dedektörünün fotoğrafı.....	36
Şekil 3.8. Sayma sistemi	37
Şekil 3.9. Desktop Inspector	38
Şekil 3.10. Deney geometrisi	41
Şekil 3.11. Deney sistemi.....	42
Şekil 3.12. Hesaplamalarda kullanılan WinXCOM programının bilgisayar ekranındaki görüntüsü.....	44
Şekil 3.13. Pomza taşının WinXCom programına tanıtılması	45

Şekil 3.14. Hesaplamalarda kullanılan WinXCom programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü.....	47
Şekil 4.1. Pomza, Çimento ve PbO için elde edilen deneysel kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması	55
Şekil 4.2. Pomza, Çimento ve PbO için Monte Carlo simülasyon tekniğinden elde edilen kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.	56
Şekil 4.3. Pomza, Çimento ve PbO için WinXCom yazılımından elde edilen kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.....	56
Şekil 4.4. 59,5 keV de Pomza-Çimento (a) ve Pomza-PbO (b) numunelerinin kütle soğurma katsayılarının numunedeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimi	57
Şekil 4.5. 80,9 keV de Pomza-Çimento (a) ve Pomza-PbO (b) numunelerinin kütle soğurma katsayılarının numunedeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimi	58
Şekil 4.6. 295,5 keV de Pomza-Çimento (a) ve Pomza-PbO (b) numunelerinin kütle soğurma katsayılarının numunedeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimi	58
Şekil 4.7. 361,3 keV de Pomza-Çimento (a) ve Pomza-PbO (b) numunelerinin kütle soğurma katsayılarının numunedeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimi	59
Şekil 4.8. Pomza'nın kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi	59
Şekil 4.9. PbO'nın kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi	60
Şekil 4.10. Çimento'nun kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi	60
Şekil 4.11. %25 Çimento-%75 Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi	61
Şekil 4.12. %50 Çimento-%50 Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi	62
Şekil 4.13. %75 Çimento-%25 Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi	62
Şekil 4.14. %25 PbO-%75 Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi	63

Şekil 4.15. %50 PbO-%50 Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.	63
Şekil 4.16. %75 PbO-%25 Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişim	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri	14
Çizelge 2.2. Radyasyon dozuna bağlı olarak görülebilecek semptomlar	20
Çizelge 2.3. Ağrı bölgesine ait pomzanın içeriği.	24
Çizelge 2.4. Kullanılan çimentonun analiz raporu.	26
Çizelge 3.1. NaI(Tl) detektörünün karakteristik özellikleri.	36
Çizelge 4.1. İncelenen numuneler için 59,5 keV uyarıcı foton enerjisinde kütle soğurma katsayıları.....	49
Çizelge 4.2. İncelenen numuneler için 80,9 keV uyarıcı foton enerjisinde kütle soğurma katsayıları.	49
Çizelge 4.3. İncelenen numuneler için 295,5 keV uyarıcı foton enerjisinde kütle soğurma katsayıları.	50
Çizelge 4.4. İncelenen numuneler için 361,3 keV uyarıcı foton enerjisinde kütle soğurma katsayıları.	50

1.GİRİŞ

TS 2823 (1977) standartlarına göre pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görünümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1gr/cm^3 ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir doğal hafif agregadır. Pomza taşı agregası yaklaşık %70 boşluk içermektedir (Özkan *et al.* 2001). Pomza kayacının içerdiği SiO_2 kayaca aşındırıcı özellik kazandırmaktadır. Bu yüzden çeliği rahatlıkla aşındırabilecek bir kimyasal yapı sergileyebilmektedir. Yine içerdiği Al_2O_3 bileşimi ise pomzaya ateşe ve ısıya karşı yüksek dayanım özelliği kazandırır. Pomza içeriğinde bulunan Na_2O ve K_2O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir. Pomzanın kırma ve eleme yoluyla beton yapımına elverişli hale getirilmiş şekline de pomza agregası adı verilmektedir (Çağlayan *et al.* 2003). Deneysel ve gözlemsel analiz tekniklerindeki son gelişmelerin ışığında, pomza oluşumları üzerinde yapılan fiziko-kimyasal ve teknomekanik analiz değerlendirmeleri neticesinde, pomza taşının farklı endüstri alanlarında kullanımı gündeme gelmiştir. Günümüzde pomza karayolu buzlanmalarında, demiryolu inşaatlarında, hidrolik çimento yapmada, aşındırıcı endüstrisinde, boya üretiminde, kimya sanayinde, seramik endüstrisinde, gübre üretiminde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlara ilave olarak pomzanın beton agregası olarak kullanılabilirliği de gün geçtikçe ilgi çeken kullanım alanlarından birisidir (Yaşar *et al.* 2005).

X-ışını Floresans (XRF) spektrometreler çevresel, jeolojik, biyolojik, kimyasal, fiziksel, endüstriyel ve benzeri alanlarla ilgili numunelerin kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitel) element analizleri için yaygın olarak kullanılırlar. Günümüzde XRF tekniği ile ilgili uygulamalar için pek çok spektrometre geliştirilmiştir. X-ışını spektrometrelerinin temel fonksiyonu karakteristik çizgi şiddetlerini ölçmek ve numuneden gelen çok enerjili şuyayı ayırmaktır. Bir spektrometrenin karakteristik çizgileri ayırabilme kabiliyetine spektrometrenin rezolüsyonu (ayırma gücü) denir.

Efe et al. (1998) Türkiye’de yetişen ve idrar söküçülüğüne inanılan bitkileri (folia betuloe, stylus maydis, flores verbeaci, equisetum arvense ve flos helichysis) XRF sistem

ile incelemişlerdir. Zehirli ögelere raslanılmayan bu otların kuru ve yaş şekillerinde element seviyelerinin farklı olduğu ancak element içeriklerinin fayda sağlayıcı düzeyde olmadıkları belirtilmiştir. *Mantler et al.* (2000) toprak altından çıkarılan ortaçağ sikkeleri, çeşitli camlar ve narin Çin kâğıtlarından oluşan sanat ve arkeoloji objelerin elementel analizini XRF tekniği ile yapmış ve elde ettikleri sonuçlardan hareketle, kıymetli arkeolojik eserlerin incelenmesinde XRF yönteminin sınırlılıklarını ve radyasyonun hasarlarını tartışmışlardır. *Dede et al.* (2001) insanlar üzerine çevresel koşulların etkilerini belirlemek için temiz ortamlarda bulunan ve otomobil sanayisinde çalışan insanlardan oluşan iki gurubun saçlarını XRF ile incelemişlerdir. İnsan saçlarında biriken elementlerin miktarlarının çevre şartlarına bağlı değiştiği ve element miktarları üzerinde ilgili ortamda kalma süresinin de etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca sigara içen insanların saçlarında içmeyenlere nazaran daha fazla miktarda Fe ve Pb elementine rastlanmıştır. *Ferrero et al.* (2004) 17-20yy arasındaki çeşitli dönemlere ait, farklı tekniklerle yapılmış 8 adet gravürün kâğıt ve mürekkep karakterizasyonunu enerji ayrımlı X-ışını floresans (EDXRF) sistemle incelenmiş ve gravürlerin inorganik bileşenlerini belirlemişlerdir. Kırılgan, narin sanat objelerinin tahribatsız ve hızlı analizi için EDXRF spektrometrenin uygun bir teknik olduğunu belirtmişlerdir. *Üstündağ et al.* (2007) Rize-Çayeli ve Mardin yörelerinden alınan pirit cevher örneklerini PEDXRF spektrometre kullanarak analiz etmişler ve pirit cevherinde toprak elementleri de dahil olmak üzere pek çok elementin olduğunu belirlemişlerdir. *Feng et al.* (2007) lantana maruz kalmış saçların beyinde bulunan elementlere (Ca, Cl, K, Fe Cu ve Zn) etkisinin olup olmadığını araştırmak için dişi sıçanlara farklı doz grupları verilmiş ve yavrular elde edilmiştir. Yavru sıçanlardan çıkarılan beyinler -80 derecede dondurulup, 4,3 mm'lik kesitler alınarak XRF ile incelenmiştir ölçüm sonuçlarından hareketle beyindeki element seviyelerinde değişiklikler olduğu saptanmıştır. *Mohapatra et al.* (2007) Hindistan'da yaşayan iki çamur yengeci ve üç karides türü EDXRF sistem ile element analizi yapmışlardır. Çalışmanın sonuçlarından hareketle biyolojik materyallerin analizinde EDXRF tekniğinin kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. *Akkurt et al.* (2009) tarafından alternatif yapı malzemesi olabileceği düşünülen Gölcük-Isparta bölgesine ait pomzanın lineer soğurma katsayılarını hesaplayarak diğer bazı yapı malzemelerinden barit, limra ve mermer için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Pomzanın lineer soğurma katsayılarını diğer yapı malzemelerine nazaran küçük olduğunu

belirlemişlerdir. *Grieten et al.* (2009) taşınabilir el tipi X-ışını floresans (XRF) spektrometresi ile Dünyanın yüksek profilli foto grafik koleksiyonlarında biri olan Alfred Stieglitz koleksiyonundaki çalışmaların metalik element analizini yapmışlardır. *Pashkova* (2009) dalga boyu ayrımlı X-ışını floresans (WDXRF) sistemi kullanılarak süt, çeşitli süt ürünleri ve bebek mamalarında Mineraller (Na, Mg, P, S, Cl, K ve Ca) ve iz elementlerinin (Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr ve Br) konsantrasyonları tespit edilmiştir. Numuneler için elde edilen elemental kompozisyonları, farklı ülkelerden daha önce rapor edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. *Kalfa et al.* (2010) EDXRF sistem ile standart ekleme yöntemini kullanarak boraks atıklarında Al, Fe, Zn, Sn ve Ba konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlardan hareketle tinkal(bor) cevheri atıklarının EDXRF tekniği ile analiz edilebilir olduğunu ve bu tekniğin nicel ve jeokimyasal çalışmalar için kullanışlı bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. *Akkurt et al.* (2010-a) barit ve baritten üretilen betonlar için 662, 1173 ve 1332 keV’de kütle soğurma katsayılarını bir NaI(TI) detektörü kullanarak ölçmüşlerdir. Elde edilen sonuçları standart koruyucu malzeme olan kurşun için elde edilenler ile karşılaştırmışlar ve Barit(BaSO_4)’in inşaatlarda kullanılan betona alternatif malzeme olarak doğrudan kullanılabileceğini belirtmişlerdir. *Kaewkhao et al.* (2010) Bi_2O_3 ve BaO içeren borat ve PbO için 662 keV’de kütle soğurma katsayılarını ve yarı tabaka kalınlıklarını deneysel olarak ölçüp sonuçları WinXCom programını kullanarak hesaplanan teorik değerlerle karşılaştırmışlardır. Numunelerdeki yoğunluk artışı ile kütle soğurma katsayılarının arttığını ve borat camların Pb yerine radyasyon zırlaması için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. *Akkurt et al.* (2010-b) farklı konsantrasyonlarda (% 0, % 10, % 30 ve %50) beton agrega içeren zeolitler için lineer soğurma katsayılarını ölçmüşler ve elde ettikleri sonuçlardan hareketle zeolitin radyasyondan korunmada alternatif bir materyal olarak kullanılabilecek bir seçenek olmadığını belirlemişlerdir. *Akkurt et al.* (2010-c) Türkiye’nin Afyonkarahisar bölgesinde üretilen bazı mermer malzemelerin doğal radyoaktivitelerini belirlemek için doz oranlarını ölçmüşlerdir. Sonuç olarak Afyonkarahisar’ da üretilen mermerlerin doğal radyoaktivite nedeniyle kabul edilebilir sınırlar arasında olduğunu ve binalarda kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. *El-Khayatt* (2010) farklı kireç/silika oranları içeren betonların radyasyon koruyuculuklarını incelemiştir ve kireç/silika oranlarının ayarlanarak nötron koruyucu betonlar elde edilebileceğini belirtmiştir. *Akkurt et al.* (2011) AISI 316L östenitik paslanmaz çeliğin

borlama işlemi ile mıknatıslanma ve radyasyon koruyucu özelliğini 662, 1170 ve 1332 keV foton enerjilerinde incelemişlerdir. Borlama işlemi sonunda östentik paslanmaz çeliğin mıknatıslanma ve radyasyondan koruyucu özellikte olduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada saf pomza, pomza oranının %25, %50 ve %75 oranlarında değiştiği Pomza-PbO ve Pomza-Çimento numuneleri hazırlanmıştır. Saf pomza ve hazırlanan karışımlarının radyasyon tutuculukları ile ilgili fikir yürütebilmek için her bir numunenin kütle soğurma katsayıları farklı radyoaktif kaynaklardan yayımlanan çeşitli enerjilerdeki fotonlar için deneysel olarak ölçülmüştür. Ayrıca numuneler için kütle soğurma katsayıları teorik olarak da (WinXCom programı ve Monte Carlo simülasyon tekniği) ayrı-ayrı hesaplanmıştır.

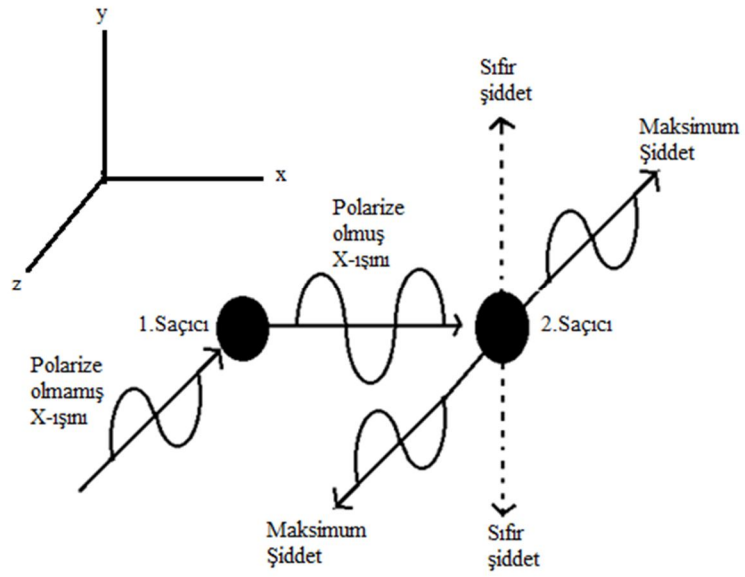
2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. X-Işınları

Wilhelm Conrad Röntgen 1895’de madde üzerine düşen hızlı elektronların, bilinmeyen tabiatlı son derece girici ışımlar meydana getirdiğini gözlemişti. Mahiyetleri tam olarak bilinmediği için X-ışınları diye adlandırılan bu ışınların giricilik ve şiddetlerinin başlangıçtaki elektronların hızlarıyla doğru orantılı olduğu yani elektronlar ne kadar hızlı ise oluşan X-ışınlarının da o kadar girici ve şiddetli olduğu tespit edilmişti. Bir madde üzerine düşen ışık etkisiyle maddeden elektron sökülmesi temeline dayanan fotoelektrik olay, fotonların elektronlara enerji aktarabileceğini ve bu enerjiyi soğuran elektronların serbest kalarak harekete geçebileceğini göstermiştir. X-ışınlarının keşfi ile bu olayın tersinin de mümkün olabileceği yani hareketli bir elektronun kinetik enerjisinin tümünün veya bir kısmının bir fotona dönüşebileceği anlaşılmıştır.

Elektromanyetik kuram, ivmeli bir elektrik yükünün elektromanyetik dalga yayımlamasını öngörür. Aniden durdurulan hızlı bir elektron da tabii ki ivmeli hareket yapar, dolayısıyla elektronun durdurulmasıyla oluşan X-ışınları da elektromanyetik dalgalardır. Bu elektromanyetik dalgaların yani X-ışınlarının; elektrik ve manyetik alanlar içinde bir sapmaya uğramadan doğru yollar boyunca ilerlediği, saydam olmayan maddeler içinden kolayca geçtiği, fosforlu maddelerin parlamasına yol açtığı ve fotoğraf plakalarına etki ettiği, keşiflerinden kısa süre sonra bulunmuştu. X-ışınlarının dalga tabiatı ilk kez 1906’da, bunların polarizasyonunu göstermeyi başaran Barkla tarafından ortaya konmuştur. Barkla’nın deney düzeneği Şekil 2.1’de çizilmiştir. Barkla’nın deneyi, X-ışınlarının elektromanyetik dalgalar olduğu kabulü altında çözümlenebilir. Deneyde -z yönünde kutuplanmamış (polarize olmamış) bir X-ışını demeti soldaki küçük bir karbon bloğu üzerine düşer. Bu ışınlar karbon tarafından saçılır; bu demektir ki, karbon atomları içerisindeki elektronlar X-ışınlarının elektrik vektörleri tarafından titreşime geçirilir ve sonra yeniden ışıma yaparlar. Bir elektromanyetik dalgadaki elektrik alan vektörü dalganın yayılma doğrultusuna dik olduğundan, ilk X-ışınları

yalnızca x-y düzlemi içinde kalan elektrik alan vektörleri ihtiva eder. +x yönünde saçılan X-ışını, yalnızca y doğrultusunda elektrik vektörüne sahip olabilir ve bu nedenle düzlem polarize olmuştur. Bu polarizasyonu göstermek için, ışının yolu üzerine sağdaki gibi bir başka karbon blok konur. Bu bloktaki elektronlar, y doğrultusunda titreşmekle kısıtlanmıştır ve bu nedenle, yalnızca x-z düzlemi içinde yayılan X-ışınları ışıır, y doğrultusunda ışıma olmaz. Saçılan X-ışınlarının x-z düzlemi dışında gözlenemeyişi X-ışınlarının dalga özelliğini doğrular.



Şekil 2.1. X-ışını polarizasyonunu gösteren Barkla deneyi.

X-ışınlarının dalga boylarını ölçmek için bir kırınım deneyinin ideal olacağı düşünülmüştü. Optik fiziğinden bilindiği üzere; bir kırınım deneyinde doyurucu sonuçlar alabilmek için kırınım ağındaki iki komşu örgü çizgi arasındaki mesafenin ışığın dalga boyu ile aynı mertebede olması gerekir. Fakat X-ışınları için önerilen dalga boyları çok küçük olduğu için X-ışınlarının gerektirdiği dar aralıklarla kırınım ağı yapmak o dönem için mevcut sistemlerle mümkün değildi. 1912’de Max von LAUE X-ışınları için önerilen dalga boylarının bir kristalde birbirine komşu iki atom arasındaki uzaklıkla kıyaslanabileceğini ileri sürdü ve örgüleri üç boyutlu bir kırınım ağı gibi davranacak olan kristallerin X-ışınlarını kırınıma uğratmak için kullanılmalarını önerdi. Daha sonra yapılan deneylerde X-ışınlarının dalga tabiatı başarıyla gösterildi. X-ışınları için $1,3 \times 10^{-11}$ den $4,8 \times 10^{-11}$ metreye (0,13’den 0,48 Å’a) kadar dalga boyları

bulunmuştur. Sınıflandırma amacı ile, bugün dalga boyları yaklaşık 10^{-12} – 10^{-8} m (0,01-100 Å) aralığında olan elektromanyetik ışımlar X-ışınları olarak dikkate alınmaktadır. Görünür ışığa kıyasla 10^{-4} kat daha küçük dalga boyuna sahip olan X-ışınları, görünür ışıktan 10^4 kat daha enerjiktirler.

Elektromanyetik yayımlama kaynağına göre yapılan sınıflandırmaya göre gama (γ) ışınlarından radyo dalgalarına kadar yayılmış sürekli ışıma dizisine elektromanyetik spektrum denir. Elektromanyetik ışımların fiziksel özellikleri bütün spektrumda aynıdır. Aynı hız ve aynı elektromanyetik tabiata sahip olan bu ışımlar arasındaki fark dalga boylarıdır (frekanslarıdır). Spektrumda dalga boyları 0,01'den 100 Å'a kadar olan elektromanyetik ışımlar X-ışınları kategorisine girer. Elektromanyetik spektrumun yüksek enerjili kısmına düşen bu kategorinin sınırları keskin değildir. Kısa dalga boyu ucu γ -ışınları ile uzun dalga boyu ucu ise morötesi ışıqla karışır. X-ışınları, nitelik itibariyle sürekli X-ışınları ve karakteristik (veya çizgi) X-ışınları olmak üzere iki grupta incelenebilirler.

2.2. X-ışınlarının Elde Edilmesi

X-ışınları yüksek hıza sahip hareketli yüklü parçacıkların yavaşlatılmasıyla elde edilir. X-ışınlarını elde edilmesinde genellikle yüklü parçacık olarak elektronlar kullanılır. Coolidge X-ışını tüpü (Şekil 2.2), bir elektron kaynağı ve iki elektrottan ibarettir. Elektrotlar arasına çok yüksek bir gerilim uygulandığında termo iyonizasyonla üretilen her bir elektron üzerine;

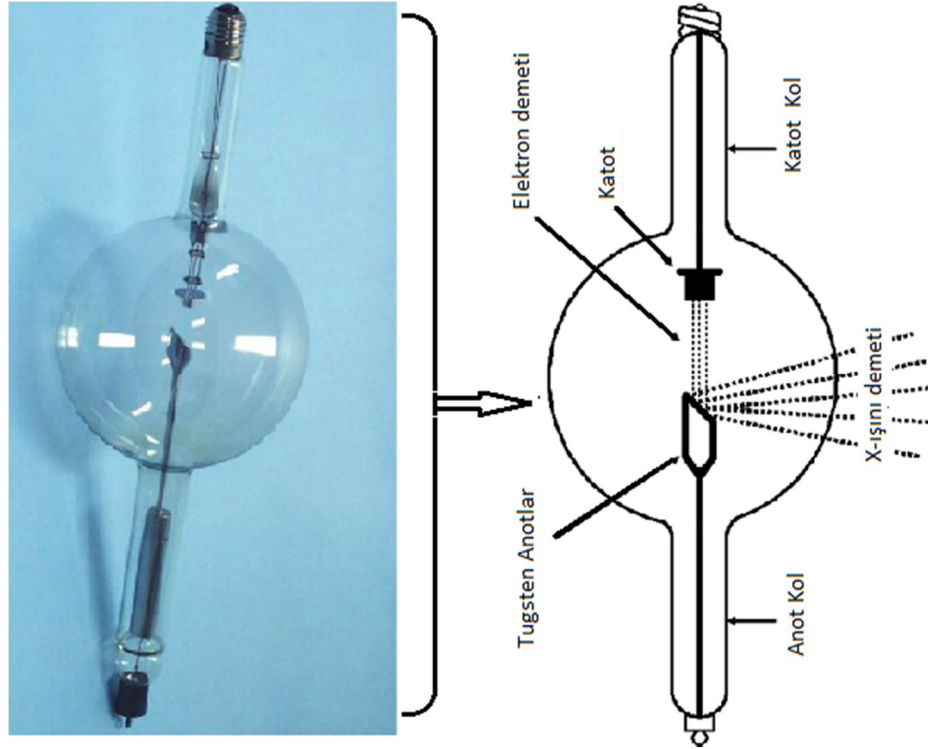
$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (2.1)$$

kuvveti etki eder. Burada, q elektronun yükü ve E , elektrotlar arasındaki elektrik alandır. Bu kuvvetin etkisiyle hareket eden elektronların sahip olduğu kinetik enerji;

$$K = eV = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.2)$$

ile verilir. Burada, e elektronun yükü, m , elektronun kütlesi, θ , elektronun sahip olduğu hız ve V , iki elektrot (anot ile katot) arasına uygulanan gerilimdir.

