

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖZENEKLİ MALZEMELERDE RADYASYONUN ZAYIFLAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sonay GEDİK**

**Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı  
Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı**

**OCAK 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖZENEKLİ MALZEMELERDE RADYASYONUN ZAYIFLAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sonay GEDİK  
(302121010)**

**Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı  
Radyasyon Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. A.Filiz BAYTAŞ**

**OCAK 2015**



İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 302121010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sonay GEDİK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**GÖZENEKLİ ORTAMLARDA RADYASYONUN ZAYIFLAMASI** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. A. Filiz BAYTAŞ**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yar. Doç. Dr. Zuhale ER**      .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **02 Aralık 2014**

**Savunma Tarihi :**      **23 Ocak 2015**



*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, gama geçirgenlik tekniği kullanılarak silisyum içeren gözenekli malzemelerin radyasyonu zayıflatma ve gözeneklilik özellikleri incelenmiştir. Bu bağlamda elde edilen sonuçların hem radyasyonu zayıflatma hem gözeneklilik bakımından incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Yüksek Lisans Eğitimi boyunca gerek ders aşamasında gerek tez aşamasında bilgi ve birikimini paylaşan, kararlı, sabırlı, çalışkan ve bunlarla birlikte en önemlisi sevgi dolu olan değerli hocam Sn. Prof. Dr. A. Filiz BAYTAŞ 'a en içten duygularıyla saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda bu çalışmayı destekleyen ve laboratuvar imkanlarını kullandıran İTÜ Enerji Enstitüsü' ne teşekkür ederim.

Ayrıca bana tüm hayatım boyunca inanan ve desteklerini esirgemeyen AİLEM'e teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2014

Sonay Gedik  
Fizikçi



# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xii
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	Error! Bookmark not defined.v
ŞEKİL LİSTESİ.....	xviii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
1. GİRİŞ .....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Tezin Amacı .....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Literatür Araştırması .....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Hipotez .....	4
2. GÖZENEKLİ ORTAMLARIN GAMA IŞINI GEÇİRGENLİK TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ .....	5
2.1 Gözenekli Ortamlar ve Gözeneklilik.....	5
2.1.1 Gözenekli Ortamlar .....	5
2.1.2 Gözeneklilik .....	6
2.2 Metalik Köpük Malzemeler.....	9
2.3 Gama Işını Geçirgenlik Tekniği:.....	122
2.3.1 Gama radyasyonunun malzeme ile etkileşimi .....	133
2.3.2 Gama-Işını Geçirgenlik Ölçümlerinin Gözenekli Ortamın İncelenmesinde Kullanımı .....	166
3. DENEYSEL KOŞULLARIN TANITIMI.....	19
3.1. Deney Düzenegi .....	19
3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	22
4. GÖZENEKLİ ORTAMLARDA RADYASYONUN ZAYIFLAMASI.....	27
4.1. Metalik Köpük Malzemelerle Yapılan Deneysel Çalışmalar .....	27
4.2 Toprak ve Kum ile Yapılan Deneysel Çalışmalar .....	333
4.3 Cam Bilyelerle Yapılan Deneysel Çalışmalar .....	35
4.4 Silisyum İçeren Gözenekli Ortamların Karşılaştırılması .....	366
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	39
KAYNAKLAR .....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	445



## **KISALTMALAR**

**NIST** : National Institute of Standards and Technology

**NIST XCOM**: Foton Etkileşim Olasılığı Veritabanı



## SEMBOL LİSTESİ

- $\mu_s$ : Suyun lineer zayıflatma katsayısı  
 $x_{sd}$ : Suya doyrulmuş malzeme kalınlığı  
 $\mu_k$ : Kuru malzemenin lineer zayıflatma katsayısı  
 $x_k$ : Kuru malzeme kalınlığı





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Gözeneklilik ölçüm teknikleri.....	8
Çizelge 3.1 : Deneylerde kullanılan <sup>60</sup> Co kaynağının radyoaktif özellikler.....	19
Çizelge 3.2 : Samsun iline ait toprağın kimyasal yapısı.....	23
Çizelge 3.3 : Deneyde kullanılan gözenekli ortam (Ottawa kumu) özellikleri .....	24
Çizelge 4.1 : Kuru metalik köpük malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları .....	28
Çizelge 4.2 : Doymuş metalik köpük malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları....	29
Çizelge 4.3 : Suyun lineer zayıflatma katsayısı.....	29
Çizelge 4.4 : Metalik köpük bloklar için gözeneklilik değerleri .....	30
Çizelge 4.5 : Samsun iline ait toprak ve standart kumun lineer zayıflatma katsayıları .....	33
Çizelge 4.6 : Suyu doymuş Samsun iline ait toprak örneği ve standart kumun lineer zayıflatma katsayıları .....	34
Çizelge 4.7 : Samsun iline ait toprak örneği ve standart kumun gözeneklilik değerleri .....	34
Çizelge 4.8 : Cam bilyelerden oluşan gözenekli ortamın kuru ve suya doyurulmuş hallerindeki lineer zayıflatma katsayıları.....	35
Çizelge 4.9 : Cam bilyeli gözenekli ortam için gözeneklilik değerleri .....	36
Çizelge 4.10 : Silisyum içeren malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması .....	36
Çizelge 4.11: Silisyum içeren malzemelerin radyasyonu zayıflatması .....	37



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Gözenekli ortam örnekleri.....	5
Şekil 2.2: Kübik ve eşkenar dörtgen sıralanışa sahip tekdüze kürelerin gözenek uzayı ve düzeni. ....	7
Şekil 2.3: Doğrudan yöntemle eriyiği köpüklendirme. ....	10
Şekil 2.4: Dolaylı yöntemle eriyiği köpüklendirme. ....	10
Şekil 2.5: Metalik köpük örnekleri ve kullanım alanları. ....	12
Şekil 2.6: Gama geçirgenlik tekniği şematik gösterimi. ....	13
Şekil 2.7: Fotoelektrik olayın şematik gösterimi. ....	14
Şekil 2.8: Compton saçılması şematik gösterimi. ....	14
Şekil 2.9: Çift oluşumunun şematik gösterimi. ....	15
Şekil 2.10: Fotonun madde ile etkileşiminin enerjiye göre değişimi. ....	16
Şekil 3.1: Deney düzeneğinin şematik gösterimi. ....	20
Şekil 3.2: Ölçüm sırasında deney düzeneğinin görünümü. ....	20
Şekil 3.3: Kaynak kolimatörünün şematik gösterimi. ....	21
Şekil 3.4: Algılayıcı kolimatörünün şematik gösterimi. ....	21
Şekil 3.5: Dar demet geometrisini sağlayan kolimatörlerin görünümü. ....	21
Şekil 3.6: Silisyum karbür(gri renkli), alümina (beyaz renkli ) ve magnezyum (sarı renkli) metalik köpük malzemeler. ....	22
Şekil 3.7: Pleksiglas kap içerisinde Samsun iline ait toprak örneği. ....	23
Şekil 3.8: Pleksiglas kap içerisinde düzgün yerleştirilmiş cam bilyelerden oluşan gözenekli ortam. ....	24
Şekil 3.9: Pleksiglas deney kabı. ....	25
Şekil 4.1: Silisyum karbür metalik köpük malzemeler için üç farklı seviyede gözeneklilik değerleri. ....	31
Şekil 4.2: Alümina metalik köpük malzemeler için üç farklı seviyede gözeneklilik değerleri. ....	31
Şekil 4.3: Silisyum karbür metalik köpük bloklarda radyasyonun zayıflaması. ....	32
Şekil 4.4: Alümina metalik köpük bloklarda radyasyonun zayıflaması. ....	32