İvmeli hareket yapan bir yük enerji yayınlar. Tabii ivme pozitif veya negatif olabilir ve bu sebeple ortalama bir durum etrafında devamlı bir şekilde salınan bir elektromanyetik radyasyon kaynağı olarak hareket edebilir. Işık, ışığı yayınlayan kaynak cismin atomlarındaki elektronların titreşiminden oluşur. Benzer şekilde X-ışınları yukarıda belirtildiği gibi çok yüksek hıza (dolayısıyla kinetik enerjiye) sahip yüklü parçacığın (elektronun) tüpün anoduna çarptıktan sonra frenlenmesiyle elde edilir.



Şekil 2.2. Coolidge tipi X-ışını tüpü.

Tüpün anoduna (hedefine) elektronlar geri saçılırlar. Saçılma kesri anodun atom numarası ile artar. Hedef atomlarındaki dış elektronlar veya hedef metalin her tarafını kaplayan elektron gazı (plazma elektronları) ile etkileşerek hedef yüzeyinin içine saçılabilir. Bu valans ve plazma elektronlarının çoğu düşük-enerjili (<50 eV) ikincil elektronlar tarafından anottan sökülebilir. Böyle etkileşmelerin her biri gelen

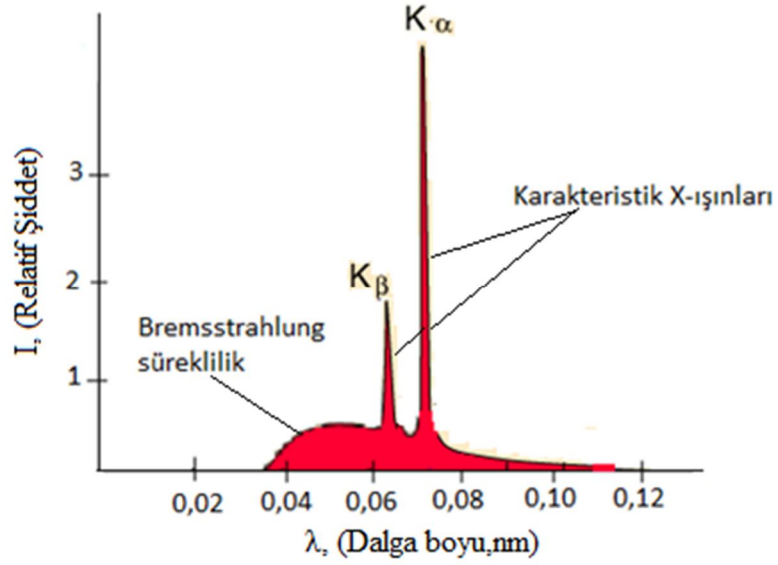
elektrondan 10-100 eV aralığında bir enerji alır. Geri saçılmayan elektronların çoğu bu işleme maruz kalır. Elektronlar, hedef atomlarının iç yörünge elektronları ile etkileşebilir. Böyle etkileşme ihtimaliyeti yukarıdaki iki işlem için olanla karşılaştırıldığında küçüktür. Bu hedef atomlarının karakteristik X-ışınlarının yayınlanmasına neden olur.

Sürekli spektrum, yüksek hızlı elektronlar anot maddesinde adım adım yavaşlatıldığında meydana gelir. Bir elektron enerjisini birden fazla adımda kaybettiğinden her birinin enerjisi ve dolayısıyla dalga boyu birbirinden farklı X-ışınları yayınlanır. Başka bir elektron farklı enerjilerde X-ışınları yayınlar. Bazı elektronlar ise aynı fotonlar gibi bütün enerjilerini bir tek frenlenme işlemiyle kaybedebilirler. Böylelikle maksimum enerjiye veya minimum dalga boyuna sahip bir X-ışını fotonu yayınlanmış olur ve X-ışınlarının kısa dalga boyu sınırı ortaya çıkmış olur ($\lambda_{\min}$). Elektronun sahip olduğu maksimum enerji elektronun kinetik enerjisine bu da yayınlanan X-ışını fotonun enerjisine eşit olduğundan

$$E = eV = hc/\lambda \Rightarrow \lambda = hc/eV \Rightarrow \lambda = 12.396/V \quad (2.3)$$

elde edilir. Bu eşitlik Duane-Hunt yasası olarak adlandırılır. Bu kanun Duane-Hunt sınırının ve kısa dalga boyu sınırının $\lambda_{\min}$ hesaplanmasına izin verir. Burada λ angström ($\text{\AA}$) birimindedir ve V hızlandırıcı gerilim olup birimi Volttur. Yukarıda bahsedildiği gibi birçok elektronun ürettiği X-ışını fotonları bir süreklilik oluşturmaktadır.

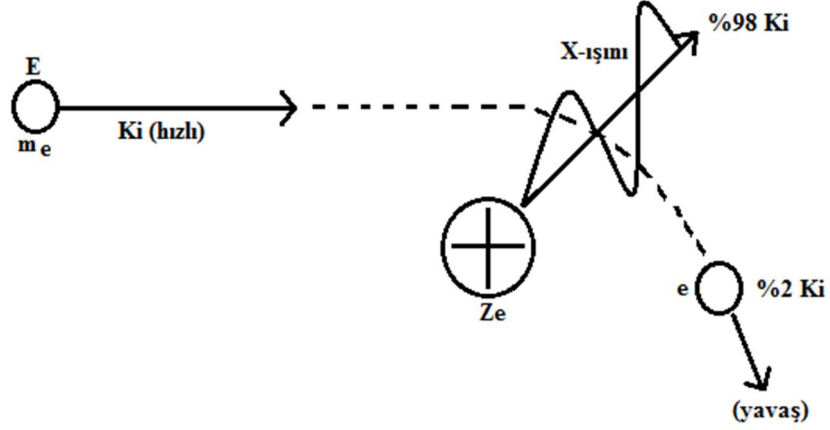
Hedef anoda çarpan bir elektron hedefin atomlarından birinin iç yörüngelerinden bir elektron koparabilir veya onu daha dış yörüngelere uyarılabilir. Bu sırada iç yörüngede kalan boşluk dış yörüngelerdeki bir elektron tarafından doldurulur ve bu esnada o elementin karakteristik X-ışınları yayınlanır Karakteristik X-ışınları o elemente özgü enerji ve dalga boyuna sahiptir ve her elementin karakteristik X-ışınları farklı enerjilere sahiptir. Bir X-ışını tüpünde hızlı elektronlarla dövülen hedef element kendine özgü X-ışınları yanında sürekli bir spektrum da yayar (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. 35 kV altında Mo hedefli bir tüpe ait birincil X-ışınları spektrumu.

2.2.1. Sürekli X-ışınları

Sürekli X-ışınları; elektronlar, protonlar veya α parçacıkları gibi yüksek enerjili, yüklü parçacıkların ağır çekirdeklerin Coulomb alanından geçerken enerji kaybetmeleri bir başka deyişle nükleer saçılmalarla hedef içerisinde adım-adım yavaşlatılmaları sonucu meydana gelirler. Sürekli X-ışınlarının oluşumu Şekil 2.4’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu etkileşimde yüklü parçacığın ısıdığı enerji, sürekli spektrum veya Bremsstrahlung (frenleme radyasyonu) spektrumu olarak isimlendirilir. Sürekli X-ışını spektrumları geniş bir frekans aralığını kapsayan sürekli bir ışımaya karşılık gelmektedir. Bu nedenle sürekli X-ışınlarına beyaz X-ışınları da denir. Sürekli X-ışını emisyonu, klasik elektromanyetik teoriye göre şöyle açıklanabilir. İvmeli hareket eden yükler elektromanyetik ışımada bulunurlar. Yüksek enerjili elektronlar bir hedefe çarptıkları zaman bu elektronların enerjilerinin %1’i sürekli X-ışınlarının oluşmasına yol açar. Sürekli X-ışınlarının üretilmesinde X-ışını tüpleri temel kaynaktır.



Şekil 2.4. Sürekli X-ışını oluşum mekanizması.

Hedefe (bir X-ışını tüpünde anoda) çarpan elektronlardan çok az bir kısmı enerjilerini bir defada ve tümüyle bir X-ışını fotonu olarak yayımlayabilir. Bu elektronlar maksimum frekanslı (minimum dalga boyu) ışımaları oluştururlar. Minimum dalga boyu (λ_{min}) hedef üzerine gelen elektronun tüm kinetik enerjisini ($E = eV_o$) tek bir fotona vermesine karşılık geldiğine göre, $E_x = hc/\lambda_{min}$ yayımlanan X-ışınının enerjisi olmak üzere λ_{min} için;

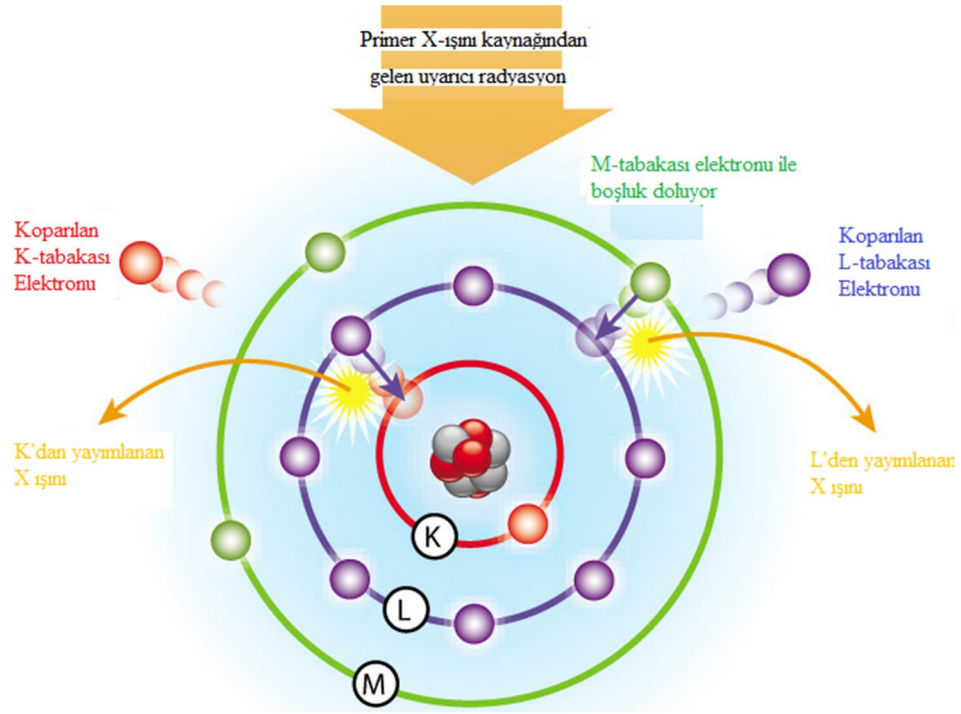
$$\frac{hc}{\lambda_{min}} = eV_o \Rightarrow \lambda_{min} = \frac{hc}{eV_o} \quad (2.4)$$

yazılabilir. Bir X-ışını tüpünde elektronlarla meydana getirilen sürekli X-ışını spektrumu, uyarıcı elektronların maksimum enerjilerine karşılık gelen, λ_{min} kısa dalga boyu sınırıyla karakterize edilir. Burada, h Planck sabiti ($6,62 \times 10^{-27}$ erg·s), c ışık hızı, e elektronun yükü ve V_o ise tüpe uygulanan potansiyeldir. Kısa dalga boyu sınırı ile uygulanan potansiyel arasındaki bu ilişki Duane-Hunt kanunu olarak bilinir.

2.2.2. Karakteristik X-Işınlari

Bir atomda elektronlar atomun merkezinde bulunan çekirdek etrafında yörünge olarak adlandırılan enerji katmanlarında dolanırlar. Her bir elektronun hızından kaynaklanan bir kinetik enerjisi ve çekirdekten uzaklığına bağlı olarak da sahip olduğu bir potansiyel enerjisi vardır. Bu nedenle enerji düzeylerinde hareket eden elektronların kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına eşit olan bir enerjileri vardır. Elektronların sahip oldukları enerji iç tabakalardan dış tabakalara doğru gidildikçe artar. Bu sayede çekirdek çevresindeki elektronlar yüksek hızlarla dönmelerine rağmen konumlarını muhafaza ederler. Bu elektronların uzaysal konumları herhangi bir enerji etkisi ile bozulursa; iç tabakalara veya dış tabakalara doğru elektron geçişleri olur. Atomun herhangi bir iç tabakasından sökülen elektronun yerinde kalan boşluk, üst tabakadaki elektronlar tarafından belli geçiş kurallarına ve enerjinin minimumluğu prensibine uygun olarak doldurulur. Böyle bir doldurma sırasında enerji farkı bir X-ışını fotonu olarak yayımlanır. Bu foton yayımlandığı malzemeye has özellikler taşıdığı için o elementin karakteristik X-ışını diye adlandırılır.

Atomlar, elektron yörüngeleri arasındaki enerji farkına eşit enerjiyi soğurarak veya yayımlayarak kuantum mekaniği ile açıklanabilen izinli yörüngeler arasında geçişler yapabilirler. Atomun enerji soğurarak üst seviyelere çıkması uyarma (excitation), uyarılmış elektronun enerji yayımlayarak temel hale geçmesi ise uyarılmışlıktan kurtulma (de-excitation) olarak adlandırılır. Uyarılmışlıktan kurtulma tek bir basamakta olabileceği gibi birkaç basamakta da olabilir ve her bir geçişte seviyeler arası enerji farkına eşit değerde enerji taşıyan bir foton (karakteristik X-ışını) yayımlanır. Bunlar spektrumda karakteristik çizgiler denilen $K\alpha$, $K\beta$, $L\alpha$, $L\beta$, $L\gamma$, $M\alpha$, $M\beta$, ... çizgilerini oluştururlar. Bir uyarma işlemi sonucunda meydana gelebilecek geçişlerin temsili gösterimi Şekil 2.5’de verilmiştir.

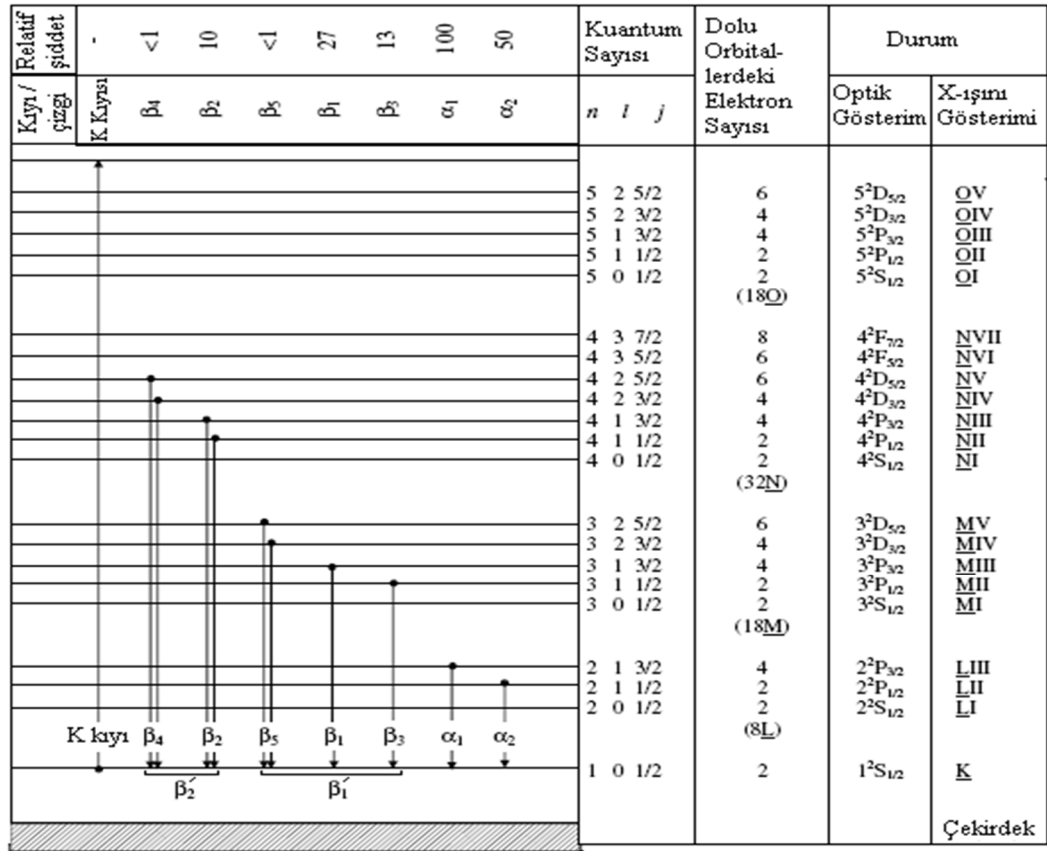


Şekil 2.5. Uyarma (excitation) modeli.

Herhangi bir tabaka veya alt tabakadaki bir boşluk üst tabakalardan bir elektron ile doldurulduğu zaman yayımlanan X-ışınlarının Siegbahn ve IUPAC gösterimleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Bir atomun K kabuğunda meydana getirilen elektron boşluğu şayet L kabuğunda bulunan bir elektron tarafından doldurulacak olursa, böyle bir elektron geçişi sonucunda yayımlanan fotonun frekansı, karakteristik spektrumunun $K\alpha$ çizgisine karşılık gelir. K kabuğundaki boşluk M kabuğundaki bir elektron tarafından doldurulursa $K\beta$ çizgisine karşılık gelen fotonlar yayımlanır. Şayet hedef metali üzerine çarpan elektronların enerjileri K kabuğundan elektron sökecek kadar büyük değilse, L, M, N, ... kabuklarından birinden bir elektron sökülebilir ve bu kez K kabuğuna benzer olarak L kabuğunda meydana gelen boşluğun M, N, ... kabuklarındaki elektronlarla doldurulması esnasında $L\ell$, $L\alpha$, $L\beta$, ..., M kabuğu için $M\alpha$, $M\beta$, $M\gamma$, ... ve N kabuğu için $N\alpha$, $N\beta$, ... çizgileri kısaca L, M ve N serileri ortaya çıkmış olur. İlgili elektron geçişleri sonucunda K tabakasından yayımlanan karakteristik X-ışınları Şekil 2.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. X-ışını diyagram çizgilerinin Siegbahn ve IUPAC gösterimleri.

Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC	Siegbahn	IUPAC
$K\alpha_1$	$K-L_3$	$L\alpha_1$	L_3-M_5	$L\gamma_1$	L_2-N_4	$M\alpha_1$	M_5-N_7
$K\alpha_2$	$K-L_2$	$L\alpha_2$	L_3-M_4	$L\gamma_2$	L_1-N_2	$M\alpha_2$	M_5-N_6
$K\beta_1$	$K-M_3$	$L\beta_1$	L_2-M_4	$L\gamma_3$	L_1-N_3	$M\beta$	M_4-N_6
$K\beta_2'$	$K-N_3$	$L\beta_2$	L_3-N_5	$L\gamma_4$	L_1-O_3	$M\gamma$	M_3-N_5
$K\beta_2''$	$K-N_2$	$L\beta_3$	L_1-M_3	$L\gamma_4'$	L_1-O_2	$M\xi_1$	M_5-N_3
$K\beta_3$	$K-M_2$	$L\beta_4$	L_1-M_2	$L\gamma_5$	L_2-N_1	$M\xi_2$	M_4-N_2
$K\beta_4'$	$K-N_5$	$L\beta_5$	$L_3-O_{4,5}$	$L\gamma_6$	L_2-O_4		
$K\beta_4''$	$K-N_4$	$L\beta_6$	L_3-N_1	$L\gamma_8$	L_2-O_1		
$K\beta_5'$	$K-M_5$	$L\beta_7$	L_3-O_1	$L\gamma_8'$	L_2-N_6		
$K\beta_5''$	$K-M_4$	$L\beta_9$	L_1-M_5	$L\eta$	L_2-M_1		
		$L\beta_{10}$	L_1-M_4	$L\ell$	L_3-M_1		
		$L\beta_{15}$	L_3-N_4				
		$L\beta_{17}$	L_2-M_3				

**Şekil 2.6.** Bir atomda ilgili elektron geçişleri sonucu yayımlanan karakteristik K tabakası X-ışınları.

2.3. Elektromanyetik Radyasyonun Soğurulması

X-ışınlarının gözlemlenmesi onların enerji spektrumlarının ve madde ile etkileşmelerinin incelenmesi ile mümkündür. X-ışınlarının madde ile etkileşmeleri etkileşme tarzlarına göre soğurma, saçılma ve çift oluşum olayları olarak incelenebilir.

Elektromanyetik radyasyonun soğurulmasının temel özelliği Şekil 2.7 de gösterildiği gibi belli bir kalınlıktaki maddeden geçerken radyasyon şiddetinde görülen azalmadır. Radyasyonun şiddetinde meydana gelen azalma Lambert yasasına göre soğurucu malzemenin t kalınlığı ile orantılıdır. Başlangıçtaki şiddeti I_0 olan elektromanyetik radyasyonun bir soğurucu tabakasından geçtikten sonraki I şiddeti;

$$dI = -\mu I dt = I = I_0 e^{-\mu t} \quad (2.5)$$

olur. Bu ifade başlangıçtaki şiddeti I_0 olan bir X-ışını şuasının t kalınlıklı bir maddeyi geçtikten sonraki şiddetini verir. Lineer soğurma katsayısı olan μ (cm^{-1}) birim yüzeyde, birim kalınlık başına düşen enerji soğurma kesri olarak tarif edilir ve gelen fotonun enerjisine bağlıdır. (2.6) ifadesinden μ için;

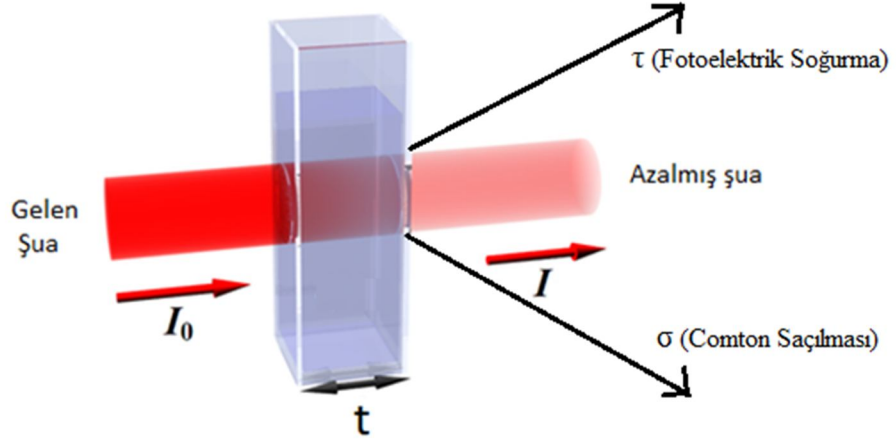
$$\mu = \frac{\ln(I_0/I)}{t} \quad (2.6)$$

yazılabilir. Lineer soğurma katsayısı μ 'nın soğurucu maddenin yoğunluğuna oranı birim zamanda birim kütle başına soğurma olarak tanımlanır ve kütle soğurma katsayısı ($\mu_m = \mu/\rho$) olarak adlandırılır.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\ln(I_0/I)}{t\rho} \quad (2.7)$$

Kütle soğurma katsayısı μ/ρ 'nin değeri soğurucu materyalin fiziksel haline bağlı olmadığından dolayı lineer soğurma katsayısı μ 'den çok daha önemlidir. Kütle soğurma

katsayısı direkt olarak soğurucu materyalin tabiatını yansıtır. Bu nedenle lineer soğurma katsayısından kütlesel soğurma katsayısını ölçmek çok daha uygundur.



Şekil 2.7. X-ışınlarının bir madde ile etkileşmesi sırasında meydana gelebilecek temel olaylar.

2.4. Soğurma Katsayıları

Madde-foton etkileşimleri için soğurma katsayıları lineer, kütlesel, atomik ve molar soğurma katsayıları olmak üzere dört şekilde tanımlanır.

Birim yüzeyde birim kalınlık başına düşen enerji azaltma kesrine lineer soğurma katsayısı denir. Yani birim yüzeye gelen enerjinin birim kalınlıkta azaltılma kesridir:

$$\mu = \frac{\ln(I_0/I)}{t} \quad (\text{cm}^{-1}) \quad (2.8)$$

Birim alanda birim kütlesel başına düşen azaltmayı ya da alınan enerji kesri olan kütlesel soğurma katsayısı

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{cm}^2/\text{g}) \quad (2.9)$$

şeklinde verilir. Birim alanda atom başına düşen azaltma kesri, atomik soğurma katsayısı olarak adlandırılır ve

$$\mu_a = \frac{\mu}{\rho} \frac{A}{N} = \frac{\mu}{n} \text{ (cm}^2\text{/atom)} \quad (2.10)$$

şeklinde verilir. Birim alanda mol başına düşen azaltma olan molar soğurma katsayısı

$$\mu_{mol} = \frac{\mu}{\rho} A \text{ (cm}^2\text{/mol)} \quad (2.11)$$

olur. Bu azaltma ifadeleri birbirleri cinsinden,

$$\mu = \mu_m \rho = \mu_a \rho (N/A) = \mu_m (\rho/A) \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir. Burada A atomik kütle ve N Avogadro sayısıdır.

2.5. Radyasyon

Günlük hayatımızın hemen her alanında, gerek doğal yollardan, gerekse teknolojik gelişmelerin getirdiği kolaylıkların, belki de bir bedeli olarak sürekli radyasyona maruz kalmaktayız. Hiç farkında olmadığımız bir şekilde organlarımız, dokularımız radyasyonla etkileşime girmektedir. Bu etkileşim bazı durumlarda gözle görülür sonuçlar doğururken, bazen de hiç haberimiz olmadan vücudumuzun içinden geçip gitmektedir.

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleri ile yayılan enerjidir. Radyasyon, daima doğada var olan ve birlikte yaşadığımız bir olgudur. Radyo ve televizyon iletişimini olanaklı kılan radyo dalgaları; tıpta, endüstride kullanılan X-ışınları; güneş ısınları; günlük hayatımızda alışkın olduğumuz radyasyon çeşitleridir. Radyasyon birçok insanın düşündüğü gibi 1900'lu yıllarda keşfedilmesi ile ortaya çıkan bir tehlike değildir. Tam aksine ilk çağlardan beri vardır. Ancak, teknolojinin ve

sanayileşmenin gelişmesi, uranyum elementinin elde edilmesi ve kullanılması ile radyasyonun zararlı etkileri giderek artmıştır. Radyasyon; iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere ikiye ayrılır.

2.5.1. İyonlaştırıcı radyasyon

İçine girdiği ortamı iyonlara ayırtıran radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denir. İyonlaştırıcı radyasyon elektromanyetik ve parçacıklı radyasyon olarak ikiye ayrılır:

- γ ve X-ışınları gibi büyük enerjili (Yüksek frekanslı) dolayısıyla küçük dalga boylu radyasyonlar elektronik radyasyon olarak bilinirler. Radyoaktif bozunmalar yada nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan kararsız atom çekirdeklerinden yayınlanan γ -ışınları bir elektrik yüküne sahip değildir ve manyetik alanda sapmazlar.
- Parçacıklı Radyasyonlar: Alfa (α) Işınları: +2 yüklü He atomları (He^{++}) olan α parçacıkları parçacık radyasyonuna örnek olarak verilebilir. α parçacıkları bir kâğıt parçası veya cildimiz tarafından durdurulabilir. Beta (β) Işınları: (+) veya (-) alabilen β parçacıkları su, cam veya bir metal levhayla durdurulabilirler. Atom çekirdeğinden yayınlanan α ve β parçacıkları belli bir kütleyle sahiptirler. Alfa ve beta ışınları kütleleri ve elektriksel yüklerinden dolayı, X ve gama ışınlarına göre, maddelere daha az nüfuz ederler. Ancak, bu ışınların iyonlaştırıcı etkileri daha fazladır. Nötron ve proton ise kütleleri alfa parçacıklarının dörtte biri kadar olan nükleer taneciklerdir. Çeşitli nükleer reaksiyonlar sırasında çekirdekten kopan nötron ve protonlar insan sağlığı için en tehlikeli radyasyonlardır. Özellikle nötron, elektrik yükü olmadığından çok büyük nüfuz etme özelliğine sahiptir. Yüksüz radyoaktif parçacıklar olan serbest nötronlar her maddeye kolayca girebilirler.
- Doğrudan iyonlaştırıcı özellikleri olmayan serbest nötronların, girdikleri maddelerin nötronları ile etkileşimleri sonucu α , β , γ ve X-ışınları yayınlanmasına sebep olabilirler.

2.5.2. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar

Ultraviyole ışınlar (UV) gibi asıl kaynağı güneş olan ışınlar optik radyasyon denir. UV ışınları güneş tam doğarken bolca yayılmaktadır. UV ışınları beyaz elbise giyilerek engellenebilir. Bazen bu ışınlar kar veya kumdan yansıyarak kar ve güneş körlüğü yapabilir. UV ışınların giriciliği az olduğu için büyük oranda deri ve gözleri etkilemektedir. Deri kanserlerinin %80'i UV ışınlarından kaynaklanmaktadır.

2.5.3. Radyasyonun canlılara etkisi

Uzayda saniyede yaklaşık 300.000 km gibi çok yüksek hızlarla hareket eden elektromanyetik radyasyon kolaylıkla insan vücuduna nüfuz edebilir ve vücudu oluşturan hücrelere hasar verebilirler. Ayrıca, bu ışınların hücrelerin kimyasal yapılarını değiştirmeleri de mümkündür. Özellikle elektrik yüklü ışınlar saniyenin binde biri gibi çok kısa süre içinde hücre moleküllerini parçalayıp iyonlarına ayrıştırabilirler. Radyasyona maruz kalan bir hücre fizyolojik işlevlerini yitirebilir veya ölebilir. Ölen hücrelerin yerine yenileri üretildiğinden az sayıda hücrenin ölümü canlı hayatını çok olumsuz etkilemez. Ancak, yüksek radyasyon sonucu çok sayıda hücrenin aniden ölmesi veya normal çalışmasının bozulması canlının sağlığını önemli ölçüde etkileyecek bir olaydır. Hayati önemi fazla olan dokularda (kemik iliği, dalak, kan ve üreme hücreleri) radyasyonun etkisi daha erken görülür. Çünkü bu hücreler daha çabuk çoğaldığından bir hücredeki hasar, sakat doğan yeni hücrelerle çığ gibi büyür. Bu ise uzun bir zaman dilimi içerisinde her an bir tümör olarak sonuçlanabilir. Radyasyonun kanserojen etkisi bu şekilde ortaya çıkmaktadır. En büyük tehlike ise hücre çekirdeği içindeki DNA'ların bozulmasıdır. DNA'lardan oluşan kromozomların yapılarının değişmesi, taşıdığı sırların kaybolması ve yeni genetik yapıları hücreler haline dönüşmesi sonucunda ebeveyne benzemeyen yeni bir genotip ortaya çıkar. Bu farklılaşmaya mutasyon adı verilir. Eğer bu durum, bireyin üreme hücrelerinde gerçekleşirse radyasyondan kaynaklanan bu değişiklik gelecek nesillere de aktarılır(Kıpçak, 2009).

Yüksek dozda radyasyona maruz kalmış bireylerde kanda ve kan yapan organlarında tahribat (anemi, lösemi), ciltte ateş yanığını andıran yaralar, gözde katarakt, kısırlık, kanser ve kalıtsal bozukluklar görülebilir. Kısa bir süre belirli bir radyasyon dozuna maruz kalan insanlarda görülebilecek rahatsızlıklar insandan insana farklılıklar gösterebilmekle birlikte Çizelge 2.2 de verilen genel etkiler söz konusudur.

Çizelge 2.2. Radyasyon dozuna bağlı olarak görülebilecek semptomlar.

Radyasyon	Açıklamalar
Dozu (rem)	
50	Gözlenebilir bir biyolojik etki meydana getiren en küçük radyasyon dozudur. Bu doz kandaki akyuvar sayısında geçici bir değişiklik meydana getirir.
100 – 200	Radyasyona maruz kalan bir insanda 3 saat içerisinde kusma ile birlikte yorgunluk ve iştahsızlık görülür. Bu tür hastalarda bir kaç hafta içinde iyileşme gözlenir.
300	Radyasyon dozuna maruz kalan kişilerde 2 saat içinde kusma ve halsizlik baslar. Yaklaşık 2 hafta sonra ise saçlar dökülmeye baslar. Bir ay ile bir yıl arasında bu kişilerin %90'ı iyileşir. Vücut tarafından alınan radyasyon dozunun artmasıyla gözlenen etkiler daha belirgin ve ciddi olmaya başlar.
400	Radyasyon dozuna maruz kalan kişilerde bir kaç saat içerisinde başlayan bulantı ve kusma dönemini iştahsızlık, halsizlik, ateş ve saç dökülmesi izler. Yaklaşık iki hafta sonra ağızda iltihaplanma görülür, ishal ile birlikte hızlı kilo kaybı baslar. Bu dozda radyasyona maruz kalan fertlerin %50'si 2 ile 4 hafta içinde ölür.
600	Ölüm oranı %90'a çıkar. Kalanların iyileşmesi ise çok uzun süren tedaviler gerektirir

2.6. Pomza

Türkçeye İtalyancadan girmiş olan pomza sözcüğü yerine ponza, pomza taşı, sünger taşı, köpüktaşı, kisir, hışırtaşı, nasırtaşı, küvek isimleri de yer yer kullanılmaktadır. Fransızcada ponce diye adlandırılan pomzanın iri taneli olanına İngilizcede pumice(pümis), Almancada bimstein denir iken ince taneli olanına İngilizcede pumicite(pumist) ve Almancada bims denir.

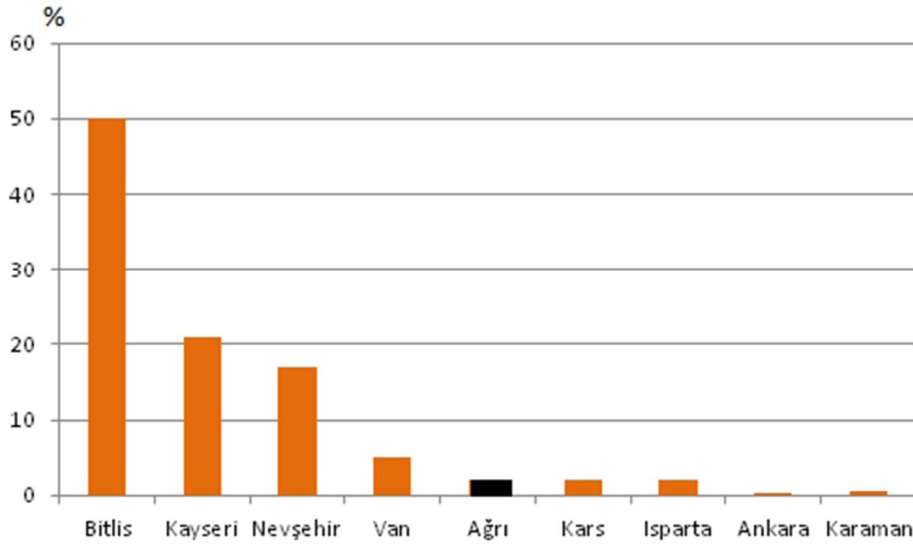
Asidik ve bazik volkanik faaliyetler sonucunda iki tür pomza oluşumu mevcuttur: Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Diğer bir deyişle bazik pomzaya bazaltik pomza veya scoria da denilmektedir. Bazaltik pomza koyu renkli, kahverengimsi siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı $1-2 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan tür olan asidik pomza ise kirli beyaz, grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Asidik pomzanın özgül ağırlığı, bazik pomzaya göre daha az olup $0,5-1 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Diğer taraftan bazik karakterli pomzalarda alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda olması nedeniyle gübre sanayinde katkı maddesi olarak, tarımda toprak ıslahı amacıyla vs. kullanım alanı bulabilmektedir(Bilgiç, 2009).

Birçok kullanım alanına sahip olan ve en çok inşaat sektöründe kullanılan pomzanın ülkemizde de bu alandaki kullanımı giderek artmakta ve önem kazanmaktadır. Pomza cevheri, inşaat sektöründe, yapı malzemesi olarak değişik amaçlarla üretilen hafif betonların elde edilmesinde agrega olarak kullanılmaktadır. Pomzadan taşıyıcı, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı bileşenleri ya da yapı elemanları üretmek mümkündür. Pomza taşı hafif agregasıyla üretilen betonlar, taşıyıcı beton olmalarının dışında, ısı yalıtımı ve ses emme amacıyla blok olarak kullanılabilen duvar panoları da üretilir. Pomza taşının öğütülmesi ile elde edilen puzolanlar çimento hammaddesi olarak kullanılabilirler. Pomza taşının yurdumuzda yaygın olan özel kullanımı da beton duvar blokları ve asmolen blok şeklindedir. Oysa pomza taşı agregasıyla

üretile farklı nitelikteki betonlar, yapının taşıyıcı sisteminde kullanılabileceği gibi ısı ve ses izolasyonu açısından da yapı fiziği sorunlarının çözümünü sağlamaktadırlar.

2.6.1. Türkiye'nin pomza rezerv potansiyeli

Ülkemiz pomza rezervleri açısından oldukça önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu potansiyel uzun yıllar değerlendirilememiştir. Türkiye genelindeki dağılımı ise Şekil 2.9'da verilen pomza mevzuat açısından yıllarca maden olarak görülmemiş ve maden kanunu kapsamında değerlendirilmemiştir. Bu da pomza üretim ve ihracatının gelişmesini engellemiştir. Pomza, ancak 09.11.1976 tarihinde, yürürlükten kaldırılan 6309 sayılı Maden Kanunu'nda yapılan değişiklikle, "Maden Kanunu Hükümlerine Tabi Tutulacak Maddeler Hakkında Kararname" ile Maden Kanunu kapsamına alınmıştır.



Şekil 2.8. Türkiye'deki pomza rezervlerinin dağılımı (Anonim, 2006).

2.6.2. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza taşı eski Romalılar zamanında çoğunlukla termal banyoların ve tapınakların yapımında kullanılmıştır. Bu tür eserler de günümüze kadar ulaşmıştır. Roma Pantheonu ve İstanbul'daki Ayasofya Kilisesi bu döneme ait en önemli örneklerdir.

Daha sonra 1800'lerde Almanya'da kullanıldığı bilinmektedir. Ancak o tarihlerde Avrupa genelinde çok fazla kullanımı olmamıştır. Pomzanın yapı malzemesi olarak kullanılması 1851 yılında California'da başlamış ve daha sonra da hızla yayılmıştır.

Pomzanın kullanım alanları inşaat, tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstri sektörleri başlıkları altında toplanabilir. Pomzanın dünyada ve ülkemizde en büyük tüketim alanı inşaat sektörüdür. Ülkemizde üretilen pomzanın yaklaşık % 80'inin inşaat sektöründe kullanılmaktadır.

Konutlarda kullanılan malzemenin hafifliği, binanın ölü ağırlığının düşük bir değerde olmasına direkt etki eder. Bina statığı açısından, bina ölü ağırlığının mühendislik parametrelerinden belirli sınır değerleri korumak koşulu ile düşürülmeye çalışılması, binanın olası gelebilecek şok darbelere ve titreşimlere karşı daha duyarlı ve stabil olmasını sağlamaktadır. Bu bakımdan, inşaat sektöründe kullanılan, hafif agregaların önemi giderek artmaktadır. Pomza inşaat sektöründe; hafif sıva, harç, beton ve prefabrik yapı elemanlarının üretiminde, izolasyon amaçlı çatı ve döşeme dolgu malzemesi olarak, çatı ve dekoratif kaplama elemanı üretiminde kullanılmaktadır.

2.6.3 Ağrı Yöresinde Çıkarılan Pomzanın Özellikleri

Ağrı ve yöresinde rezerv potansiyeli açısından ülkemiz için çok önemli pomza maden sahaları mevcuttur. Ağrı bölgesi pomza yataklarının bulunduğu bölgenin haritası Şekil 2.10'da ve bu bölgeden alınan pomzaların resmi Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Ağrının deprem kuşağı geçen yerleşim merkezlerine olan yakınlığı dolayısı ile pomza deprem güvenliği için inşaat sektöründe kullanılabilir. Yine Ağrı pomza yataklarının sınır kapılarına yakınlığı nedeniyle farklı kullanım alanlarına hitap edebilen pomza, yurt dışına ihraç edilebilir.



Şekil 2.9. Ağrı yöresine ait pomza örneği.

Pomzanın oluşumu esnasında, magmanın kimyasal bileşimine bağımlı olarak farklı ve karmaşık bir yapı arz eden kimyasal bileşime sahip olmaktadır. Ağrı yöresinden alınan pomzanın WDXRF spektrometreyle belirlenen içeriği Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Ağrı bölgesine ait pomzanın içeriği.

Element	Yüzde (%)	Bileşik	Yüzde (%)
C	0,4812	Na ₂ O	5,24
O	41,4736	MgO	0,33
Na	1,5831	Al ₂ O ₃	15,95
Mg	0,0757	SiO ₂	65,25
Al	7,1959	P ₂ O ₅	0,11
Si	41,6478	K ₂ O	5,91
P	0,0073	CaO	1,67
S	0,0111	TiO ₂	0,33
Cl	0,2489	MnO	0,11
K	6,2859	Fe ₂ O ₃	4,46
Ca	0,4505	Cl	0,31
Mn	0,0296	Rb ₂ O	0,12
Fe	0,4911	BaO	0,18
Zn	0,0041		
Rb	0,0078		
Zr	0,0076		
TOPLM	100	TOPLM	100

2.7. Çimento

Çalışmada Aşkale Çimento fabrikasının 2011 yılı şubat ayında üretilmiş olan katkılı çimentosu CEM II /B-M 32,5 R(P-LL)(TS EN 197-1) kullanılmıştır. Bu çimentonun fabrikada yaptırılan kimyasal analizlerinin ve fiziksel test sonuçları Çizelge 2,4’de verilmiştir (Aşkaleçimento.com).

Çizelge 2.4. Kullanılan çimentonun analiz raporu.