## GÖZENEKLİ MALZEMELERDE RADYASYONUN ZAYIFLAMASI

### ÖZET

Bu yüksek lisans tez çalışmasında , gama geçirgenlik tekniği kullanılarak silisyum karbür, alumina ve magnezyumdan yapılmış açık hücreli metalik köpük malzemeler, toprak, standart kum ve 0,5 mm çaplı küresel cam bilyelerin deney kabına düzgün olarak yerleştirilmesi ile oluşan gözenekli ortamın gözeneklilik yapıları ve radyasyonu zayıflatma özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Gama geçirgenlik tekniği, gama radyasyonu yayan bir kaynaktan çıkan fotonun incelenecek olan malzemeye nüfuz ettirilmesiyle, malzemeye gelen radyasyon şiddetinin çıkan radyasyon şiddetine mukayesesiyle elde edilen veriyi temel alır. Bu yöntem gerek hızlı gerekse yüksek doğruluğa sahip tahribatsız bir yöntem olduğundan tercih edilir.

Gama geçirgenlik tekniği, bilimsel çalışmalarda, sanayide, tıpta ve tarımda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Sanayide kurşun, alüminyum, çelik gibi malzemelerin kalınlık tayini, tıpta bazı görüntüleme teknikleri cihazları temelini oluşturan gama kameralarla yapılan ölçümlerde gama geçirgenlik yöntemi kullanılmaktadır. Tarımda ise toprak gözenekliliği ve toprağın suyu tutması hakkında bu yöntem kullanılarak faydalı bilgilere ulaşılmaktadır.

Gözenekli ortamlar, günlük yaşantımızda akciğerin yapısından doğal kayalara kadar birçok örnekle karşımıza çıkmaktadır. Gözenekli ortamların, petrolün yeraltından çıkarılması ve filtrelenmesi, jeotermal enerji, yalıtım malzemeleri, hava ve uzay araçlarında uçuş ve fırlatma esnasında ısınmanın önlenmesinde ısı kalkanı olarak kullanılması gibi uygulama alanları vardır. Aynı zamanda kimyasal ve nükleer atıkların zırhlaması ve depolanması ile radyasyonun zayıflatılması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Gözenekli ortamlar gama radyasyonunun zayıflatılması hatta durdurulmasında hafif olmaları nedeni ile tercih edilecek malzemelerdir. Gözenekli ortamların gözenek yapılarının ve radyasyonu zayıflatma özelliklerinin belirlenmesi dar demet geometri ile gama zayıflatma düzenekleri ile gerçekleştirilir.

Çeşitli gözenekli ortamların yapısının gama geçirgenlik tekniği ile incelenmesi, bu yüksek lisans tez çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Bu deneysel çalışmalar gerçekleştirilirken İTÜ Enerji Enstitüsü'nde mevcut dar demet geometri ile gama geçirgenlik düzeneği ve <sup>60</sup>Co gama ışını kaynağı kullanılmıştır.

Bu çalışmada; gözenekli ortam olarak 3 çeşit metalik köpük malzeme, toprak, standart kum ve cam bilyelerle oluşturulan ortam kullanılmış ve doymuş gözenekli ortam oluşturulurken de akışkan olarak su seçilmiştir. Diğer malzemeler doğrudan pleksiglas kaba yerleştirilerek deneyde kullanılırken, toprak örneği gözenekliliğinin homojen olmasını sağlamak amacıyla önceden eleme işleminden geçirilmiştir. Önce kuru malzemelerle gama ışını geçirgenlik ölçümleri yapılmış, daha sonra malzemeler tek tek suya doyurulmuş ve deney koşulları değiştirilmeksizin doymuş malzemenin

sayımlar alınmıştır. Tüm deneylerde, sayımlar malzemelerin merkez düzleminde düşey yönde üç noktadan alınmıştır.

Ölçümler, NaI(Tl) sintilasyon algılayıcısı, dar demet geometrisini sağlayan kolimatörler ve çok kanallı analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her deneyin başında, kaynak kolimatörüne  $^{60}\text{Co}$  radyoizotopu yerleştirilerek ilk olarak malzeme yokken üç kez ard arda sayım alınarak kaynak sayımı değeri elde edilmiştir. Daha sonra sırasıyla silisyum karbür, alumina ve magnezyum metalik köpükleri kolimatörler arasına yerleştirilerek üst üste üç ayrı seviyeden üçer kez  $^{60}\text{Co}$  radyoizotopu ile sayım alınmıştır. Bu sayımlardan herbir malzeme için bağıl sayımlar hesaplanmış, malzeme kalınlıkları da göz önüne alınarak lineer zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır.

Metalik köpük malzemelerle yapılan deneylerin bir sonraki aşamasında malzemelerin gözenekliliğinin bulunması hedeflenmiştir. Bunun için malzemenin suya doyurulması ve yapılan ölçümlerle kuru haldeki ölçümlerle bir arada değerlendirilmesi gerekir. Suyu doyurma işlemini yapabilmek için, malzeme pleksiglas kap içerisine yerleştirilmiştir. Kaba yavaş bir şekilde su ilave edilerek, malzemenin üzerinde bir miktar su kalacak şekilde suya doyurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde dar demet geometrili sistem kullanılarak  $^{60}\text{Co}$  ile sayımlar alınmıştır. Deneylerin bu aşamasında, SiC ve alumina bloklardan prizmatik olan blok malzemeler kullanılmıştır. Doymuş malzemelerin, kuru malzeme sayımlarında kullanılan üç sayım seviyesinden alınan sonuçlarla hesaplanan, lineer zayıflatma katsayılarından elde edilen sonuçlarla birlikte literatürde bilenen temel denklemler yardımı ile herbir noktaya ait gözeneklilik hesabına ulaşılmıştır.

Gözeneklilik hesaplarının yanısıra benzer kalınlıktaki Silisyum karbür ve alumina metalik köpük bloklarının dar demet geometrili gama transmisyon düzeneğinde ard arda koyularak ölçümler yapılmasıyla  $^{60}\text{Co}$  radyoizotopunun farklı kalınlıklardaki zayıflatılması incelenmiş ve elde edilen sonuçlar grafiklerle gösterilmiştir.