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO₂	18.44	İncelik (0,09mm elek üstü %)	1.2
Al₂O₃	4.5	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.86
Fe₂O₃	3.21	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	4630
CaO	56.5	Litre Ağırlık (gr)	921
MgO	2.57	Priz Başlangıcı (saat-dk)	3h-18min
SO₃	2.14	Priz Sonu (saat-dk)	4h-18min
Kızdırma kaybı	11.38	Hacim Genişlemesi (mm)	1
Na₂O	0.17	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	
K₂O	0.53	2. Gün	14.9
Cl	0.0086	7. Gün	27.4
Ölçülemeyen	0.57	28. Gün	38.5
Toplam	100	Eğilme Dayanımı(N/mm ²)	
s.CaO	0.54	2. Gün	3.2
Katkı %	33.27	7. Güm	5.1
		28. Gün	6.6

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. X-Işını Flöresans Tekniği

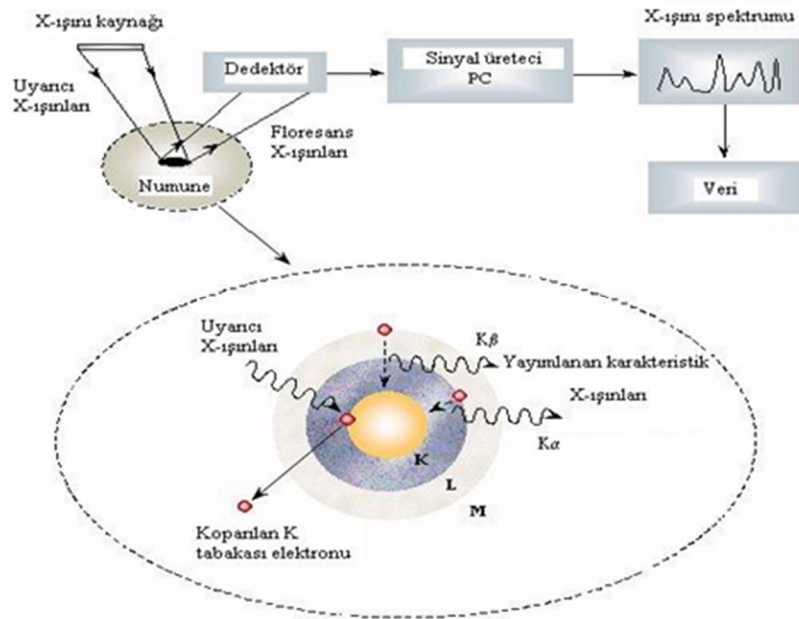
X-ışını floresans (XRF) tekniği; analiz süresinin kısalığı, tahribatsız oluşu, değişik formlarda numune hazırlayabilme kolaylığı, periyodik tablodaki elementlerin hemen-hemen tamamının incelenebilmesine imkân tanınması, yüksek hassasiyet (ppm), ucuz maliyet ve otomasyon kolaylığı gibi avantajlara sahip olduğundan bilim ve teknolojide yaygın bir kullanım alanına sahiptir. XRF tekniği; atom-molekül, radyasyon, astrofizik araştırmaları, çevre kirliliği analizleri, eczacılık, kimya ve tıbbi araştırmalar, endüstride kalite kontrol tespiti, arkeolojide çok kıymetli tarihi eserlerin incelenmesi ve yaşlarının belirlenmesi gibi çok farklı alanlarda kullanılmaktadır.

XRF spektrometreler çevresel, jeolojik, biyolojik, kimyasal, fiziksel, endüstriyel ve benzeri alanlarla ilgili numunelerin kantitatif (nicel) ve kalitatif (nitel) element analizleri için yaygın olarak kullanılırlar. Günümüzde XRF tekniği ile ilgili uygulamalar için pek çok spektrometre geliştirilmiştir. X-ışını spektrometrelerinin temel fonksiyonu karakteristik çizgi şiddetlerini ölçmek ve numuneden gelen çok enerjili şüayı ayırmaktır. Bir spektrometrenin karakteristik çizgileri ayırabilme kabiliyetine spektrometrenin rezolüsyonu (ayırma gücü) denir.

Bir spektrometre yeterli rezolüsyona sahip olmanın yanında özellikle eser element analizlerinde istatistik bakımdan önemli ölçümler yapabilmek için temel sayma üzerinde yeterince büyük bir cevap sağlamalıdır. Ayrıca spektrometre ilgilenilen enerji veya dalga boyu bölgesinde ölçüm yapabilme imkânı sunmalıdır. Bu yüzden spektrometre seçiminde rezolüsyon, cevap fonksiyonu (karakteristik pik), temel sayma seviyesi ve enerji veya dalga boyu aralığı faktörleri önemlidir. Bu faktörler birbirinden bağımsız değildir. Mesela rezolüsyonu sabit tutmak mutlak pik şiddetinin düşmesine sebep olur.

XRF tekniğinin temel prensibi Şekil 3,1’de gösterilmiştir. Bir atom herhangi bir yöntemle uyarıldığında atomun bir iç tabaka elektronu koparılabilir. Atomun temel hale geçişi (de-excitation) sırasında daha dış tabakadaki bir elektron bu iç tabakadaki boşluğu doldurur. İki tabaka arasındaki enerji farkı bir X-ışını fotonu olarak atomdan yayımlanır. Karakteristik piklerin sayısı bir karakteristik X-ışını spektrumu oluşturur. Piklerin enerjileri numunedeki elementlerin enerjilerini (kalitatif analiz), piklerin şiddeti ise elementlerin konsantrasyonlarını (semi-kantitatif yada kantitatif analiz) verir.

Tipik bir XRF spektrometre; bir pirimer radyasyon kaynağı (genellikle bir radyoizotop kaynak veya X-ışını tüpü) ve numuneden yayımlanan karakteristik X-ışınlarını (sekonder X-ışınları) saymak için kullanılan bir dedektör grubundan oluşur.



Şekil 3.1. XRF tekniği ve tipik XRF analiz düzeneği.

3.2. NaI(Tl) Dedektörün Çalışma Prensibi

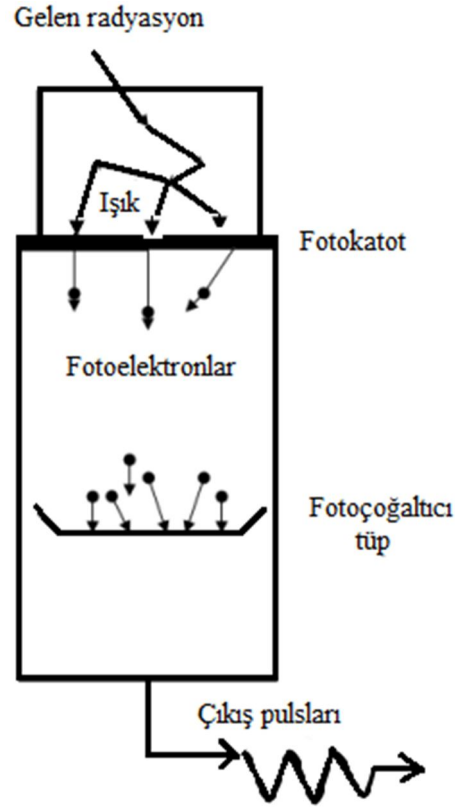
Aralarında sodyum iyodür, sezyum iyodür, antrasin, naftalin ve fenantirinin bulunduğu bazı maddelere bir tek yüklü parçacık, x-ışını veya gama ışını çarptığı zaman bir ışık parıltısı meydana getirirler. Bu gibi maddelere sintilatör adı verilir. Bu ışık parıltıları elektirik pulslarına dönüştürülürki, bu pulslar yükseltilecek sayılabilir. Dedeksiyon ve sayma için gerekli düzenek bir sintilasyon sayacı olarak bilinmektedir.

Gazlı sayaçların, nükleer fiziğin ilgilendiği pek çok radyasyon için elverişsiz tarafı düşük verimli olmalarıdır. 1 MeV'lik γ -ışınlarının havadaki menzili 100 m civarındadır. Büyük yoğunluğa sahip katı dedektörler, uygun boyutlarda olduğu zaman, uygun soğurma olasılıkları verirler. Ancak iyi çalışabilir bir katı dedektör yapmak için, birbiriyle çelişen iki kritik şartın sağlanması gerekir:

1. Elektron ve iyonların yeteri kadar birikip elektronik pulsların oluşabilmesi için yüksek elektrik alana dayanabilecek dedektör materyaline ihtiyaç vardır. Radyasyon olmadığında az veya hiç akım geçmemelidir, böylece taban sayım gürültüleri küçük olacaktır.

2. Elektronlar, gönderilen radyasyon ile atomdan kolayca ve çok sayıda koparılabilmelidir. Elektronlar ve ilk iyonlaşan atomlar materyal boyunca kolayca hareket edebilmelidirler (gerçekte, iyonların kendileri katı içinde hareket etmezler: bunun yerine elektronik boşluklar veya "hol"ler bir atomdan diğerine geçen ardışık elektronlar tarafından doldurulurlar. Böylece "hol" hareket ediyormuş gibi görünür).

Birinci şart, yalıtkan bir materyal seçimini gerektirirken, ikinci şart bir iletken kullanımını önermektedir. Bu iki şartın bir yarıiletken ile sağlanacağı açıktır. Sintilasyon sayaçları materyal seçimindeki ikilemi şöyle çözer. İyonlaşma sonucu oluşan elektronlar elektronik pulslarla oluşturan elektronlar aynı değildir. İyonlaşma elektronuyla puls elektronları arasında bir aracı vardır, bu ışıktır. İşlemin tamamı Şekil 3.2 incelenerek anlaşılabilir.

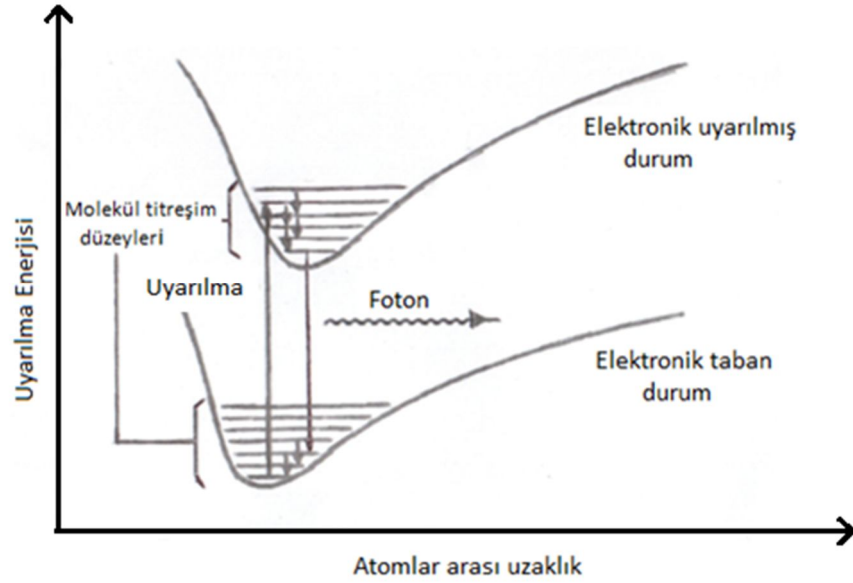


Şekil 3.2. Sintilasyon dedektöründeki temel işlemler.

1. Bir yüklü parçacık veya bir fotonun sebep olduğu ilk iyonlaştırmadan dolayı kristalin içinde serbest elektronlar meydana gelir.
2. Bu elektronların kristalin atom veya moleküllerine bağlanması ile görünür bölgede, yaklaşık 3300 Å'dan 5000 Å'a kadar değişen dalga boyunda ışık yayınlanır.
3. Kristalden yayınlanan bu ışınlar foto-çoğaltıcı tüpün fotokatodu üzerine düşerler. Fotokatodun yüzeyi, ince bir sezyum-antimon alaşımı levhadan yapılmış olduğundan, buraya gelen ışınlar buradan elektron yayınlanmasına sebep olurlar.
4. Foto-çoğaltıcı, her bir dinot'da (çoğaltıcıda) peş peşe ve voltaj artmaları olacak şekilde, yaklaşık 800 ile 1500 volt arasında bir voltajda çalıştırılır. Bu ise elektronların fotokatottan son dinot'a kadar giderken sayılarının peş peşe artması neticesini verir.

Sintilatör ve fotoçoğaltıcı (PM) tüplerin kullanılacak uygulamalara bağlı olarak pek çok değişik tipleri mevcuttur. Sintilatörün seçiminde göz önünde bulundurulacak özellikler, ışık çıkışı (ışık olarak görünecek gelen enerji kesri), verim (radyasyonun soğurulma olasılığının bir ölçüsü), zamanlama ve enerji çözme gücüdür. Kolay elde edilebilen bir sintilatör olan NaI kristali, nem kapıcıdır; su buharına maruz kaldığında saydam kristal halden donuk toz hale geçer. Bu yüzden kristalin foto-çoğaltıcıya optik kontak yapılan yüzü haricinde bütün çevresi Al levha ile kaplanır. Bu levhanın iç kısmı magnezyum oksitle kaplıdır ki, bu ışık yansıtıcı olarak iş görür. Diğer taraftan pek çok plastik sintilatöre, bir kesici ile kesilerek, arzu edilen şekli vermek mümkündür.

Bir sintilatörün çalışmasını anlamak için, enerjinin soğularak, elektronların uyarılmış durumlara çıkmasıyla ilgili mekanizmayı göz önüne almamız gerekir. Temel olarak iki tip sintilasyon dedektörü vardır: birisi organik diğeri inorganik materyaller içerir. Organik sintilatörlerde (katı veya sıvı olabilir) moleküller arası etkileşmeler nispeten zayıftır ve bunların özellikleri moleküllerin kesikli uyarılmış seviyeleri cinsinden tartışılabilir. Bir molekülün enerji soğurabileceği iki yol vardır. Elektronlar daha yüksek uyarılmış duruma geçirilebilirler ve moleküldeki atomlar titreşebilirler. Tipik bir titreşim enerji aralığı 0,1 eV iken elektronik uyarılma enerjileri için bu birkaç eV civarındadır. Sonuç yapı, Şekil 3,3'deki gibidir. Uyarılmış elektronlar genellikle materyale kuvvetli bir bağ ile bağlı değildir. Benzenin halka yapısı gibi aromatik hidrokarbonlarda karbonun dört değerlik elektronunun 3'ü hibritleşmiş yörüngelerdedirler ve bunlara σ yörüngeleri denir. Bunlar her karbon arasına kuvvetli şekilde yerleşmiştir. π yörüngesi denilen yörüngede bulunan 4. elektronun yerleşimi böyle değildir ve σ elektronları kadar kuvvetli olarak bağlanma işlemine katılmazlar. Bu π elektronları sintilasyon işlemine en çok cevap verenlerdir.



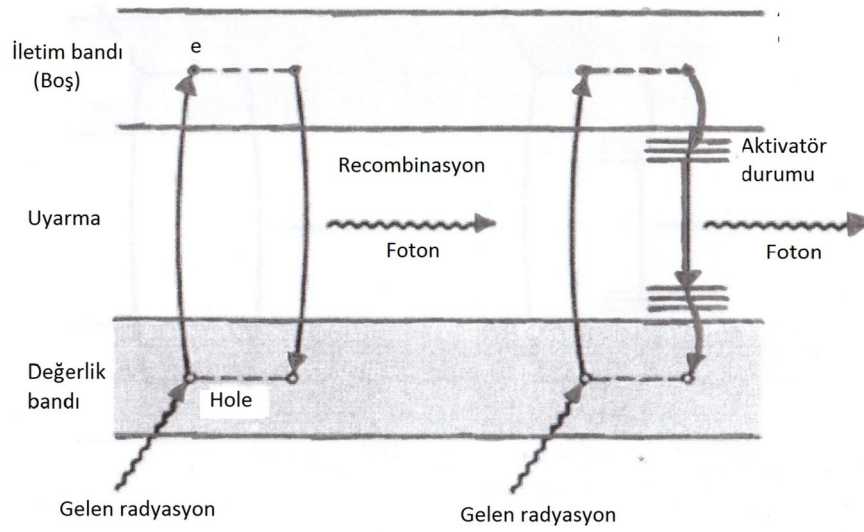
Şekil 3.3. Bir organik sintilatörde elektronik yapı.

Sayaç içine giren radyasyon birçok moleküle, her etkileşimde birkaç eV kaybederek etkileşir ve molekülü uyarır. Birçok mümkün titreşim durumu uyarılabilir (ve aynı zamanda birçok mümkün elektronik uyarılmış durum; basit olması nedeniyle sadece en düşük elektronik uyarılmış durum olarak gösterilmiştir). Bunlar hızla (~ 1 ps) elektronik uyarılmış durumların en düşük titreşim durumlarına bozunurlar ve sonra elektronik taban durumun bir titreşim durumuna bozunurlar (~ 10 ns). Bunlar da hızla titreşim taban durumuna geçerler.

Normal şartlarda, oda sıcaklığında, sintilatör moleküllerinin hepsi elektronik taban durumun en düşük titreşim durumundadır. Oda sıcaklığındaki termal enerji 0,025 eV'dir ve Boltzmann dağılımına göre, $e^{-E/kT}$ elektronik taban durumunun üstünde herhangi bir titreşim durumu bulmak olası değildir. Böylece, birçok yayınlanmış foton geçişlerinden sadece birisi soğurulma olasılığına sahiptir. Bu, sintilatörün önemli bir özelliği olan sintilatörlerin kendi ışıklarına şeffaf olduklarını ifade eder.

İnorganik sintilatörlerden en yaygın kullanılanı bir alkali halojenürün tek kristali olan NaI'dır. Geçirgenliği sağlamak için tek kristale gerek vardır. Kristal yüzeyindeki yansımalar ve soğurulmalar çok kristalli sintilatörü kullanışsız hale getirir. Kristaldeki

atomların birlikte etkileşimleri enerji bant serilerinde kesikli enerji seviyelerine neden olurlar. En yüksek iki bant değerlik bandı ve iletim bandıdır (Şekil 3.4). NaI gibi yalıtkan bir materyalde değerlik bandı genellikle dolu, iletim bandı ise boşdur. Gelen radyasyon bir elektronu, enerji aralığını (4 eV civarında) atlatarak iletim bandına uyarabilir; elektron, enerjisini foton yayımlayarak kaybeder ve değerlik bandına geri döner.



Şekil 3.4. Bir kristaldeki enerji bantları. Sol taraf, NaI gibi saf bir kristaldeki, sağ taraf NaI(Tl)'daki Tl (Talyum) gibi bir aktivatörün bulunması durumunu ve temel işlemler.

Foton yayımlanma olasılığını artırmak ve ışığın kendisinin soğurulmasını azaltmak için kristale aktivatör denen küçük miktarda safsızlıklar ilâve edilir. En çok kullanılan aktivatörlerden biri talyumdur ve böyle bir dedektör NaI(Tl) şeklinde gösterilir. Aktivatör, enerji aralığında durumlar meydana getirir ve bu aktivatör durumları arasında ışık yayınımlı oluşur. NaI'de 303 nm dalgaboylu ışık yayımlanırken NaI(Tl) 410 nm'lik ışık yayımlar. NaI(Tl)'da bu enerjide soğurulma olamaz, çünkü aktivatör taban durumları işgal edilmez ve dalgaboyundaki morötesi bölgesinden görünür bölgeye değişim, pek çok fotoçoğaltıcı tüpün maksimum duyarlılığı ile uyuşur. Şekil 3.5'te bir sintilasyon dedektörü, ışık boruları ve PM tüplerinin seçimi görülmektedir.

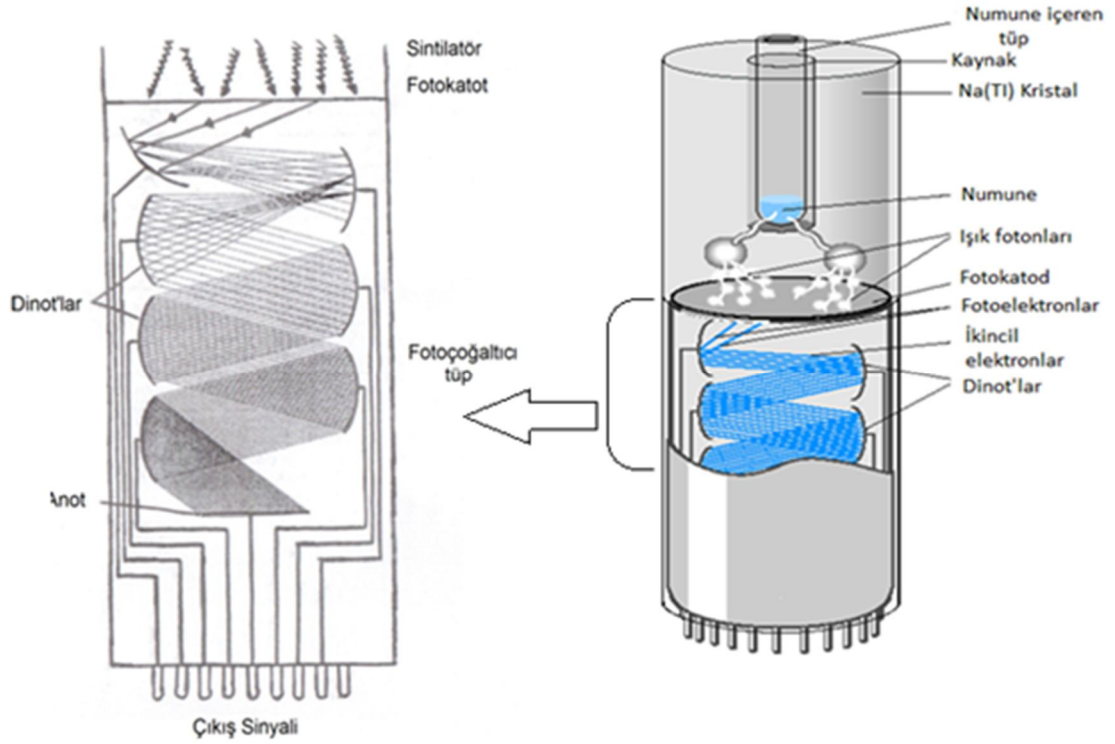


Şekil 3.5. Bazı fotoçoğaltıcı tüplerle birleşik NaI(Tl) sintilatörleri.

Bir sintilatörün foto çoğaltıcı(PM) tüple birleştirilmesi çeşitli yollarla yapılabilir. Bazı detektör-tüp sistemleri tek birim halinde yapılmaktadır. NaI(Tl) detektörleri, kırılma indisinde nispeten düzgün bir değişim sağlamak ve iç yansımayı en aza indirmek için saydam "optik-yağ" kullanarak (photo-multiplier) PM tüpünün camı ile doğrudan temas edecek şekilde yerleştirilebilir. Foto çoğaltıcının geometrisi, bazen sintilatör geometrisinden çok farklıdır veya bazı sebeplerle (örneğin, manyetik alan etkilerini yok etmek için) sintilatörden çok uzağa yerleştirilmiştir.

Bu durumda bir "ışık borusu" kullanılır; ışık boruları herhangi bir büyüklük veya şekilde olabilir; Lucite gibi şeffaf herhangi bir maddeden yapılmış olabilir. Hem sintilatör hem de ışık borusu, ışık verimini artırmak için yansıtıcı bir madde ile sarılmalıdır. Bir PM tüpünün şeması Şekil 3,6'de verilmiştir.

Fotokatotdan gelen foton sayısından daha az sayıda yayınlanan elektronlar dinot'lar ile çoğaltılır ve odaklanırlar. Dinot'lar, bir yüksek voltaj kaynağı tarafından üretilen bir voltaj zinciri ve bir dizi voltaj bölücüleriyle birleştirilmiştir. Komşu dinot'lar arasındaki tipik potansiyel farkı yaklaşık 100 V'dur ve böylece elektronlar dinot'lara 100 eV'luk enerji ile çarparlar.



Şekil 3.6 Bir fotoçoğaltıcı tüpün çalışma şeması.

Dinot'lar ikincil elektron yayınlanmasının yüksek olasılıklı olduğu bir maddeden (sezyum-antimon alaşımı) yapılır; bir elektron salınması için 2-3 eV yeterli olabilir, böylece elektron sayısında 30-50 çarpanı ile bir kazanç sağlanabilir. Ancak elektronlar, madde içinde rastgele doğrultularda yayımlandıkları için bunların tamamı istenilen yönde giderek sayıma katkı sağlamazlar. Her dinot'daki artış 5 çarpanı kadar olacaktır. Örneğin 10 dinot'lu bir tüp ile sağlanacak kazanç 10 civarındadır. Bu elektron çoğalmasında elde edilen pulsun yüksekliği, gelen foton veya parçacığın enerjisi ile orantılıdır.

Enerji spektrometreleri için iki önemli özellik lineerlik ve kararlılıktır. Lineerlik, son çıkış puls genişliğinin, sintilasyon olaylarının sayısı ile dolayısıyla radyasyon tarafından dedektörde depo edilen enerji ile doğru orantılı olması demektir. Her dinot'daki artış, voltaj farkına bağlı olduğu için yüksek voltajdaki herhangi bir değişme çıkış pulslarında değişmelere neden olacaktır; bu yüzden yüksek voltaj kaynağının kararlı olması

gereklidir. Ticari olarak çok çeşitli fotoçoğaltıcı tüpler vardır. Tüp seçimi, fiziksel boyut, gelen farklı dalgaboylu radyasyonlara fotokatodun cevabı, fotokatodun duyarlılığı, kazanç, gürültü seviyesi ve zamanlama karakteristikleri gibi parametreler göz önüne alınarak yapılır(Şarer 2001).

Kullanılan NaI(Tl) dedektörün fiziksel ve elektriksel özellikleri Çizelge 3.1’de, fotoğrafı ise Şekil 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. NaI(Tl) dedektörünün karakteristik özellikleri.

Pencere	Alüminyum; Kalınlık=0,5 mm; Yoğunluk=147 mg/cm ²
Yansıtıcı	Oksit; Kalınlık=1,6 mm; Yoğunluk=88mg/cm ²
Tipik çalışma voltajları	
Katod-Anot	+1100 V dc
Dinot-Dinot	+80 V dc
Katod-Dinot	+150 V dc
Magnetik kaplama	Çelik
Kristal boyutu	2 inc x 2 inc

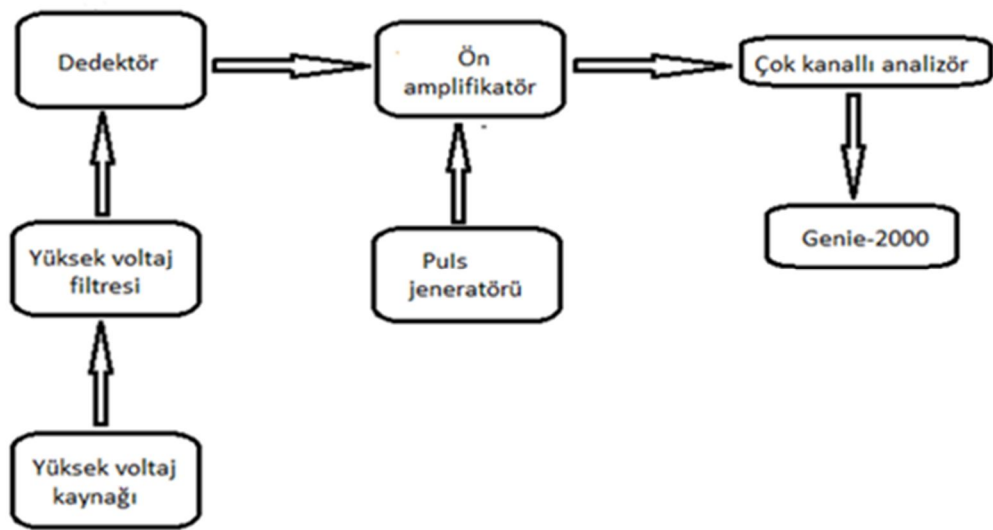


Şekil 3.7. Kullanılan NaI(Tl) dedektörünün fotoğrafı.

3.3 Sayma Sistemi

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi sayma sistemi, bir dedektör (ön yükseltici ile birlikte), yükseltici, analog sayısal dönüştürücü (ADC), yüksek voltaj kaynağı, çok kanallı analizör (MCA), sistemin tüm birimlerini yöneten spektrumları alan ve değerlendirmede kullanılan "Genie 2000" programının yüklü olduğu bir bilgisayar ve bilgisayar ile sistemin diğer birimleri arasında interface görevi yapan bir dantel'dan (software key) oluşmaktadır. Kullandığımız "Desktop Inspector" sayma sistemindeki yüksek voltaj güç kaynağı, yükseltici ve ADC ile MCA'yı ihtiva etmektedir. Burada yüksek voltaj güç kaynağı, amplifikatör ve ADC'nin koşulları "Genie 2000" olarak adlandırılan bir bilgisayar programı ile kontrol edilmektedir.

Desktop Inspector, gelişmiş dijital sinyal proses (DSP) teknikleriyle donanımlı çok kanallı (16 K'lı) bir analizördür. Şekil 3,9'de görünen Desktop Inspector, sinyal prosesinin sonrasında sinyalleri sayısallaştıran dönüştürücü sistemlerden farklı olarak sinyal prosesinin öncesinde ön yükselticiden alınan sinyalleri sayısallaştırır. Analog devre sayısının azaltılmasıyla hassasiyet, yeniden üretilebilirlik ve kararlılığın artması sağlanmış olur.



Şekil 3.8. Sayma sistemi.

DSP teknolojisinin kullanımı pulsların daha hızlı ve hassas olarak işlenmesini sağlayarak (filtre fonksiyonlarıyla) sinyal toplama performansını ve spektrum rezolüsyonunu da artırır.



Şekil 3.9. Desktop Inspector.

3.3.1. Yüksek voltaj kaynağı:

Dedektörde meydana gelen yükleri toplamak için dedektör üzerine yüksek gerilim uygulanmalıdır. En iyi çalışma gerilimi çalışma öncesi deneyci tarafından belirlenir ve bu gerilim küçük bir dedektör için birkaç yüz volt, büyük bir dedektör için 5000 volta kadar değişebilir. Deneylerde "Genie 2000" programı ile NaI (Tl) dedektörüne uygulanacak gerilim +1100 V'a ayarlanmış ve çalışmalar süresince bu gerilim uygulanmıştır.

3.3.2. Ön yükseltici:

Ön yükseltici, dedektörden gelen yükü, gerilim (voltaj) pulsuna dönüştürür. Ön yükselticiden çıkan pulsların yükseklikleri veya genlikleri, dedektörde toplanan yük

miktarı ve eğer fotonun bütün enerjisi dedektörde soğurulmuş ise fotonun enerjisiyle orantılı olmalıdır.

3.3.3. Yükseltici:

Bir yükselticinin iki ana görevi vardır:

1. Ön yükselticinin çıkış puls genliklerini ayırt etmek ve sayılması için uygun voltaj seviyelerine yükseltmek.
2. Pulsarı, puls genliği ve foton arasındaki orantılı ilişkiyi aynen koruyarak işlemi uygun bir hale getirmek.

Modern sistemler için maksimum çıkış pulsunun genliği 2 V'tan 10 V'a kadar değişir. Çoğu amplifikatör hem bir unipolar çıkış (sinyal tamamen pozitif veya tamamen negatiftir) hem de bipolar çıkış (sinyal hem pozitif hem de negatif bileşene sahiptir) ile donatılmıştır. En iyi sinyal-gürültü (signal-to-noise) oranını elde etmek için, yükselticinin unipolar çıkışı seçilir. Sistem daha uzun bir zaman üzerinden gürültünün ortalamasını alabileceği için bir spektrumdaki pikler için en iyi rezolüsyon genellikle daha uzun zaman sabitiyle elde edilebilir. Bununla birlikte, daha uzun zaman sabitleri yüklerin daha fazla rastgele toplanmasına neden olur. Bundan dolayı, eğer sistem 2000 s⁻¹'lik sayma hızlarında çalıştırılabilecekse daha kısa zaman sabitleri kullanılabilir.

3.3.4. Analog sayısal dönüştürücü (ADC):

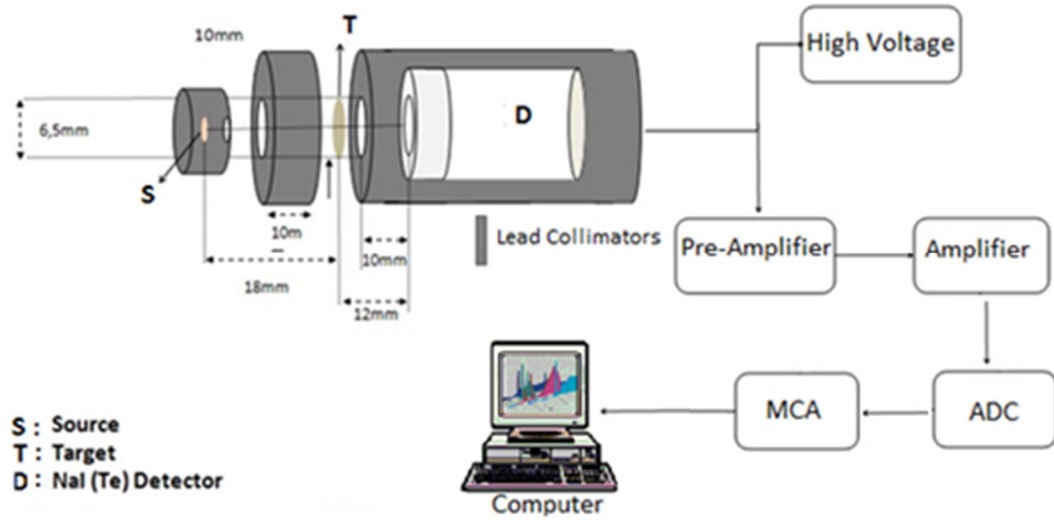
ADC'nin amacı yükselticiden gelen analog pulsunu, onun genliğiyle, dolayısıyla X-ışını fotonunun enerjisiyle orantılı bir tam sayıya çevirmektir. Ön yükselticiden gelen potansiyel pulsarı lineer yükselticide lineer olarak büyültüldükten sonra ADC'ye (analog digital converter) gönderilir.

3.3.5. Çok kanallı analizör (MCA):

Çok kanallı bir analizör sayısal hale getirilmiş pulsları uygun gelen kanallara yerleştirir ve bilgisayar hafızasına kaydeder. Gerçekte her kanal, depolamak için kullanılan bir kutudur ve spektrumda kesin olarak ayar (kalibrasyon) işlemiyle belirlenmiş olan bir enerji aralığına düşen pulsları sayar. Kalibrasyon işlemi ölçümlere başlamadan önce standart kaynakların ve uygun enerjideki elementlerin karakteristik pikleri kullanılarak yapılmalıdır (Demir 2009).

3.3.Ölçme Sistemleri ve Deney Geometrileri

Bu çalışmada gama ışını dedektörü olarak 662 keV'de yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 8,5 keV olan bir NaI(Tl) dedektör kullanılmaktadır. Numuneler ²⁴¹Am ve ¹³³Ba radyoaktif kaynaklardan yayınlanan farklı enerjili radyasyonlara maruz bırakılmıştır. Her bir numunenin kütle soğurma katsayılarını belirlemek için kaynaktan gelen şiddet (I_0) kaynak ve dedektör arasında numune olmaksızın ve numune varken (I) ölçülmüştür. Hazırlanan deney geometrisinde dedektör numune mesafesi 12mm ve dedektör –kaynak mesafesi 30 mm olarak seçilmiştir. Ölçümler için hazırlanan deney geometrisinin şematik gösterimi Şekil 3.10'da ve ölçüm sisteminin fotoğrafı Şekil 3.11'de verilmiştir. Yüksek enerjili radyoaktif kaynakların yaydığı zararlı radyasyondan korunmak, enerji spektrumundaki temel sayma (background) ve kuyruklanma bölgesini azaltmak için Na(Tl) dedektör silindirik bir kurşun zırh ile çevrelenmiştir. Deney süresince ölçüm ortamının değişmemesine özen gösterilmelidir.



Şekil 3.10. Deney geometrisi.



Şekil 3.11. Deney sistemi.

3.5. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada saf pomza, pomza oranının %25, %50 ve %75 oranlarında değiştiği Pomza-PbO ve Pomza-Çimento numuneleri hazırlanmıştır. Saf pomza numuneleri çeşitli büyüklüklerde küp, dikdörtgen prizma şeklinde düzgün olarak kesilmiş şekillerde ve toz haline getirilen pomzadan pellet şeklinde hazırlanmışlardır. Pomza-PbO ve Pomza-Çimento numunelerini hazırlamak için öğütülerek toz haline getirilen pomza ile PbO ve çimento belli oranlarda karıştırılmıştır. Homojen bir karışım elde edebilmek için tozlar mikserde 15 dakika boyunca karıştırılmış daha sonra 10 ton basınç altında 0,65 cm yarıçaplı pelletler haline getirilmişlerdir. Tabletlerin kütleleri 10^{-5} gram hassasiyete sahip bir terazi ile tartılmıştır.

3.6. Kütle Soğurma Katsayılarının Ölçülmesi

Farklı materyal ve enerjiler için kütle soğurma katsayıları transmission ile belirlenebilir. Bu işlem aşağıdaki eşitlik ile açıklanır (Han and Demir 2009).

$$I = I_0 e^{-\mu_m t} \quad (3.1)$$

Burada I_0 madde üzerine gelen fotonların soğurulma olmadan önceki şiddetini ve I maddeden soğurulmadan geçen fotonların şiddetini gösterir. $\mu_m = \mu/\rho$ (cm^2/g) kütle soğurma katsayısı ve t (g/cm^2) numunenin kütle kalınlığı (birim alan başına kütle) dir. Buna göre μ_m için;

$$\mu_m = \frac{\ln(I/I_0)}{t} \quad (3.2)$$

ifadesi yazılabilir. Herhangi bir enerjiye sahip X- veya γ - ışınları için t kütle kalınlığına sahip bir materyalin μ_m değeri başlangıçtaki şiddeti I_0 ve maddeyi geçtikten sonraki şiddet I ölçülmek suretiyle belirlenebilir. Çok elementli kompoze bir materyal için

toplam kütle soğurma katsayısı her bir elementin kütle soğurma katsayılarının karışım kuralına göre toplamıdır.

$$\mu_m = \sum_i \omega_i (\mu_m)_i \quad (3.3)$$

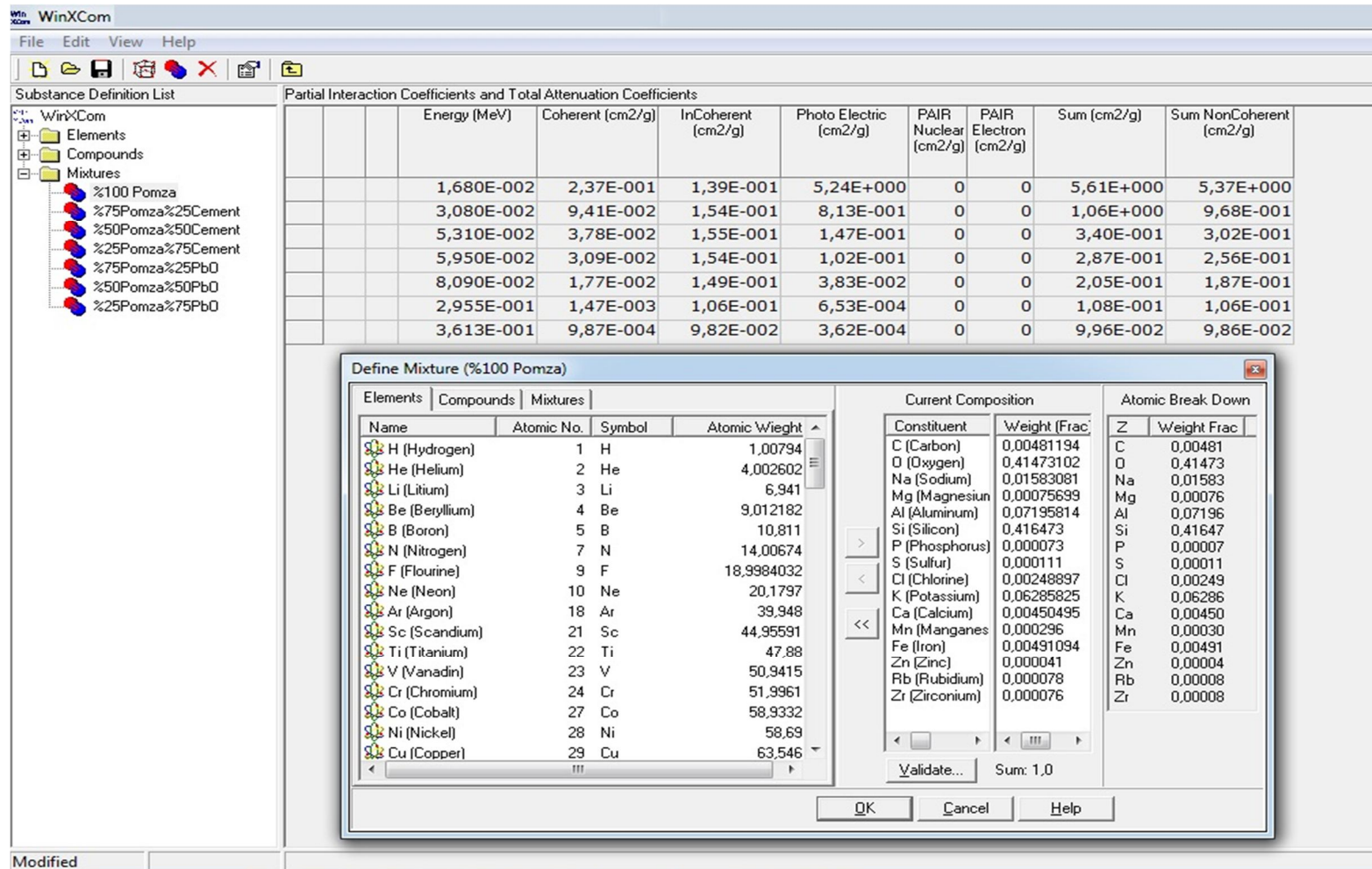
Burada ω_i i . elementin ağırlık kesri, $(\mu_m)_i$ ise i . elementin kütle soğurma katsayısıdır. Çok elementli bir materyal için ağırlık kesri;

$$\omega_i = \frac{n_i A_i}{\sum_j n_j A_j} \quad (3.4)$$

ifadesi ile verilebilir. Burada A_i i . elementin atom numarası ve n_i materyaldeki sayısıdır (Han 2009).

3.7. WinXCom programı

X-ışınları veya gama ısınlalarının saçılma ve soğurulması ile ilgili veriler fen bilimleri, mühendislik ve tıbbi uygulamalar için gereklidir. Mevcut çizelgeler genellikle seçilmiş elementlerle, sınırlı sayıdaki bileşik ve karışımlarla ilgili tesir kesitlerini içerir Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de olduğu gibi. Çizelge değerlerini kullanarak el yordamıyla yapılan hesaplamalara bir alternatif olarak, bilgisayar programı kullanarak element, karışım ve bileşikler için tesir kesiti ve azaltma katsayılarının hesaplanması daha tercih edilir olmuştur. Bu amaçla Berger ve Hubbell tarafından (1987) geliştirilen WinXCom bilgisayar programı kullanılmaktadır. Bu programın veri tabanı, 1-100 GeV enerji aralığında karışım, bileşik veya herhangi bir element için tesir kesiti ve kütle azaltma katsayılarını hesaplamak için kullanılır (Köse 2007).



Şekil 3.12. Hesaplamalarda kullanılan WinXCom programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü.