Tez çalışmasında diğer gözenekli ortamlar olarak, Samsun İli'ne ait toprak örneği, standart kum ve cam bilyelerle oluşturulan ortamlar kullanılmıştır. Bu malzemelerin ortak özelliği temel yapı bileşenlerinin  $\text{SiO}_2$  olmasıdır, metalik köpük malzemelerden SiC blokların da ana maddesinin Si olması kullanılan gözenekli ortamların karşılaştırılmasını mümkün kılmıştır. Tüm gözenekli ortamların kuru ve suya doymuş halleri ile deneyler tekrarlanmış ve malzemelerin gözenek yapıları, radyasyonu zayıflatmaları belirlenmiş, grafik ve tablolar ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

## **RADIATION ATTENUATION BY POROUS MATERIALS**

### **SUMMARY**

In this thesis, silica carbide, aluminum, magnesium open cell metallic foams, a soil sample, standard Ottawa sand and a porous medium include spherical glasses in 0,5mm diameter as porous media were examined by using geometric gamma transmission technique with narrow beam.

Gamma transmission technique based on a gamma-radiation emitting from the source of the photons can pass through the material with the penetrated material to be inspected which is obtained by comparing the radiation data. This method should be fast as well as the preferred one is a non-destructive method with high accuracy.

Gamma transmission technique are widely used in scientific research, industry, medicine and in agriculture. In industrial lead, aluminum, steel, such as determination of material thickness, in some imaging devices for medical gamma transmission method is used in measurements with the gamma camera underlying. In agriculture, The useful information about soil porosity and soil retention are achieved by using this method.

Developing new multifunctional materials in recent years for nuclear systems has become increasingly critical owing to the high demand on better shielding in extreme environments. Radiation shielding materials and components of shielding structures should possess good mechanical properties, long-term reliability, good fabrication and joining properties with suitable thermophysical characteristics. Particular emphasis must be given to low density, high radiation tolerance and energy absorption capabilities due to new mission criteria in nuclear industries.

Porous media are encountered literally in every day life, in technology, and in nature. Sand, sandstone, soil, ceramic, foam rubber, bread and lungs, are examples of porous materials encountered in practice. The extraction and filtering of underground oil, geothermal energy, insulation materials, air and spacecraft in flight and the prevention of heat during launch are the application fields of porous media. Also porous materials are used in fields such as the attenuation of the radiation shielding of nuclear waste and storage. The porous media as lightweight material can be used shielding of radiation. Studies on this subject are made by using the gamma attenuation mechanism with narrow beam geometry.

The basis of this master's thesis is the investigation of structures of various porous media by using gamma transmission technique. The experimental works were performed on the existing narrow beam geometry in ITU Energy Institute  $^{60}\text{Co}$  gamma-ray source and gamma permeability apparatus are used.

In this study, three kinds of metallic open cell foams, soil, standard sand and a porous medium that includes spherical glasses were used as porous media and the water was

used for saturation of media. In order to ensure a homogeneous porosity of soil sample, soil was passed through a pre- screening process, other materials used in the experiments were placed directly plexyglass container in experimental setup. Firstly, the gamma transmission measurements were carried out with dry porous materials, then all of the materials were saturated by water and the gama transmissions from saturated materials were measured in the same experimental conditions. In all of the experiments, the measurements were done in the three vertical points of the center line of the materials.

The measurements were achieved by using NaI(Tl) scintillation detector, the collimators providing the narrow beam condition and a multichannel analyser. Firstly, by inserting a  $^{60}\text{Co}$  radioisotope into source collimator in the system without material three successive counts were taken, so the source intensity ( $I_0$ ) was found. Then, respectively, three times three consecutive counts from the three different levels of silicon carbide, alumina and magnesium metallic open cell foams were counted by inserting materials between the collimators. By using this counts, the relative counts intensities were calculated and by taking into consideration material thickness the linear attenuation coefficients were found for every metallic foams.

In the another part of the experiments, it is aimed to examine the porosity of these materials. To find this, saturating the materials and evaluating informations from this and experimental results with dry materials is a necessary. To make saturation operation, firstly dry materials were inserted into a plexyglass container. Then water was poured into the container slowly until water level is higher materials up level by one centimeter. With this saturated new material counts were taken by using  $^{60}\text{Co}$  radiation source in the narrow beam geometrical gamma transmission system. In this experiment, the prismatic SiC and alumina blocks were used. By using linear attenuation coefficients for dry and saturated materials experiment results and by inserting these informations into basic equations, the porosities were calculated for each three points of two kinds of materials.

Beside the calculation of the porosities of foams, the attenuation of the different thicknesses of silicon carbide and alumina were examined against  $^{60}\text{Co}$  radiation source, also the narrow beam geometry gamma transmission was used with this experiment. The relative counts were calculated and shown by exponential relative counts versus thickness.

The gamma transmission measurements for Samsun Province's soil sample, standard Ottawa sand and glass beads were repeated with the same experimental conditions. The attenuation of radiation and the porosities of all porous materials were found. The soil sample, the standard Ottawa sand, glass beads contain  $\text{SiO}_2$  and also SiC metallic foam has silisium. So, it was possible the comparison of these porous materials in terms of the radiation attenuation and the structure of porosity.

The results revealed that all the work has been interpreted as given in comparative tables and graphs.



## 1. GİRİŞ

İyonize edici radyasyon çalışmaları ve kullanımı 1895'te Wilhelm Röntgen tarafından X-ışınlarının keşfiyle ve 1896'da Henri Becquerel tarafından doğal radyoaktivitenin keşfiyle başlamıştır. Böylece iyonize edici radyasyon modern fiziğin öncüsü olan atomik ve nükleer fizik alanında ve tıp, endüstri, güç santralleri, silah üretimi, atık yönetimi ve güvenlik birimleri gibi birçok çalışma alanında önemli roller üstlenmiştir.

İyonize edici radyasyonun yeni kullanım alanlarının gelişmesiyle birlikte, iyonize edici radyasyonun insan dokusu gibi biyolojik yapılarda somatik ve genetik hasarlara da neden olduğu görülmüştür. Böylece radyasyonun güvenli kullanımı sadece fiziğin değil farklı alanların da araştırma konusu olmuştur [1]. Radyasyonun malzeme içerisinde zayıflama olasılığını temsil eden foton zayıflatma katsayısının incelenmesi, radyasyondan korunma ve radyasyonun malzeme özelliklerinin belirlenmesinde kullanımı açısından önem kazanmaktadır.

Yapılan birçok çalışmada deneysel ve teorik olarak çok sayıda element için foton zayıflatma katsayıları belirlenmiş olup birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaların en önemlisi Hubbell [2] tarafından yapılan teorik çalışmadır ve bu çalışmada 1 keV- 20 MeV enerji aralığında metallere kadar birçok farklı elementin kütleli zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Öte yandan Hubbell'in da içinde bulunduğu bir grup bilim adamı tarafından oluşturulan ve NIST tarafından yayınlanan XCOM programı ile 1 keV- 100 GeV enerji aralığında foton zayıflatma katsayıları hesaplanabilmektedir [3].