WinXCom -

File Edit View Help

Substance Definition List

- WinXCom
 - Elements
 - Compounds
 - PbO
 - Mixtures
 - %100 Pomza
 - %75Pomza%25Cement
 - %50Pomza%50Cement
 - %25Pomza%75Cement
 - %75Pomza%25PbO
 - %50Pomza%50PbO
 - %25Pomza%75PbO

Partial Interaction Coefficients and Total Attenuation Coefficients

	Energy (MeV)	Coherent (cm ² /g)	InCoherent (cm ² /g)	Photo Electric (cm ² /g)	PAIR Nuclear (cm ² /g)	PAIR Electron (cm ² /g)	Sum (cm ² /g)	Sum NonCoherent (cm ² /g)
	1,680E-002	2,37E-001	1,39E-001	5,24E+000	0	0	5,61E+000	5,37E+000
	3,080E-002	9,41E-002	1,54E-001	8,13E-001	0	0	1,06E+000	9,68E-001
	5,310E-002	3,78E-002	1,55E-001	1,47E-001	0	0	3,40E-001	3,02E-001
	5,950E-002	3,09E-002	1,54E-001	1,02E-001	0	0	2,87E-001	2,56E-001
	8,090E-002	1,77E-002	1,49E-001	3,83E-002	0	0	2,05E-001	1,87E-001
	2,955E-001	1,47E-003	1,06E-001	6,53E-004	0	0	1,08E-001	1,06E-001
	3,613E-001	9,87E-004	9,82E-002	3,62E-004	0	0	9,96E-002	9,86E-002

Define Mixture (%100 Pomza)

Elements | Compounds | Mixtures

Name	Atomic No.	Symbol	Atomic Weight
H (Hydrogen)	1	H	1,00794
He (Helium)	2	He	4,002602
Li (Lithium)	3	Li	6,941
Be (Beryllium)	4	Be	9,012182
B (Boron)	5	B	10,811
N (Nitrogen)	7	N	14,00674
F (Flourine)	9	F	18,9984032
Ne (Neon)	10	Ne	20,1797
Ar (Argon)	18	Ar	39,948
Sc (Scandium)	21	Sc	44,95591
Ti (Titanium)	22	Ti	47,88
V (Vanadin)	23	V	50,9415
Cr (Chromium)	24	Cr	51,9961
Co (Cobalt)	27	Co	58,9332
Ni (Nickel)	28	Ni	58,69
Cu (Copper)	29	Cu	63,546

Current Composition

Constituent	Weight (Frac)
C (Carbon)	0,00481194
O (Oxygen)	0,41473102
Na (Sodium)	0,01583081
Mg (Magnesium)	0,00075639
Al (Aluminum)	0,07195814
Si (Silicon)	0,416473
P (Phosphorus)	0,000073
S (Sulfur)	0,000111
Cl (Chlorine)	0,00248897
K (Potassium)	0,06285825
Ca (Calcium)	0,00450495
Mn (Manganese)	0,000296
Fe (Iron)	0,00491094
Zn (Zinc)	0,000041
Rb (Rubidium)	0,000078
Zr (Zirconium)	0,000076

Atomic Break Down

Z	Weight Frac
C	0,00481
O	0,41473
Na	0,01583
Mg	0,00076
Al	0,07196
Si	0,41647
P	0,00007
S	0,00011
Cl	0,00249
K	0,06286
Ca	0,00450
Mn	0,00030
Fe	0,00491
Zn	0,00004
Rb	0,00008
Zr	0,00008

Validate... Sum: 1,0

OK Cancel Help

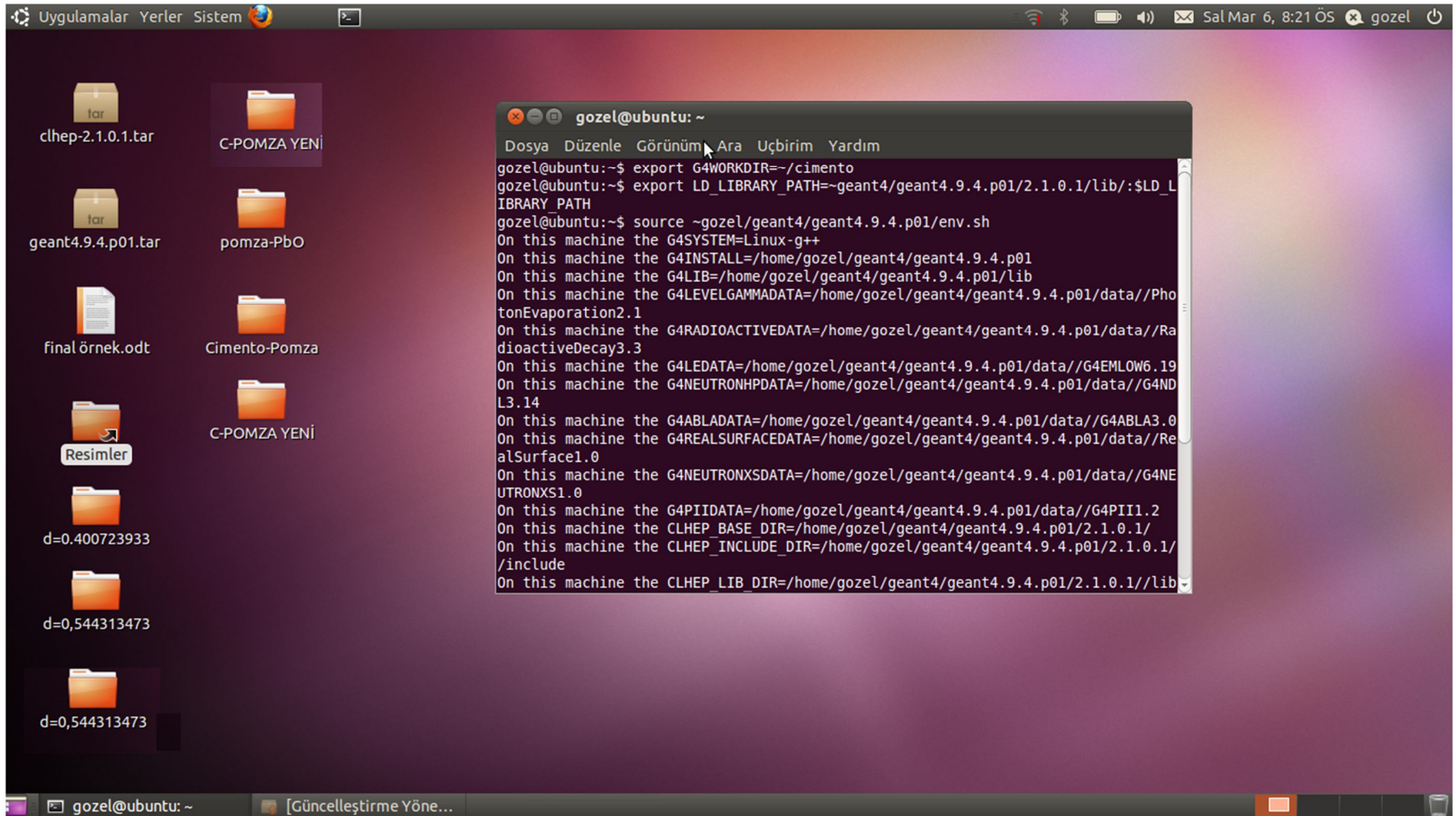
Modified

Şekil 3.13. Pomza taşının WinXCom programına tanıtılması.

3.8. Monte Carlo Simulasyonunda Paralel Hesaplama

Simulasyon alışmaları teorik ve deneysel araştırma alanlarının arasında giderek daha çok önem kazanan bir alan olmuştur. Gerçek deneylerin hem çok maliyetli olması hem de bazen tehlikeli ya da sakıncalı olması nedeni ile bilgisayar ortamında yapılan simulasyon çalışmaları deneylerin maliyetlerinin azaltılmasını sağlarken bazen de deneysel çalışmalar ile özdeş olmaktadır. Diğer yandan simülasyonun vermiş olduğu sonuçlar ile teorik öngörülerin doğruluğu ispatlanabilmektedir. Özellikle iklim çalışmalarında, biyolojik sistemler üzerine olan çalışmalarda, jeofizik ve jeolojik çalışmalarda simülasyon çok büyük önem kazanmıştır.

Karmaşık sistemlerin simulasyonu çoğunlukla çok uzun (aşırır) zaman boyunca programların koşturulmasını gerekli kılmaktadır (rneğin tipik bir iletim simulasyonunda yaklaşık 10 yıl CPU zamanı). Bu sebeple simulasyon tekniği ne olursa olsun paralel hesaplama bu zorluğa çözüm sunmaktadır.



Şekil 3.14. Hesaplamalarda kullanılan Monte Carlo programı'nın bilgisayar ekranındaki görüntüsü.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Pomza, çimento, Kurşunoksit(PbO) ve farklı oranlarda (%25, %50, %75) pomza içeren pomza-PbO, pomza-çimento numuneleri için 59,5; 80,9; 295,5 ve 361,3 keV foton enerjilerde deneysel olarak ve teorik(WinXCom yazılımı ve Monte carlo simülasyon tekniği) olarak elde edilen kütle soğurma katsayıları sırasıyla Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de verilmiştir. Çizelgelerde P pomzayı, C çimentoyu temsil eder. P_1 , P_2 düzgün biçimde kesilmiş farklı pomzaları P_3 ve P_4 toz haline getirilmiş pomzadan yapılan pellet pomzaları, P_{ort} ise bunlar için elde edilen sonuçların ortalamasını gösterir.

Pomza, çimento ve kurşunoksit için elde edilen deneysel kütle soğurma katsayıları karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 de çizilmiştir.

Ölçüm yapılan her bir enerji değeri için Pomza-çimento ve pomza-PbO numunelerinde kütle soğurma katsayılarının numune içerisindeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimleri Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7 de gösterilmiştir. İncelen numuneler için kütle soğurma katsayılarının enerjiye bağlı değişimleri Şekil 4. 8-16 da verilmiştir.

Çizelge. 4.1. 59,5 keV için kütle soğurma katsayıları.

Numune	μ/ρ (cm ² /gr)		
	Deneysel	Monte Carlo	WinXCom
P ₁	0,1957	0,2528	0,2871
P ₂	0,2058	0,2606	0,2871
P ₃	0,2122	0,2601	0,2871
P ₄	0,2182	0,2652	0,2871
P _{ort}	0,2080	0,2596	0,2871
%25P-%75PbO	3,0304	3,3324	3,6528
%50P-%50PbO	1,4865	2,2994	2,5309
%75P-%25PbO	1,0527	1,2655	1,4090
PbO	3,0342	4,2661	4,7747
%25P-%75C	0,3456	0,3833	0,4157
%50P-%50C	0,2978	0,3484	0,3728
%75P-%25C	0,2498	0,3165	0,3300
C	0,3805	0,4167	0,4585

Çizelge. 4.2. 80,9 keV için kütle soğurma katsayıları.

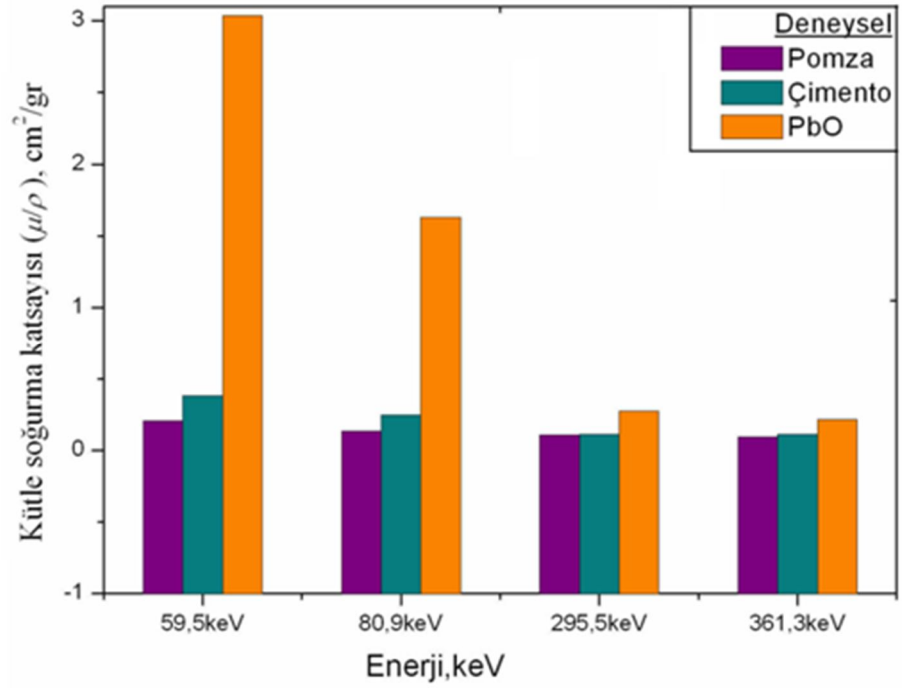
Numune	μ/ρ (cm ² /gr)		
	Deneysel	Monte Carlo	WinXCom
P ₁	0,1149	0,1908	0,2048
P ₂	0,1260	0,1887	0,2048
P ₃	0,1480	0,1884	0,2048
P ₄	0,1509	0,1925	0,2048
P _{ort}	0,1350	0,1901	0,2048
%25P-%75PbO	1,4413	1,5144	1,6983
%50P-%50PbO	1,2832	1,0807	1,2005
%75P-%25PbO	0,7255	0,6314	0,7026
PbO	1,6285	1,9483	2,1961
%25P-%75C	0,2437	0,2332	0,2564
%50P-%50C	0,2203	0,2237	0,2392
%75P-%25C	0,1900	0,2059	0,2220
C	0,2481	0,2505	0,2735

Çizelge. 4.3. 295,5 keV için kütle soğurma katsayıları.

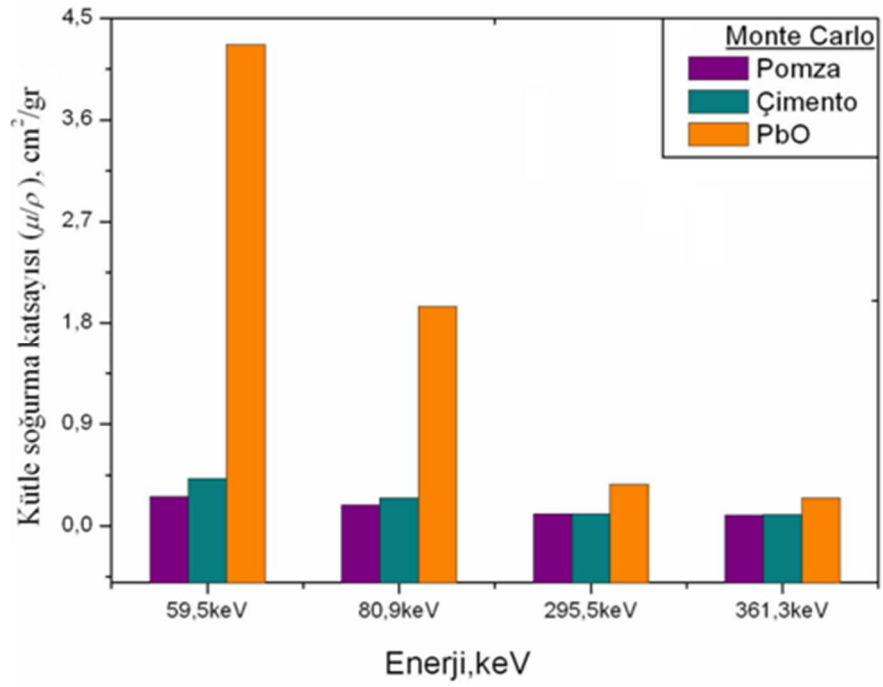
Numune	μ/ρ (cm ² /gr)		
	Deneysel	Monte Carlo	WinXCom
P ₁	0,0794	0,1063	0,1079
P ₂	0,1207	0,1029	0,1079
P ₃	0,1060	0,1066	0,1079
P ₄	0,1131	0,1051	0,1079
P _{ort}	0,1048	0,1052	0,1079
%25P-%75PbO	0,2603	0,3028	0,3224
%50P-%50PbO	0,2191	0,2415	0,2509
%75P-%25PbO	0,2136	0,1697	0,1794
PbO	0,2732	0,3672	0,3939
%25P-%75C	0,1085	0,1071	0,1094
%50P-%50C	0,1073	0,1067	0,1089
%75P-%25C	0,1048	0,1064	0,1084
C	0,1120	0,1074	0,1099

Çizelge. 4.4. 361,3 keV için kütle soğurma katsayıları.

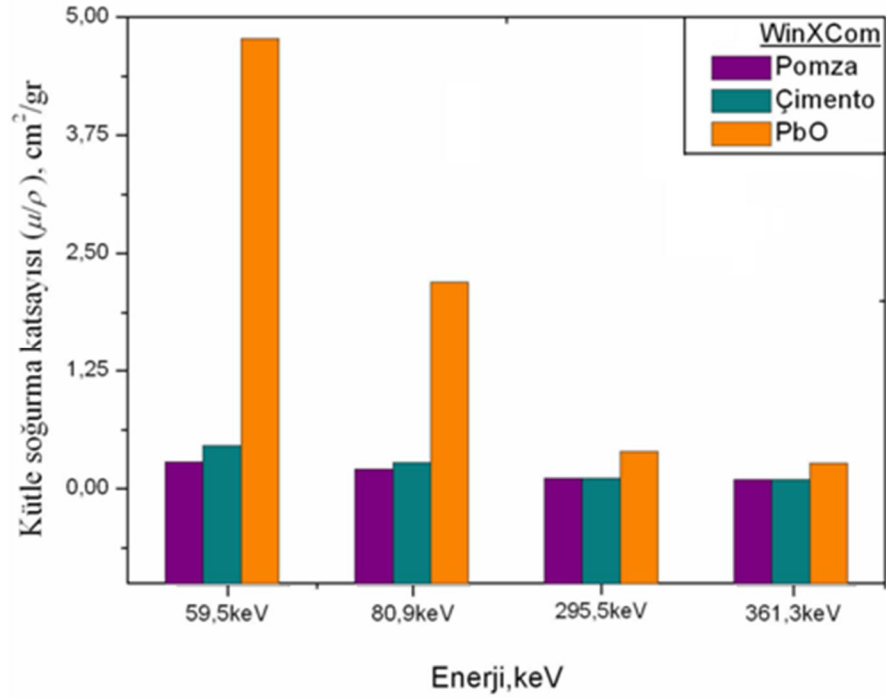
Numune	μ/ρ (cm ² /gr)		
	Deneysel	Monte Carlo	WinXCom
P ₁	0,0751	0,0944	0,0996
P ₂	0,0963	0,0984	0,0996
P ₃	0,1009	0,0980	0,0996
P ₄	0,1007	0,0982	0,0996
P _{ort}	0,0933	0,0972	0,0996
%25P-%75PbO	0,1755	0,2085	0,2248
%50P-%50PbO	0,1752	0,1739	0,1831
%75P-%25PbO	0,1494	0,1369	0,1413
PbO	0,2151	0,2475	0,2666
%25P-%75C	0,1047	0,0991	0,1005
%50P-%50C	0,0935	0,0989	0,1002
%75P-%25C	0,0880	0,0987	0,0999
C	0,1092	0,0994	0,1009



Şekil 4.1. Pomza, çimento ve PbO için elde edilen deneysel kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.

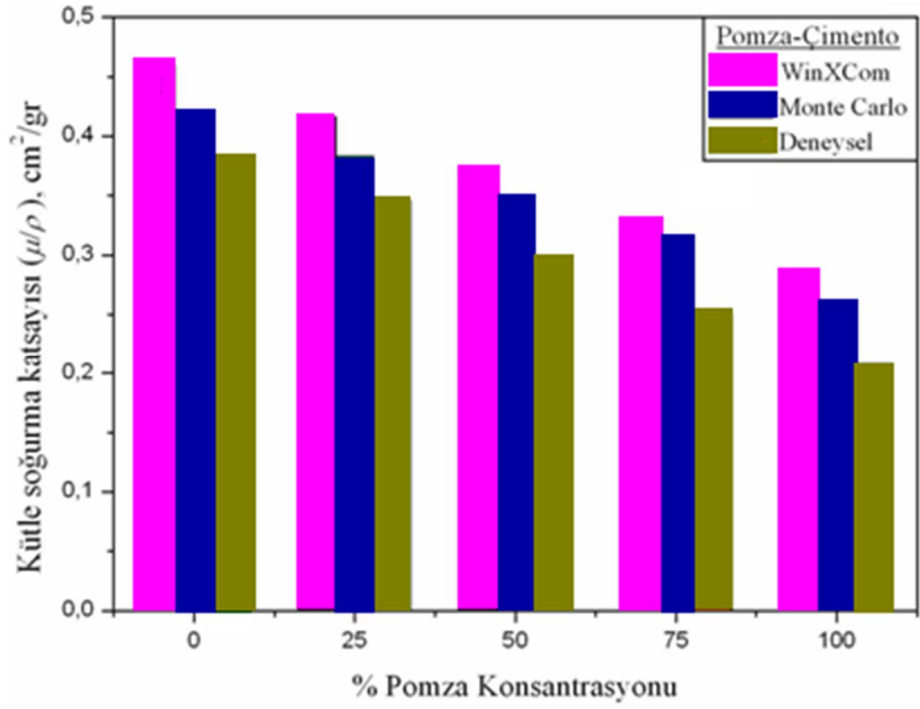


Şekil 4.2. Pomza, çimento ve PbO için Monte Carlo simülasyon tekniğinden elde edilen kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.

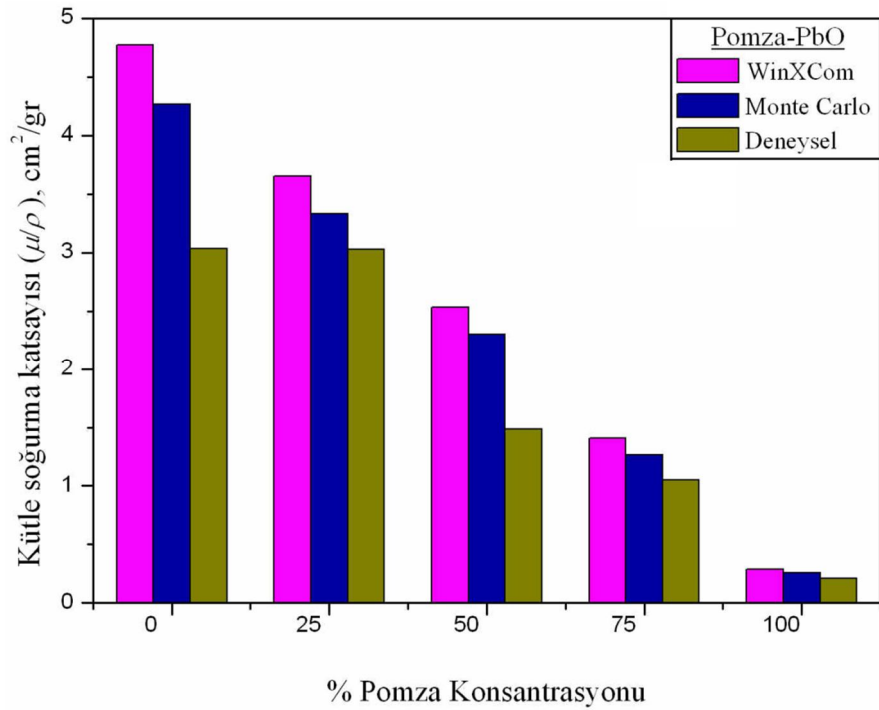


Şekil 4.3. Pomza, Çimento ve PbO için WinXCom yazılımından elde edilen kütle soğurma katsayılarının karşılaştırılması.

Şekil 4. 1-3 de görüldüğü üzere düşük enerjilerde PbO nun soğurganlığı çimento ve pomzaya nazaran çok büyüktür ancak uyarıcı enerji arttıkça PbO, çimento ve pomza'nın kütle soğurma katsayıları arasındaki fark giderek azalmakta ve değerler birbirlerine yaklaşmaktadır.

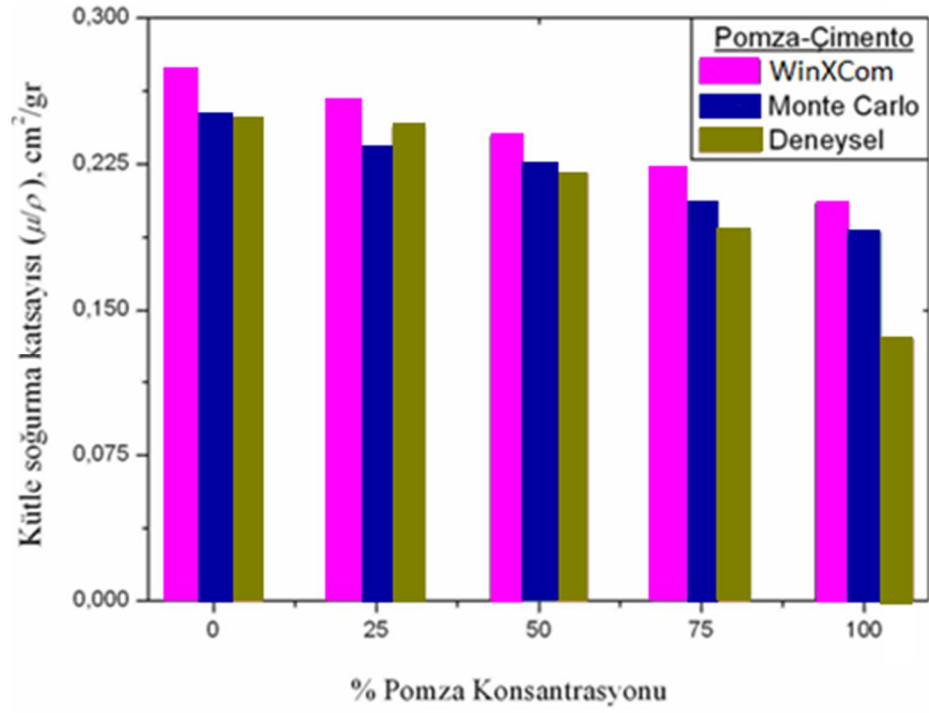


(a)

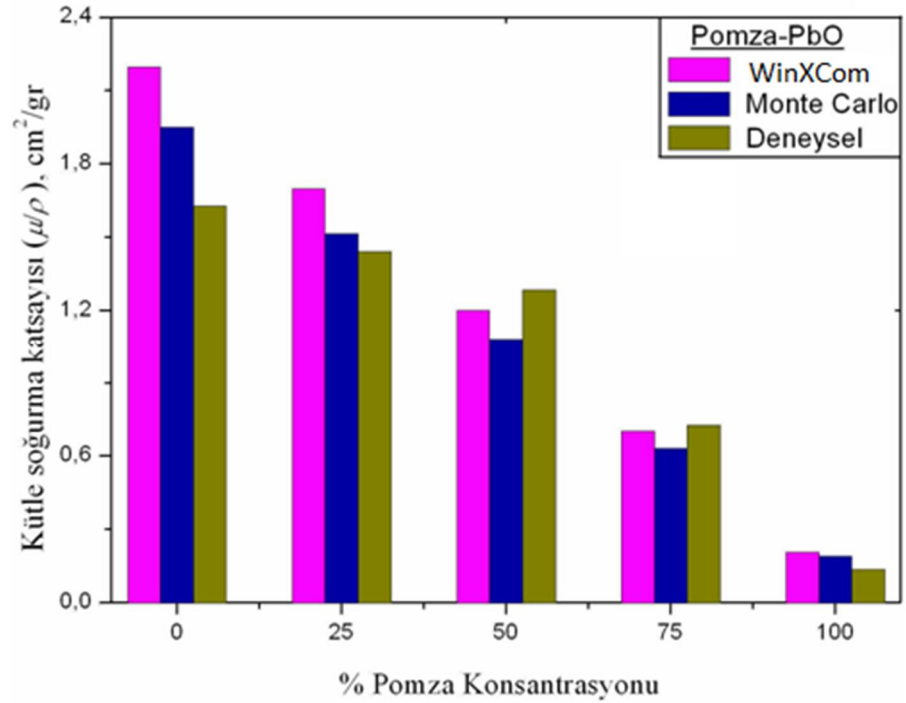


(b)

Şekil 4.4. 59,5 keV de Pomza-Çimento (a) ve Pomza-PbO (b) numunelerinin kütle soğurma katsayılarının numunedeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimi.

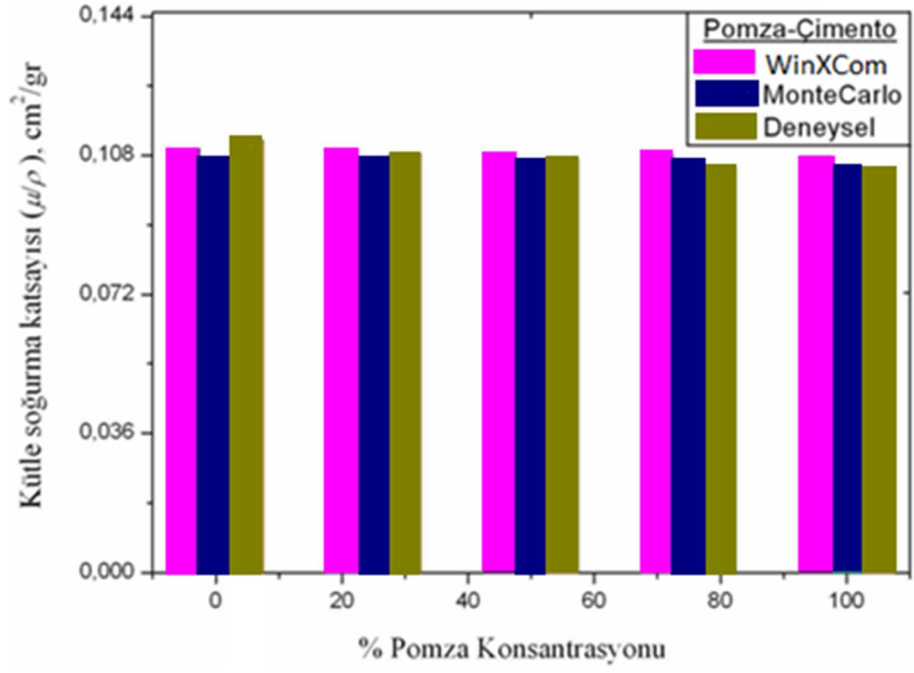


(a)

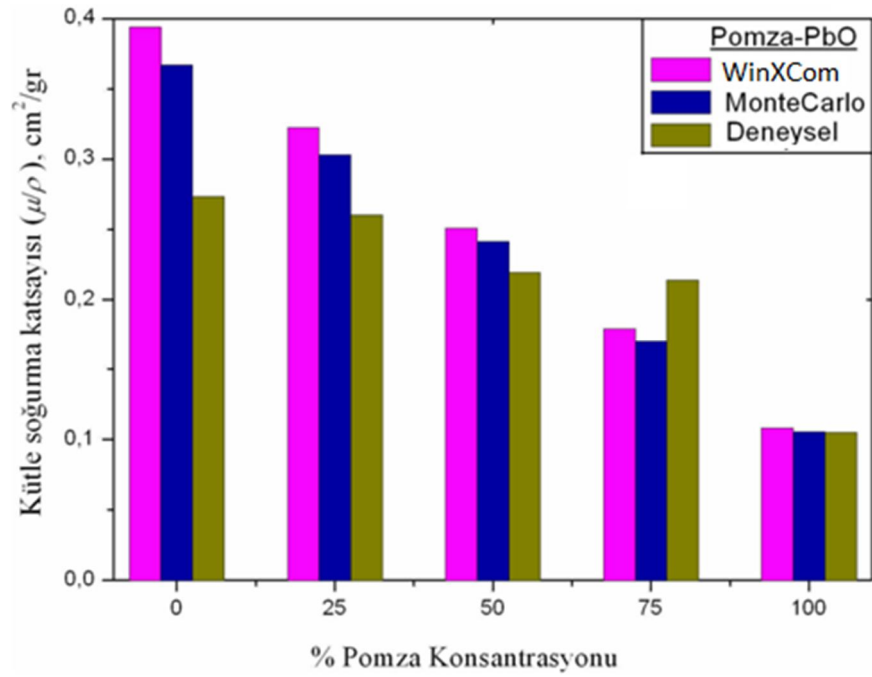


(b)

Şekil 4.5. 80,9 keV de Pomza-Çimento (a) ve Pomza-PbO (b) numunelerinin kütle soğurma katsayılarının numunedeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimi.

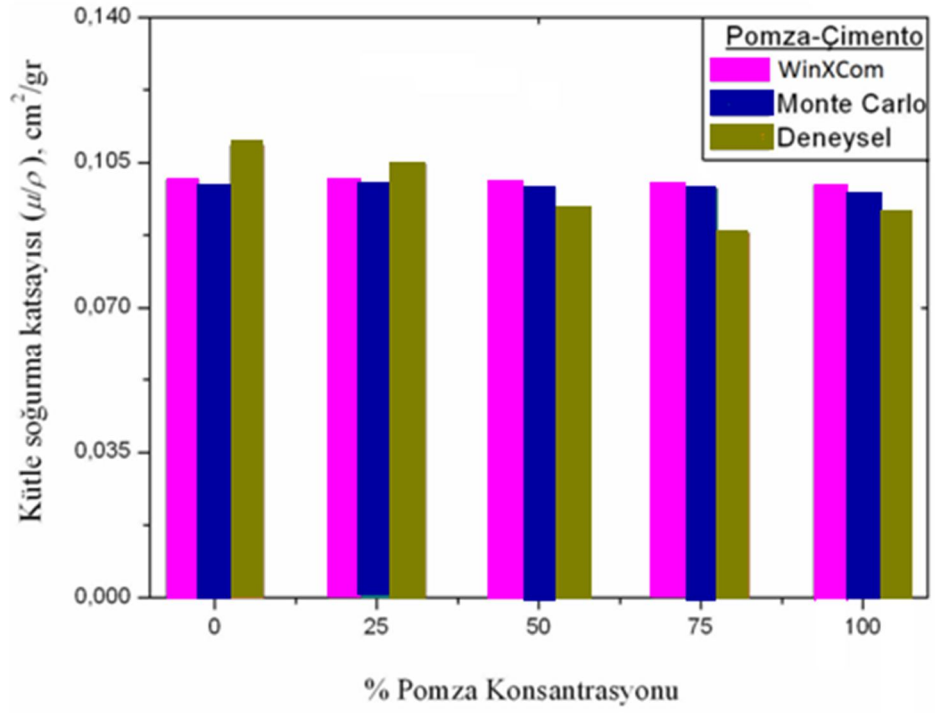


(a)

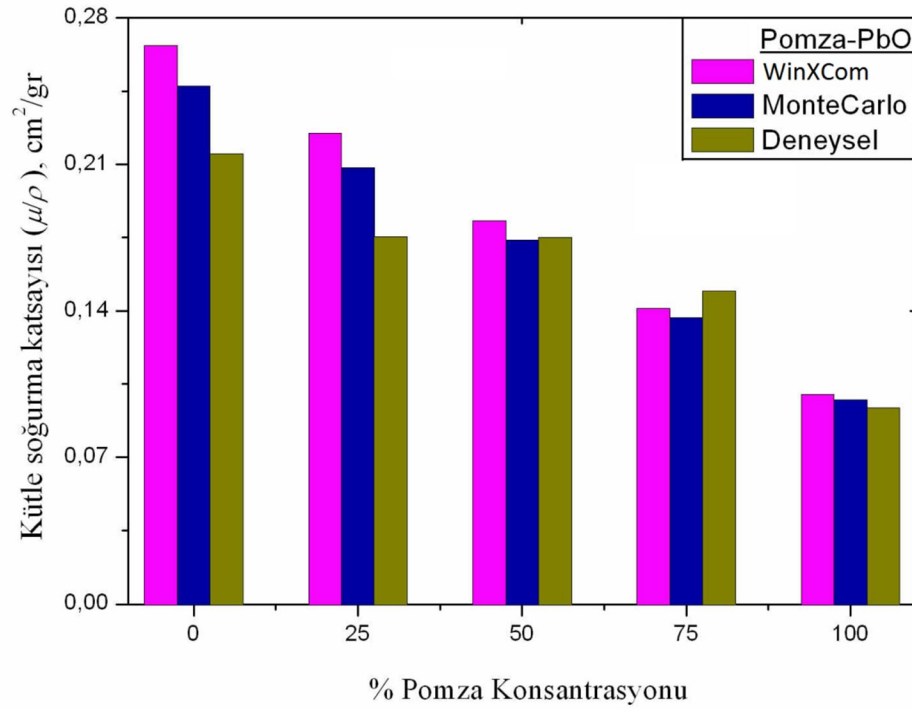


(b)

Şekil 4.6. 295,5 keV de Pomza-Çimento (a) ve Pomza-PbO (b) numunelerinin kütle soğurma katsayılarının numunedeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimi.

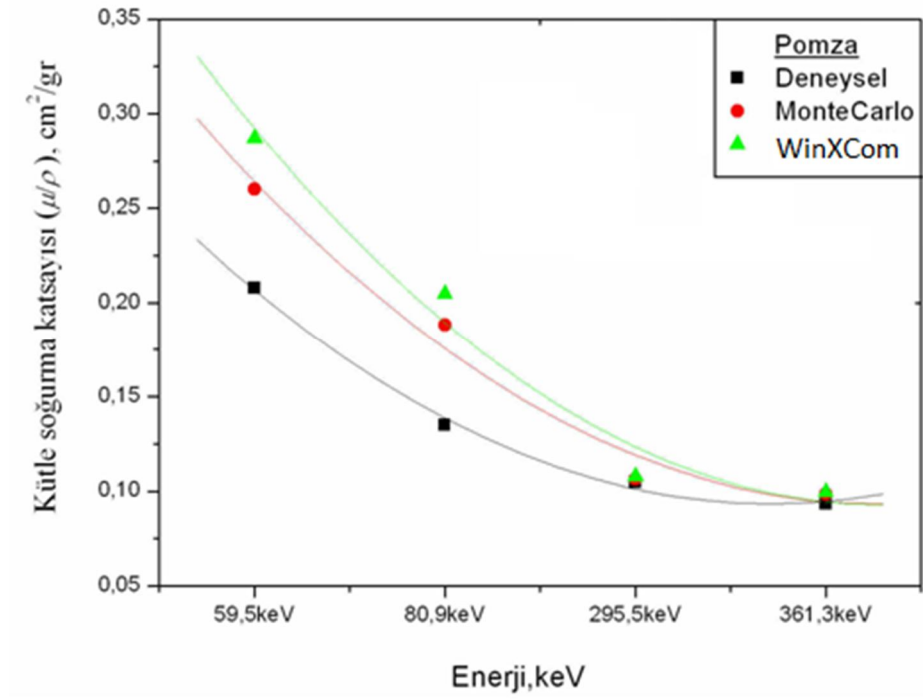


(a)

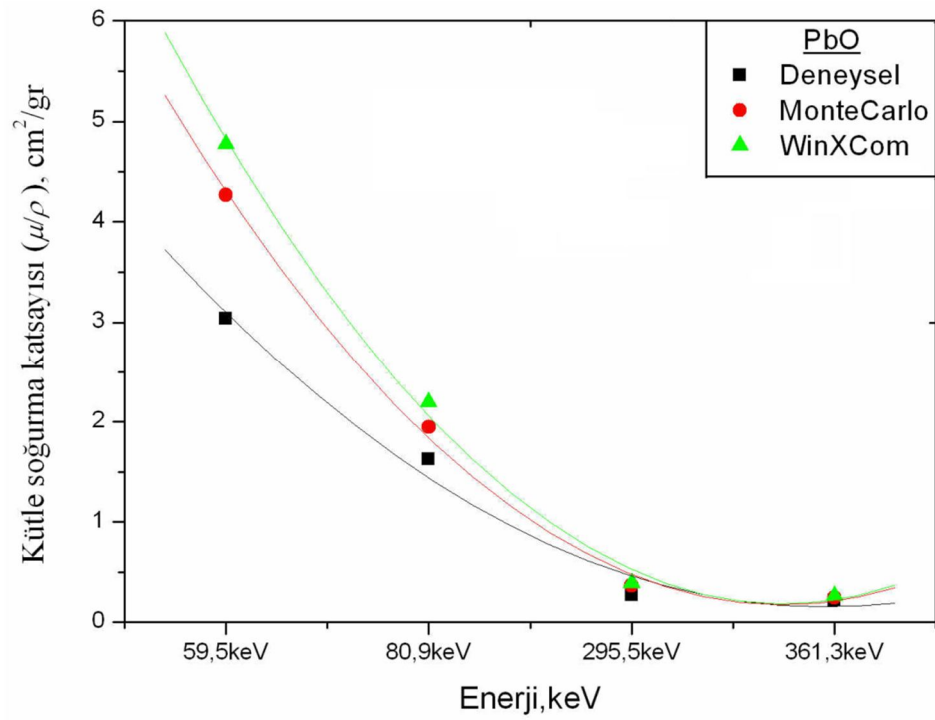


(b)

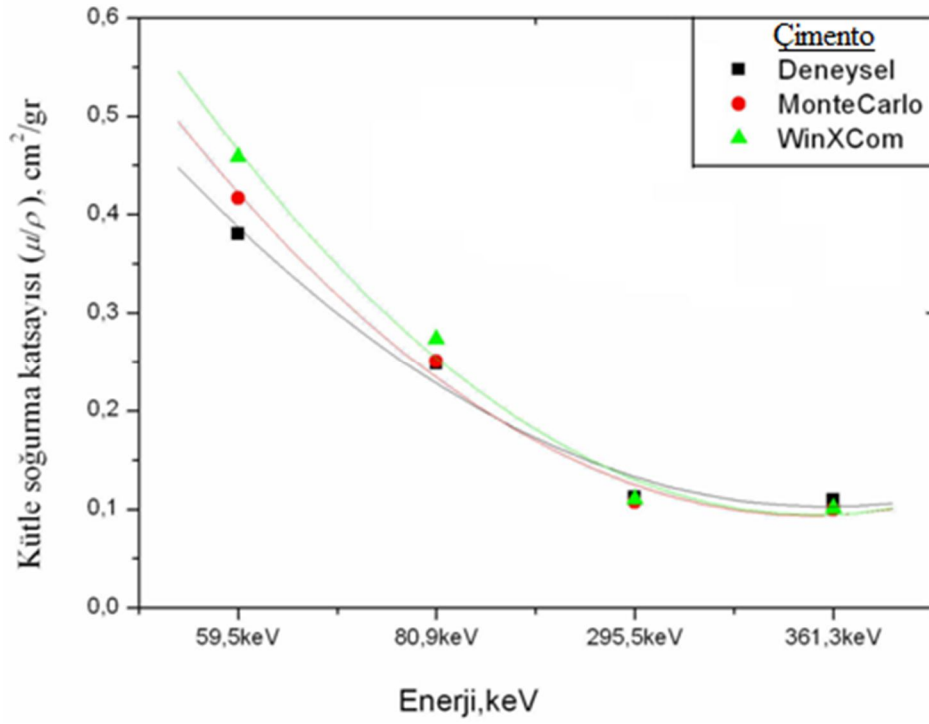
Şekil 4.7. 361,3 keV de Pomza-Çimento (a) ve Pomza-PbO (b) numunelerinin kütle soğurma katsayılarının numunedeki pomza konsantrasyonuna bağlı değişimi.