Bir malzemenin foton zayıflatma katsayısı deneysel olarak, gama ışını geçirgenlik tekniği kullanılarak saptanmaktadır. Gama ışınlarının malzeme içerisinde zayıflatılması esasına dayanan gama ışını geçirgenlik tekniği, malzeme özelliklerinin saptanmasında yaygın olarak kullanılan tahribatsız bir yöntemdir.

Ayrıca El-Kateb ve Abdul-hamid [4] yaptıkları deneysel çalışmada, gama geçirgenlik yöntemi ile farklı malzemeler için foton zayıflatma katsayıları belirlenmiş ve teorik değerler ile karşılaştırıldıklarında deneysel ve teorik değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu görmüşlerdir.

Gama ışını geçirgenlik tekniği kullanılarak özellikleri tanımlanan bir malzeme grubu da gözenekli ortamlardır. Yapısında birbiri ile ilintili boşluklar içeren, böylece içinde akışkan akışı olabilen gözenekli ortamların en önemli özelliklerinden biri olan gözeneklilik, gama ışını geçirgenlik yöntemi ile bulunabilmektedir.

### **1.1 Tezin Amacı**

Gama geçirgenlik tekniği tahribatsız, hızlı ve güvenilir bir yöntem olduğundan bilimsel çalışmalarda, sanayide, tıpta ve tarımda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, çeşitli gözenekli ortamların gama radyasyonunu zayıflatmaları ve yerel gözeneklilik değerleri gama geçirgenlik tekniği ile deneysel olarak incelenmiştir.

### **1.2 Literatür Araştırması**

Radyasyonun malzeme içerisindeki zayıflamasının incelenmesi, malzemelerin çeşitli radyasyon enerjileri için zırhlama işlevlerinin incelenmesi anlamına gelmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda, gama ışını geçirgenlik tekniği kullanılarak çeşitli malzemelerin radyasyon zayıflatma özellikleri incelenmiştir.

Gözenekli malzeme olarak alüminyum köpüğün kullanıldığı bir çalışma Rabiei ve diğerleri [5] tarafından yapılmıştır. Kapalı hücre metal köpükler ve dolgulu açık hücreli alüminyum köpük malzemelerin gama radyasyonu zırh özellikleri farklı enerjili gama radyasyon kaynakları kullanılarak teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Yüksek malzeme yoğunluğundan dolayı, kapalı hücre kompozit metal köpükler, dolgulu açık hücreli alüminyum köpüklere göre daha iyi zırhlama ve radyasyon zayıflatma özellikleri gösterir.

Bu çalışmanın sonucunda, radyasyon ile gerçekleştirilen ve zırhlama için katı malzeme kullanılan tıbbi teşhis yöntemlerinde, zırh olarak metal köpük malzemelerin işlem performansı, ekonomiklik ve güvenilirlik bakımından tercih

edilebileceği önerisi yapılmıştır. Radyonüklid taşıyıcılar ve düşük seviyeli nükleer atık kutuları gibi hafif ağırlıklı zırh malzemelerin ihtiyaç duyulduğu diğer uygulamalarda, alüminyum-çelik kompozit metal köpükler enerji absorpsiyonu ve ısı direnç özellikleri nedeniyle tercih edilebilir.

Rabiei ve diğerlerinin [6] yaptığı bir diğer çalışmada gözenekli ve gözenekli olmayan(döküm) alüminyum malzemelerin gama ışınları ve termal nötronları zayıflatması incelenmiştir. Açık hücreli alüminyum metal köpükler hafif ağırlıkta malzeme olarak gama ışınlarını ve termal nötronları zırhlamayı sağlarlar. Bu çalışmanın deneysel sonuçları gözenekli ve yoğunlukça hafif olan metalik köpüğün, alüminyum döküm malzemeye kıyasla gama ışınını daha az zayıflattığını göstermiştir. Öte yandan, metal köpük suya doyurularak döküm malzemeninkinden daha büyük foton zayıflatma katsayısına ulaşılmıştır. Çalışmada, ağırlıkça avantajlı olmasından dolayı, köpük malzemelerin farklı enerjilerde zırh malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Tıbbi teknolojinin gelişmesiyle tıbbi cihazlarda radyasyonun kullanılması birçok hastalığın tedavisinde önemli rol oynamaktadır. Kim ve diğerleri [7] yaptıkları çalışmada, tıbbi radyasyonu zırhlamada çoğunlukla kullanılan baryum sülfattan, zırhlama önlükleri üretmişlerdir. Baryum sülfat tabanlı tungsten, molibden, kauçuk ve silikon bileşimli altı çeşit radyasyon zırhlama kâğıdı yapmışlardır ve radyasyon geçirgenliklerini standart bir kurşununki ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak kurşun kâğıtların yerine daha ekonomik olan bu gözenekli tıbbi radyasyon zırh kâğıtlarının kullanılabilmesi anlaşılmıştır.

Erdem ve diğerleri [8] yaptıkları bir çalışmada insanların sürekli kozmik radyasyona, yer küredeki doğa kaynaklı radyasyona, kendi vücutlarındaki radyoizotoplara, evler ve yiyeceklerdeki radyasyona maruz kalmakta olduğundan ve özellikle yüksek iyonize edici radyasyon seviyelerinin görüldüğü yerlerde korunma amacıyla radyasyon zırhlaması gerektiğinden bahsetmiştir. Bu çalışmada, kurşun içeren katı atık malzemenin gama radyasyonunu zırhlama özellikleri incelenmiştir. Atık malzeme aynı zamanda gözenekli bir yapıya sahiptir. Foton zayıflatma katsayısı deneysel olarak bulunmuş, beton ve kurşun için teorik olarak da hesaplanmıştır. Sonuçlar karşılaştırılmış ve bu hafif malzemenin binalarda gama radyasyonunu zırhlama amacıyla kullanılabilmesine karar verilmiştir.

### **1.3 Hipotez**

Gözenekli malzemeler gama radyasyonunu zayıflatmak için kullanılabilir ve gama ışını geçirgenlik tekniği ile gözenekli ortamların gözenekliliği doğru, yerel ve tahribatsız olarak hesaplanabilir.

## 2. GÖZENEKLİ ORTAMLARIN GAMA IŞINI GEÇİRGENLİK TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

### 2.1 Gözenekli Ortamlar ve Gözeneklilik

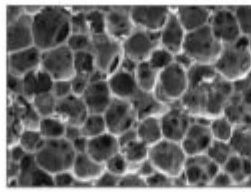
#### 2.1.1 Gözenekli Ortamlar

Gözenekli ortamlar, günlük yaşantımızda, teknolojiye ve doğada hemen her yerde karşımıza çıkan malzemelerdir. Beton tuğla, kireç taşı gibi yapı malzemesi ile tahta, toprak, kayalar, bazı plastikler, kurutulmuş et ve sebzeler, hatta insan akciğeri ve kemikler gözenekli yapıya sahip ortamlara örnek olarak verilebilirler [9]. Şekil 2.1'de bazı gözenekli ortam örnekleri verilmiştir. Bir malzemeye gözenekli ortam denebilmesi için aşağıdaki özelliklerden en az birine sahip olması gerekir [10].

- Malzeme kendi boyutları ile karşılaştırıldığında içerisinde çok küçük ve birbiri ile irtibatlı boşluklar içerir. Bir katı iskelet içerisinde oluşan bu boşluklar, hava, su vb. akışkanlar veya farklı akışkanlardan oluşan karışımlar içerir.
- Akışkan katı malzemenin bir ucundan girip öbür ucundan çıkabilmelidir.



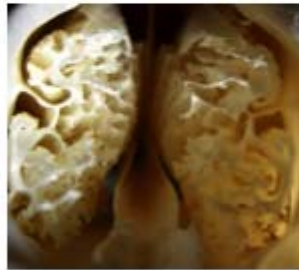
kum



metal köpük



sünger



akciğer



kemik

Şekil 2.1: Gözenekli ortam örnekleri.

## 2.1.2 Gözeneklilik

### Gözeneklilik Tanımı ve Hesaplanması

Bir malzeme içerisindeki boşlukların hacminin katı ve boşluk hacminden oluşan toplam hacme oranına gözeneklilik denir.

$$\varepsilon = \frac{V_g}{V_t} \quad (2.1)$$

Burada,  $V_g$  boşluk hacmini ve  $V_t$  toplam hacmi göstermektedir,  $V_k$  katı hacmi olmak üzere,  $V_t = V_g + V_k$  şeklindedir, Denklem (2.1)'den görüleceği gibi gözeneklilik birimsizdir. Bir malzemenin gözenekliliği 0 ile 1 arasında değişmektedir [10].

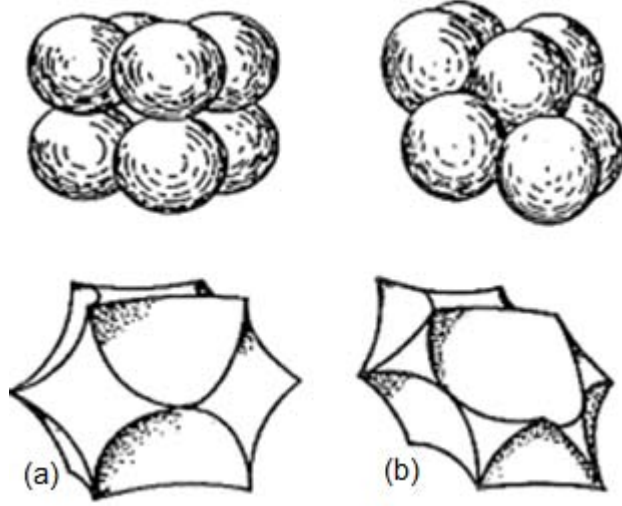
Gözenekler arası ilişkiye göre iki tip gözeneklilik vardır. Bunlar;

- Mutlak gözeneklilik: Boşluk hacminin gözenek ilişkileri göz ardı edilerek alınan toplam hacmine oranıdır.
- Etkin gözeneklilik: Birbiri ile ilişkili boşluk hacminin toplam hacme oranıdır.

Doğal gözenekli ortamlar düşünülürse, örneğin lav ve manyetik kayalarda, mutlak gözeneklilik yüksektir ancak etkin gözeneklilik önemsenmeyecek ölçüde küçüktür.

Tekdüze kürelerin düzgün sıralanışı göz önüne alınarak, gözenekliliğin malzemenin yapısına bağlı değişimi incelenebilir. Şekil 2.2 'de sırasıyla tekdüze kürelerin kübik ve eşkenar dörtgen şeklinde dizilişi sonucu birim hücrelerde oluşan gözeneklilik görülmektedir.

Teorik olarak tekdüze kürelerin sıralanışı sonucu oluşan gözeneklilik ile kürelerin büyüklüğü birbirinden bağımsız ise de, doğal maddelerde durum aynı değildir. Tekdüze tane boyutundaki kumlarda tane boyutunun küçülmesi ile gözenekliliğin arttığı görülmektedir. Yani tane boyutu, tekdüze tane büyüklüğüne sahip katılaşmamış doğal maddelerde bunların gözeneklilik değerleri ile ters orantılıdır [11]. Düzgün tane büyüklüğü olmayan katılaşmamış doğal maddelerde tane büyüklüğü dağılımı ile gözeneklilik arasında bağlantı vardır.



**Şekil 2.2:** (a) Kübik sıralanışa sahip tekdüze kürelerin gözenek uzayı ve düzeni, (b) eşkenar dörtgen sıralanışa sahip tekdüze kürelerin gözenek uzayı ve düzeni [12].

Tane büyüklüğünün çeşitli olması, büyük tanelerin arasında kalan boşlukların daha küçük boyuttaki tanelerle dolmasına ve gözenekliliğin azalmasına yol açar. Bu nedenle, tane boyutu değişken olan bir malzeme, iyi elenmiş ve tane boyutu nerdeyse tekdüze hale getirilmiş bir malzemedен daha düşük değerde bir gözenekliliğe sahiptir [9].

Doğal gözenekli ortam olan toprağın gözenekliliği, ölçüm için paketlenme yoğunluğuna, tane boyutuna ve dağılımına, taneciklerin şekline, çimentolanmaya bağlı olarak değişir. Çimentolanma, zamanla gözenek boşluklarının toprak katmanlarındaki çeşitli maddelerle dolması ile ortaya çıkan bir durumdur ve gözenekliliği azaltır. Öte yandan toprak katmanlarının sıkışması yani uygulanan basınç gözenekliliği etkiler. Toprağın gözenekliliği 0,3 ile 0,7 arasında değişir [13]. Çoğu gözenekli ortamda gözenekler gözle görülemeyecek kadar küçük bir yapıya sahiptirler [14].

Mutlak (gerçek) gözeneklilik ve etkin (effektif) gözeneklilik için farklı ölçüm teknikleri mevcuttur. Çizelge 2.1'de farklı ölçüm teknikleri ile ölçümde kullanılan büyüklükler verilmiş olup hangi gözeneklilik türünün belirlendiği ve bölgesel olarak ölçümün mümkün olup olmadığına değinilmiştir. Bölgesel gözeneklilik ölçüm olasılığı sadece fotoğraf ve gama geçirgenlik tekniğinde mümkün olmaktadır [15].