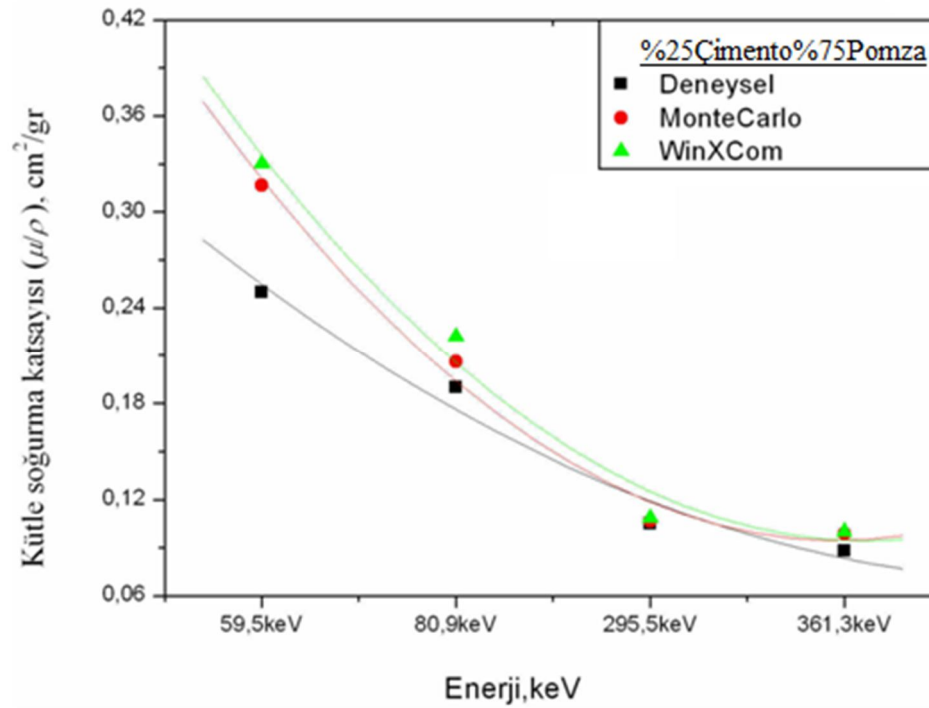
Şekil 4.8. Pomza'nın kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.



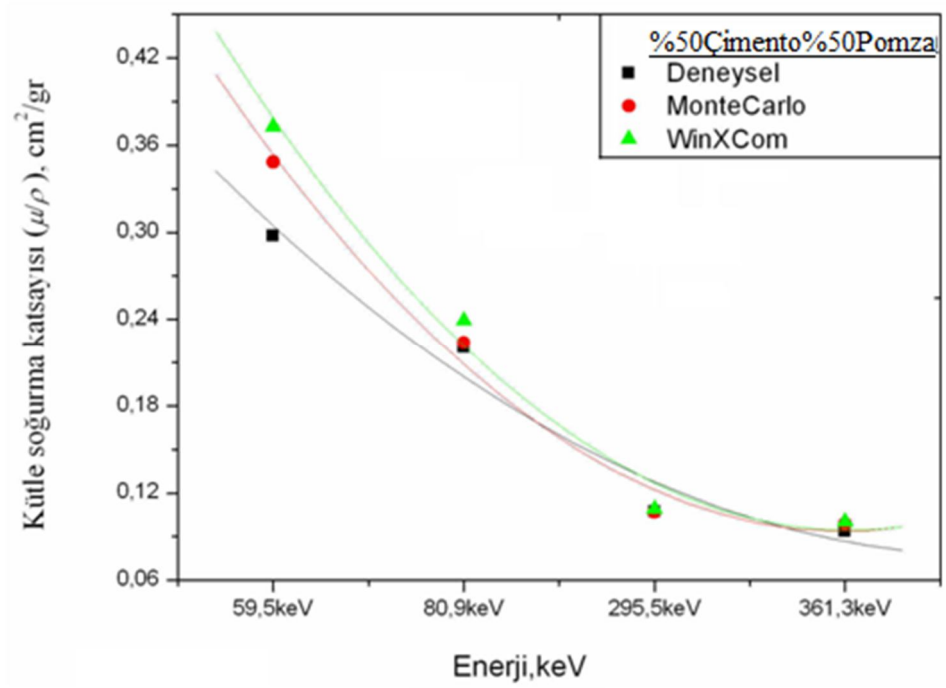
Şekil 4.9. PbO'nın kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.



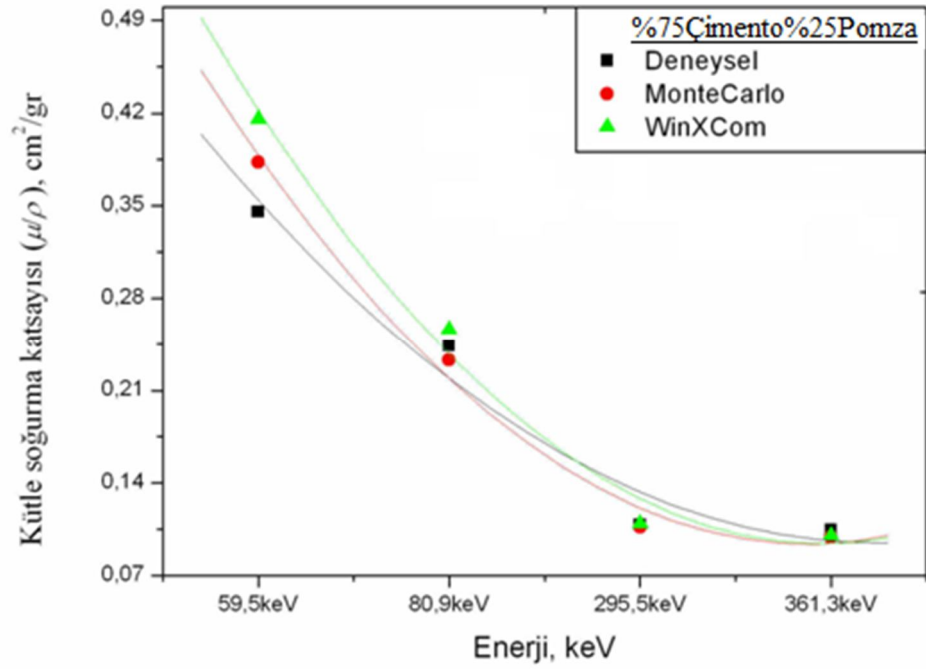
Şekil 4.10. Çimento'nun kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.



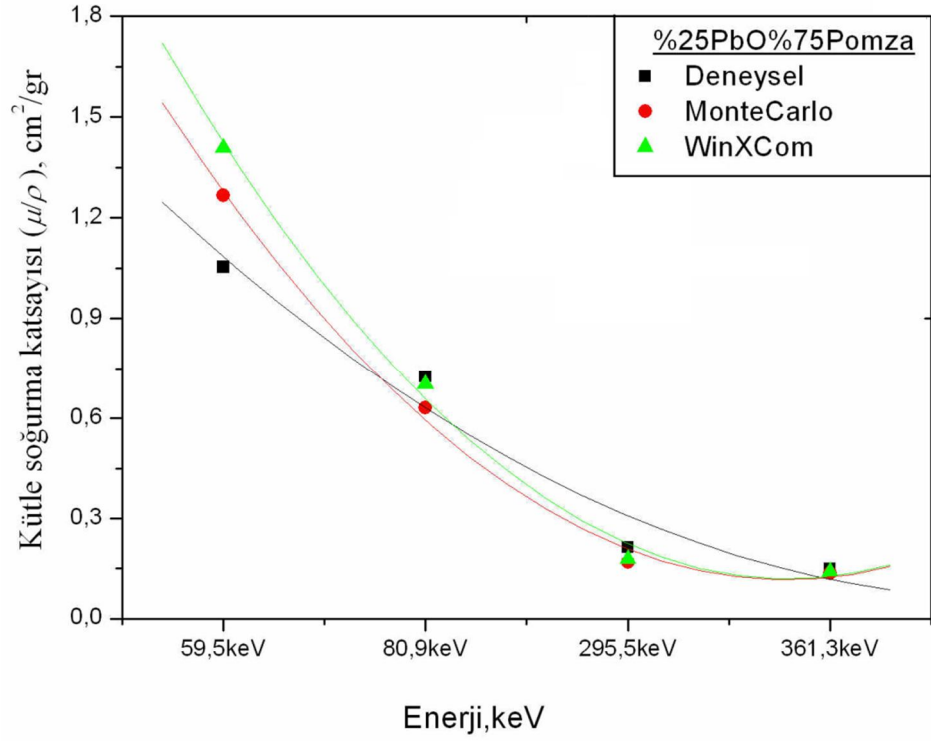
Şekil 4.11. %25Çimento-%75Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.



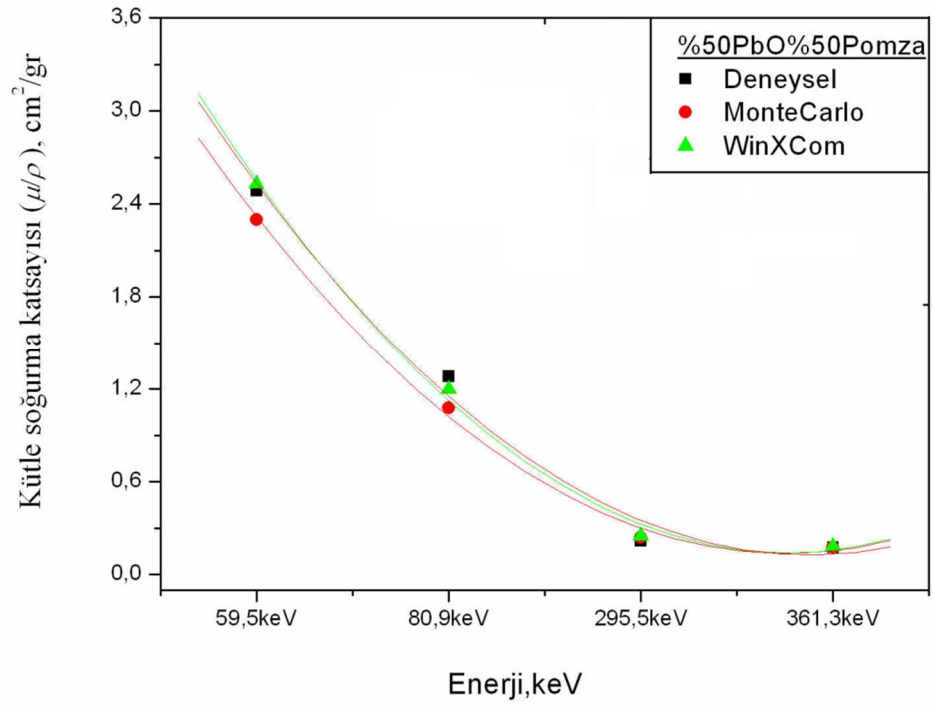
Şekil 4.12. %50Çimento-%50Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.



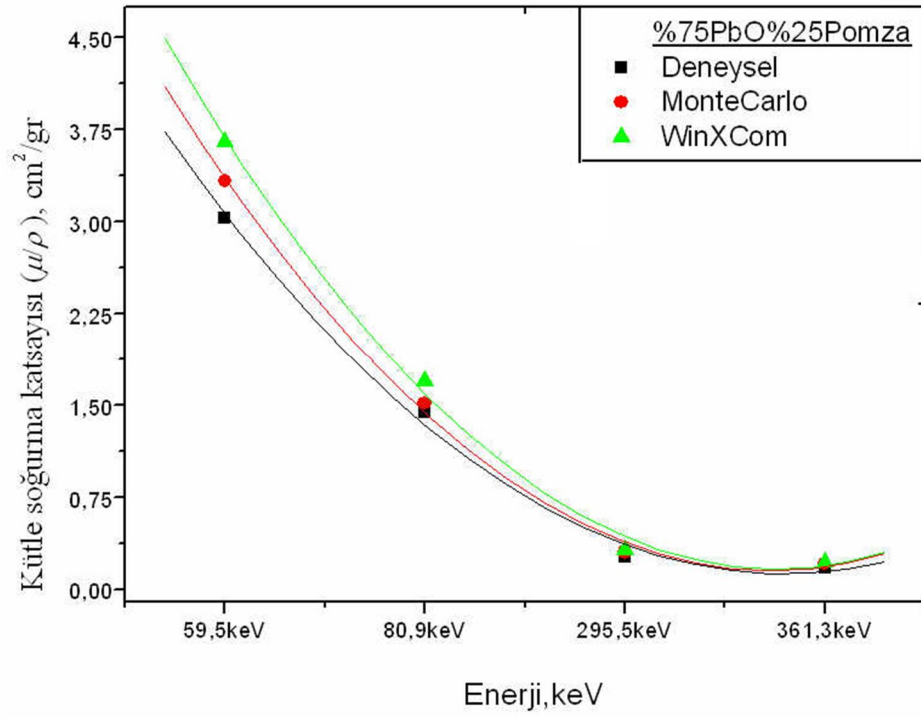
Şekil 4.13. %75Çimento-%25Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.



Şekil 4.14. %25PbO-%75Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.



Şekil 4.15. %50PbO-%50Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.



Şekil 4.16. %75PbO-%25Pomza numunesinin, kütle soğurma katsayısının enerji ile değişimi.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada pomzanın alternatif bir radyasyon zırh malzemesi olarak kullanılabilirliği ile ilgili bir fikre varabilmek için ^{241}Am ve ^{133}Ba kaynaklarından yayımlanan farklı enerjili fotonlar için pomzanın kütle soğurma katsayıları teorik ve deneysel olarak belirlenmiştir. Pomza için elde edilen sonuçlar, iyi bir radyasyon tutucu olarak bilinen PbO ve yapı malzemesi olarak kullanılan çimento için ölçülen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca %25, %50 ve %75 oranlarında pomza içeren pomza-çimento ve pomza-PbO numuneleri hazırlanarak bunlar için de kütle soğurma katsayıları belirlenmiştir. İlgili enerjilerde karşılaştırma yapmak için tüm numunelerin kütle soğurma katsayıları WinXCom yazılımı ve Monte Carlo simülasyon tekniği kullanılarak da elde edilmiştir.

Pomza, PbO ve çimento için deneysel olarak belirlenen kütle soğurma katsayıları Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında pomzanın kütle soğurma katsayılarının PbO’in kütle soğurma katsayılarına göre oldukça küçük olduğu görülmüştür. Düşük enerjilerde pomza ve PbO’in kütle soğurma katsayıları arasındaki fark çok büyük olmasına rağmen yüksek enerjilere gidildikçe bu fark azalmaktadır. Çimento’nun kütle soğurma katsayıları pomzanın kütle soğurma katsayılarına göre büyük olmasına karşın arada çok büyük bir fark yoktur.

Pomza-PbO ve Pomza-çimento numuneleri için Şekil 4. 4-7 den de görüldüğü gibi hem deneysel hemde teorik(WinXCom yazılımı ve Monte Carlo simülasyon tekniği) sonuçlar tüm enerjilerde pomza-PbO ve numunelerinin kütle soğurma katsayılarının pomza-çimento numunelerinkinden daha büyük olduğunu göstermiştir.

Şekil 4. 8-12 den görüldüğü üzere tüm numuneler için kütle soğurma katsayılarının enerjiye bağlı değişimleri benzerdir. Kütle soğurma katsayıları artan foton enerjisiyle üstel olarak azalmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre pomzanın gama radyasyonu zırhlamada kullanılabilirliği çok sınırlıdır. Çalışmada WDXRF spektrometre kullanılarak belirlenen içeriğine bakıldığında pomzanın küçük atom numaralı hafif

elementlerden oluştuğu görülmektedir. Dolayısıyla pomzanın foton tutuculuğu ağır elementlerden oluşan kurşunoksit'e oranla düşük kalmaktadır. Buna karşın  imento ile benzer özellikler göstermesi, hafif, kolay şekil verilebilirliği, çeşitli agrealar hazırlanabilmesi, sıcaklığa ve darbelere karşı dayanaklığı ile ülkemizdeki yüksek rezervi gibi avantajları dikkate alındığında pomzanın inşaat sektöründe kullanılması önem arz etmektedir. Oldukça hafif olan pomzanın inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılması deprem gibi olası doğal afetlerde can ve mal kaybının azalmasını sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt I., Kılınçarslan S., Basyiğit C., Mavi B., Akyıldırım H., 2009. Investigation of photon attenuation coefficient for pumice. *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 4, 10, 588-591.
- Akkurt I., Kılınçarslan S., Basyiğit C., Mavi B., Akyıldırım H., 2010-c. Radiation shielding of concrete containing zeolite. *Radiation Measurements*, 45, 7, 827-830.
- Akkurt İ., Akyıldırım H., Mavi B., Kılınçarslan S., Basyigit C., 2010-a. Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy*, 52, 7, 620-623.
- Akkurt İ., Calik A., Akyıldırım H., 2011. The boronizing effect on the. Radiation shielding and magnetization properties of AISI 316L austenitic stainless steel. *Nuclear Engineering and Design*, 241, 1, 55-58.
- Akkurt,I., Oruncak,B., Gunoglu,K., 2010-b. Natural radioactivitiy and dose rates in commercially used marble from Afyonkarahisar-Turkey. *International Journal of the Physical Sciences*, 5, 2, 170–173
- Aşkale çimento., 2011. CEM II / B-M 32,5 R (P-LL) (TS EN 197-1) analiz raporu, <http://www.askalecimento.com.tr/cem2b.htm> (15.02.2011).
- Bilgiç, M., 2009. Yüksek performanslı prefabrike hafif betonların özelliklerinin araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, Isparta.
- Bims Sanayicileri Derneği, 2006. Bims(Pomza) alt sektör raporu, Ankara
- Çağlayan M., Kahriman A., 2003. Alternatif Beton Agregası Olarak "POMZA" ve Kent Mobilyalarında Kullanılabilirliği, III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Dede Y., Erten H. N., Zararsız A., Efe N., 2001. Determination of trace element levels in human scalp hair in occupationally exposed subjects by XRF. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 247, 2, 393-397.
- Demir, F., 2009. Bor ve Barit Agregalı Ağır Betonların Nötron Parçacıkları, x- ve γ -ışınları için Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.
- Efe N., Yilmaz H., 1998. Investigation of Inorganic Contents of Some Diuretic Pharmaceutical Herbs Growing in Turkey by the X - Ray Fluorescence Emission - Transmission (E - T) Technique. *Spectroscopy Letters*, 31, 6, 1207-1216.

- El-Khayatt A. M., 2010. Radiation shielding of concretes containing different lime/silica ratios. *Annals of Nuclear Energy*, 37, 991–995.
- Feng L.X., Xiao H.Q., He X., Li Z. J., Li F. L., Liu N. Q., Chai Z. F., Zhao Y. L., Huang Y. Y., He W., Zhang Z. Y., 2007. Element distribution in the brain of rats exposed to lanthanum measured by synchrotron radiation X-ray fluorescence. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 272, 2, 333-337.
- Ferrero J.L., Roldan C., Juanes D., Carballo J., Pereira J., Ardid M., Llucha J.L., Vives R., 2004. Study of inks on paper engravings using portable EDXRF spectrometry. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 213 729–734.
- Grieten E., Casadio F., 2009. X-ray fluorescence portable systems for the rapid assessment of photographic techniques in notable art collections: the Alfred Stieglitz Collection. *X-Ray Spectrom*, 39, 221–229.
- Han İ., 2005. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, atom numarası $78 \leq z \leq 92$ aralığındaki bazı elementlerin L_1 , L_α , L_β , L_γ x-ışını ve compton saçılma diferansiyel tesir kesitlerinin ölçümü, Erzurum.
- Han, İ., 2009. Geçiş Metallerinin Valens Elektron Yapılarının X-ışını Şiddet Oranları Vasıtasıyla Belirlenmesi, x-ışını Şiddet Oranlarının Tavlama Sıcaklığına Bağlı Davranışlarının İncelenmesi, Alaşımlar için Etkin Atom Numaraları ve Elektron Yoğunluklarının Tayini, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.
- Kaewkhao J., Pokaipisit A., Limsuwan P., 2010. Study on borate glass system containing with Bi_2O_3 and BaO for gamma-rays shielding materials: Comparison with PbO. *Journal of Nuclear Materials*, 399, 1, 38-40.
- Kalfa O. M., Üstündağ Z., Özkırım İ., Kadioğlu Y.K, 2007. Analysis of tincal ore waste by energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) Technique. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 103, 424–427.
- Karasulu, B., 2006. Paralel Hesaplama Tekniğinin Monte Carlo Simulasyonunda Uygulanması, Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, İstanbul.

- Kıpçak, A.S., 2009. Bazı Bor Bileşiklerinin Nöton Zırhlanmasında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, İstanbul.
- Köse, Y., 2007. Fe, Cu, Sn, Pb Foil Numuneler Üzerine Uygulanan Elektrik Akımının x-ışını Azaltma Katsayısına Etkisi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, Erzurum.
- Mantler M., Schreiner M., 2000. X-ray analysis of objects of art and archaeology. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 247, 3, 635–644.
- Mohapatra A., Rautray T.R., Vijayan V., Mohanty R.K., Dey S.K., 2007. Trace elemental characterization of some food crustacean tissue samples by EDXRF technique. *Aquaculture*, 270, 552–558.
- Özkan Ş. G., Tuncer G., 2001. Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Pashkova G.V., 2009. X-ray Fluorescence Determination of Element Contents in Milk and Dairy Products. Springer Science,
- Şahin, R., Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun mukavemetinin araştırılması, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans Tezi, Erzurum.
- Şarer, B., 2001. Nükleer Fizik Cilt 1. Palmiye yayıncılık, Ankara.
- Üstündağ Z., Üstündağ İ., Kadioğlu Y.K., 2007. Multi-element analysis of pyrite ores using polarized energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*, 65, 809–813.
- Yaşar E., Erdoğan Y., 2005. Asidik (Nevşehir) ve Bazik (Osmaniye) Pomzaların Yapı Sektöründe Değerlendirilmesi 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ağrı’da doğan Rıza ÇEÇEN orta ve lise öğrenimini Ağrı Merkez İmam Hatip Lisesinde tamamladı. 2000 yılında girdiği Muğla Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünden 2005 yılında mezun oldu. 2005-2007 yıllarında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Fizik Anabilim Dalı’nda tezsiz yüksek lisans yaptı. Şu an Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesinde Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Atom ve Molekül Fiziği Ana Bilim Dalı’nda tezli yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.