**Çizelge 2.1:** Gözeneklilik ölçüm teknikleri [15].

<b>Teknik</b>	<b>Temel İlke</b>	<b>Ölçüm Büyüklüğü</b>	<b>Gözeneklilik Türü</b>	<b>Bölgesel Ölçüm Olasılığı</b>
<b>Doğrudan Ölçüm</b>	Kaba hacmin toplam hacme oranı	Hacim	Mutlak	Yok
<b>Fotoğraf (İki boyutlu)</b>	Katı alanların toplamının boşluk alanlarınıninkine oranı	Alan	Mutlak	Var
<b>Emme (Islatan sıvı)</b>	Islatan akışkanı tamamen emmiş kütlenin kuru kütleye oranı	Kütle ve Hacim	Etkin	Yok
<b>Civa Enjeksiyonu (Islatmayan sıvı)</b>	Ortam içerisinde ilerleyen civanın hacmi	Hacim	Etkin	Yok
<b>Gaz Enjeksiyonu</b>	Genleşmeden önce ve sonraki ortamı bir arada tutan basınç	Basınç ve Hacim	Etkin	Yok
<b>Gamma Işını Geçirgenliği</b>	Gözenekli ortamdan geçen gama ışınının aynı kalınlıktaki bir katı maddeden geçerkenki zayıflatması ile karşılaştırılması	Radyasyon Şiddeti	Mutlak	Var



Bu yüksek lisans tez çalışmasında çeşitli gözenekli ortamların gama radyasyonunu zayıflatma özellikleri incelenmiştir. Ele alınan gözenekli ortamlardan bir kısmı da metalik köpük malzemelerdir, tezin bu bölümünde metalik köpük malzemelerin özelliklerine değinilecektir.

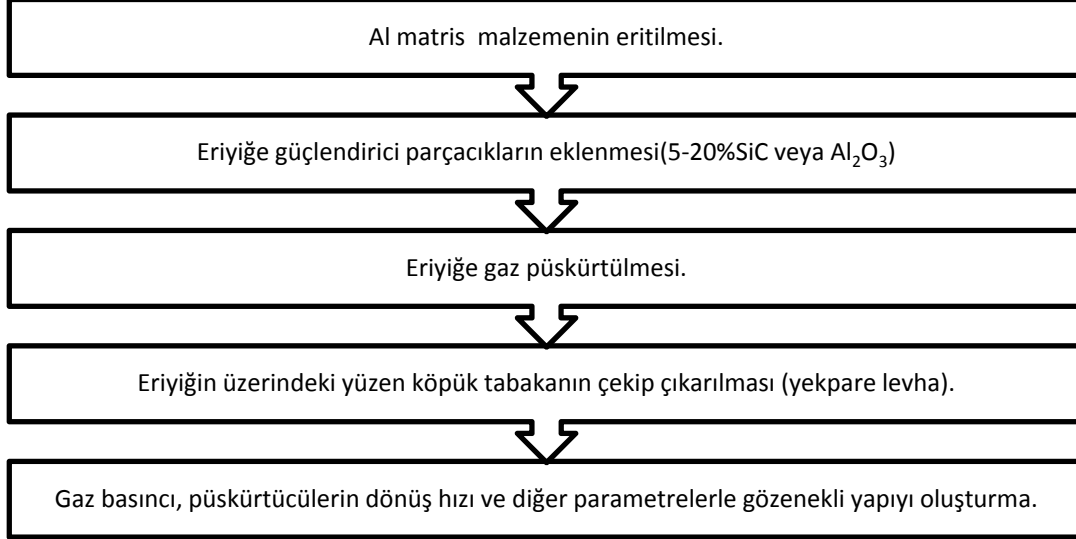
## **2.2 Metalik Köpük Malzemeler**

Metalik köpük, çeşitli gazların metal gövde içerisinde dağılarak boşluklar oluşturduğu metal yapılar için kullanılan bir terimdir. Metalik köpük bir malzeme olarak genelde alüminyum, demir, nikel, çinko ve titanyum gibi metaller kullanılır. Bu malzemelerle ilgili ilk çalışmalar 1940'larda başlamış, bu çalışmalarda değişik erime ve kaynama noktalarında değişik fazlar içeren alaşımlar kullanılmıştır. Metalik köpükler, ısıl davranışları, enerji absorbe etme yetenekleri, düşük yoğunlukları, yüksek kesme ve kırılma mukavemetleri ve düşük ağırlıklarından dolayı tercih edilen yeni bir malzeme grubudur. Banhart ve Baumeister [16] yaptıkları çalışmada metalik köpük ve benzeri gözenekli metal yapıların üretimi hakkında bilgi vermişlerdir. Metalik köpük üretimi Şekil 2.3 ve 2.4'de görüldüğü gibi doğrudan ve dolaylı yöntem olarak iki sınıfa ayrılmaktadır, bu şekillerde örnek olarak alüminyum köpük üretimi verilmiştir.

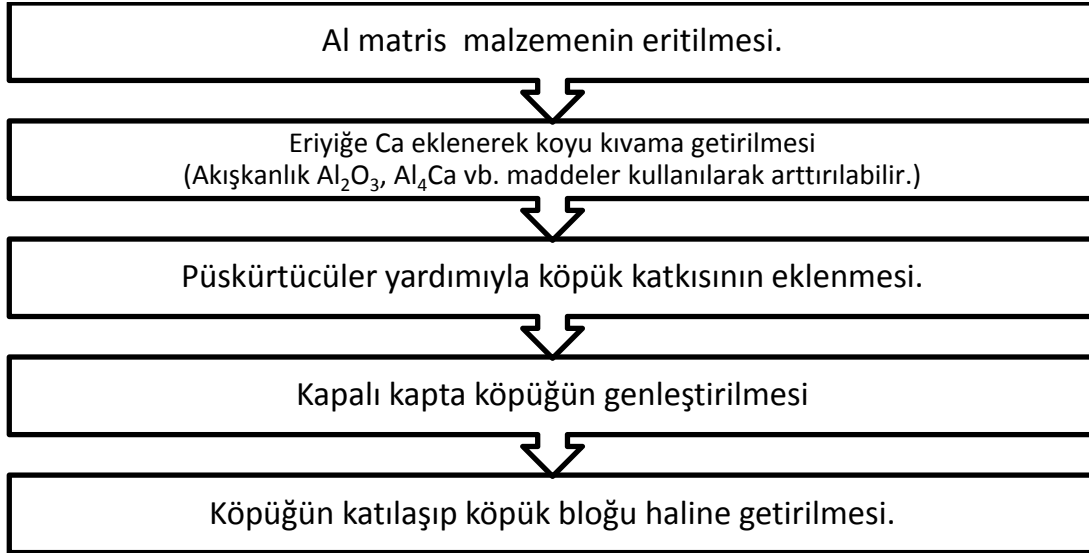
Üretim işlemleri başlangıç metalinin hangi fazda olduğuna göre sınıflandırılır; Sıvı, toz ve iyonize gibi. Sıvı metal doğrudan gaz, gaz yayan köpük ajanları enjeksiyonu ya da çok doymuş metal-gaz çözeltileri üretilerek köpük haline getirilebilir. Dolaylı yöntemlerde ise döküm ve dolgu malzemeler kullanılır.

Metal köpükler metal toz harçları ya da polimer/toz karışımları kullanılarak da yapılabilir. Sonunda galvanik elektro-çökelti, aynı zamanda açık gözenekli ve yüksek gözenekli metalik yapılar haline gelir. Köpük yapım işlemleri, gözenekli bir malzeme oluşturacak olan doğrudan köpürtme veya bir polimer köpük ya da gözenekler için boşluk sağlayacak veya köpükte kalacak olan katı dolgu malzemenin etrafına döküm gibi yöntemlerden birisi ile oluşturulan eriyik metalden başlar.

Metal köpükler, açık hücreli ve kapalı hücreli olmak üzere iki yapı biçiminde üretilmektedir. Eğer gözenekler birbiriyle bağlantılı bir halde bulunuyorsa bu tür yapıya açık hücreli, hücrelerin herbirinin içerisinde gaz hapsedilmiş ve birbirinden sızdırmazlık derecesinde duvarlarla ayrılmış ise kapalı hücreli köpük adı verilmektedir [17].



Şekil 2.3: Doğrudan yöntemle eriyiği köpüklendirme [16].



Şekil 2.4: Dolaylı yöntemle eriyiği köpüklendirme [16].

Metal köpükler ilk geliştirildiğinden bu yana otomotiv endüstrisi için son derece uygun ve ilgi çekici özelliklere sahip olmuştur. Ayrıca gemi yapımı, uzay endüstrisi ve inşaat mühendisliği alanlarında da mevcut uygulamaları vardır.

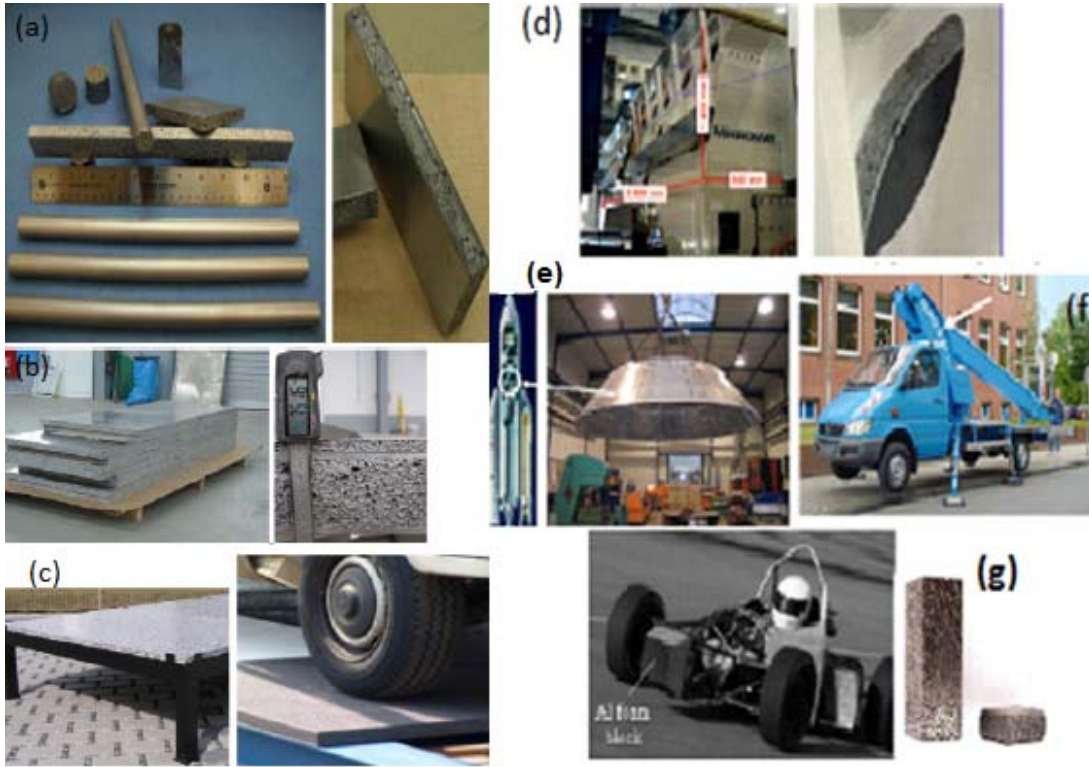
Metalik köpüklerin uygulamaları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- *Hafif-ağırlıklı yapılar:* Metalik köpükler mühendislik malzemelerinin özgül ağırlık bükme sertliklerini iyileştirmede kullanılabilir. Düz köpük panellerin bükme sertlikleri köpük yoğunluğu ile neredeyse ters orantılı olarak değişir.
- *Enerji absorpsiyonu:* Metalik köpükler yüksek gözeneklilikleri sayesinde, deforme oldukları zaman baskı malzemesinin sıkıştırma gücünü sınırlandırırken, büyük miktarda mekanik enerjiyi absorbe ederler. Köpükler, sonuç olarak çarpma anında hızlandırıcıları sınırlandıran darbe enerjisi emicileri olarak görev yaparlar.
- *Akustik ve ısı kontrol:* Metalik köpükler belirli koşullar altında titreşimleri sönmüleyebilir ve ses emici olarak kullanılabilirler. Bunun yanı sıra, yüksek sıcaklıklara dayanırlar, ısı iletkenlikleri düşüktür. Bu özellikler olağanüstü olmayabilir, örneğin polimer köpükler- daha iyi ses emici olabilir, fakat diğer köpük özellikleri ile birlikte kullanıldığında kullanışlı olabilirler. Bu uygulama bir köpüğün içsel boşluk dağılımının kullanımını sağlar, desteğin labirenti ve birleşik hava dolgulu boşlukları kullanılır [18].

Nakajima [19] çalışmasında doğrudan yöntem ile oluşturulan gözenekli metal köpüklerin en son gelişen üretim metotları, çeşitli özellikleri ve uygulamalarını tartışmıştır. Bu gözenekli metaller hidrojen, azot ve oksijen gibi basınçlı gaz atmosferinde tekyönlü katılaştırma ile üretilmektedir. Gözenekler, gazı çözücü eriyik metal katılaştığı zaman, çözünmeyen gazdan ortaya çıkar. Yönlü gözeneklerin metallerde çekirdekleşme ve büyüme mekanizmaları buzdaki karbondioksit gözenekleri deneyi ile karşılaştırılabilir. Kalıp döküm, sürekli bölgesel erime ve sürekli döküm teknikleri şeklindeki üç üretim tekniğinden son iki teknikte katılma hızı kontrol edebilir ve sonuncu teknikte kütle üretimi vardır. Gözenek yönü katılaştırma yönü ile kontrol edilirken, gözeneklilik ve gözenek büyüklüğü katılaştırma hızı ve ortam gaz basıncı ile kontrol edilebilir. Sadece metaller ve alaşımlar değil ikili veya çoklu metalik bileşikler, yarı iletkenler ve seramikler de bu yöntemlerle üretilebilir.

Mekanik ve fiziksel özelliklerde tektürel olmamak, tektürel olmayan gözenek dağılımından meydana gelir. Bu gözenekli metalik yapılar, iyi ses emilimi ve titreşim sönmüleme özellikleri gösterir.

Smith ve diğeri [20] yaptıkları çalışmada, metal köpük malzemelerin inşaat mühendisliği alanındaki uygulamalarından bahsetmişlerdir. Metali köpüklemek, yani mikro yapılarda boşluklar oluşturmak, yoğunluğu azaltır ve görünen kalınlığı artırır. Eğer dikkatle tasarım yapılırsa, oluşturulan köpüklü bileşen yüksek düz eğrilik sertliğine sahip olabilir ve katı çelikten daha hafif ağırlıkta olur. Ek olarak, oluşan bileşen genellikle çok yüksek enerji dağıtma kapasitesi ve geliştirilmiş titreşim, ısı ve akustik özelliklere sahip olur. Yapısal olmayan metalik köpük uygulamaları, termal iletkenlikte, yangın söndürmede, akustik, hava ve akışkan iletiminde ve/veya zırhlamada kullanılır, Şekil 2.5'de metalik köpüklerin kullanım alanları görülmektedir.

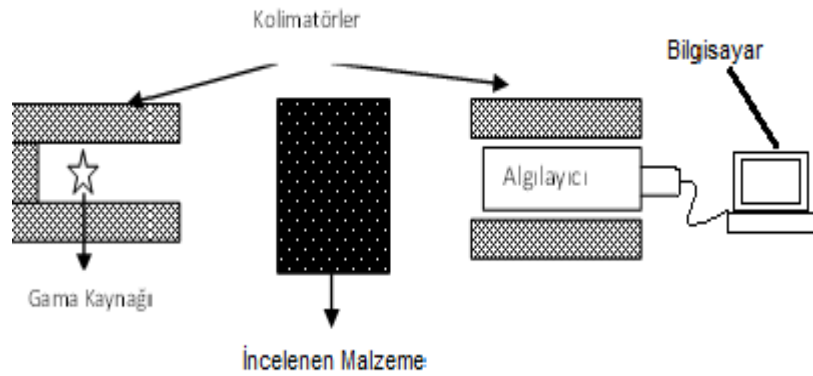


**Şekil 2.5:** Metalik köpük örnekleri ve kullanım alanları (a) çelik köpük çubuklar ve sandviç düzlemler,(b) Duvar/yer köpük sandviç paneller, (c) Balkon platformu, park yeri yolu, (d) Vinç kaldırma kolu ve desteği,(e)Fabrika ekipmanı, (f)Uzak füzesi roket koni prototipi, (g)Yarış arabası çarpma emici, [20].

### 2.3 Gama Işını Geçirgenlik Tekniği:

Endüstri, tıp, tarım gibi birçok farklı dalda malzeme özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan gama geçirgenlik tekniğine ait blok şeması Şekil 2.6' da görülmektedir, şekilde yer alan elektronik bileşenler, ön yükseltici, yükseltici ve

sayıcı-zamanlayıcı gibi elemanlardan oluşmaktadır. Gama kaynağından çıkan fotonlar madde ile etkileşime girerek zayıflarlar ve diğer taraftaki algılayıcıya ulaşırlar. Algılayıcıya gelen fotonlar, bu defa algılayıcı malzemesi ile etkileşip zayıf bir sinyal üretirler. Bu sinyal yükselticide ölçülebilir düzeye getirilir ve sayıcıdan okunan değer radyasyonun birim zamandaki şiddetini verir. Gama fotonunun zayıflaması, incelenen malzemenin özelliklerine bağlı olarak gerçekleşir. Bu nedenle gama-ışını geçirgenlik deneyi ile elde edilen sonuçlar malzemenin özellikleri hakkında doğrudan bilgi vermektedir.



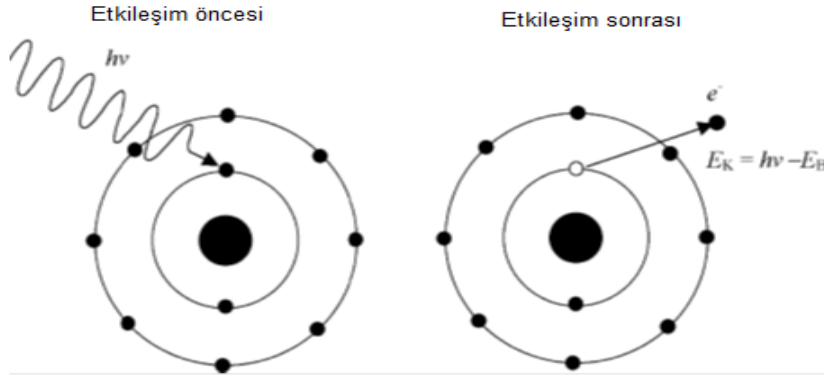
**Şekil 2.6:** Gama geçirgenlik tekniği şematik gösterimi

### 2.3.1 Gama radyasyonunun malzeme ile etkileşimi

Fotonun madde ile etkileşimleri fotonun absorpsiyonu veya saçılması olarak iki gruba ayrılabilir. Fotonun absorpsiyonu fotoelektrik etki, çift oluşumu, Rayleigh saçılması ve Compton saçılması ile açıklanır.

#### **Fotoelektrik olay**

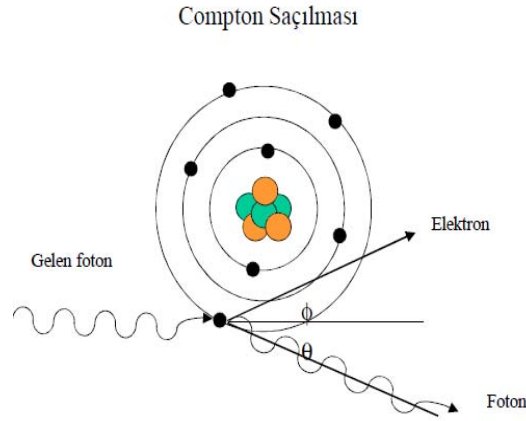
Fotoelektrik olay, gama fotonunun yörünge elektron bulutu ile etkileşmesi, tüm enerjisini bir elektrona vererek elektrona serbest bırakması ile sonuçlanır. Şekil 2.7'de şematik olarak gösterilen fotoelektrik olayda, bir serbest elektron ve pozitif iyondan oluşan iyon çifti meydana gelir ve gelen foton tamamen soğurulur. Kopan elektron yerine bir üst katmandan elektron gelmekte ve bu boşluğu doldurmaktadır. İki katman arasındaki enerji farkı kadar karakteristik X-ışını yayınır. Bu etkileşme özellikle düşük enerjili fotonlar ile yüksek atom numaralı malzemelerde görülür.



Şekil 2.7: Fotoelektrik olayın şematik gösterimi.

### Compton saçılması

Yeteri derecede yüksek enerjiye sahip gama fotonları, maddenin dış yörünge elektron bulutundaki bir elektrona çarparak yörüngesinden çıkarır. Şekil 2.8'de şematik olarak gösterilen Compton saçılmasında, gelen foton enerjisinin bir kısmını kaybeder ve gelme açısı doğrultusunda farklı bir açı ile saçılır. Saçılan foton daha düşük bir enerjiye sahiptir ve fotoelektrik etki ile malzemeye etkileşmeye devam eder. Compton saçılması özellikle 1 MeV ile 10 MeV enerji aralığındaki fotonlar ile düşük ve orta atom numarasına sahip malzemeler arasında görülmektedir.

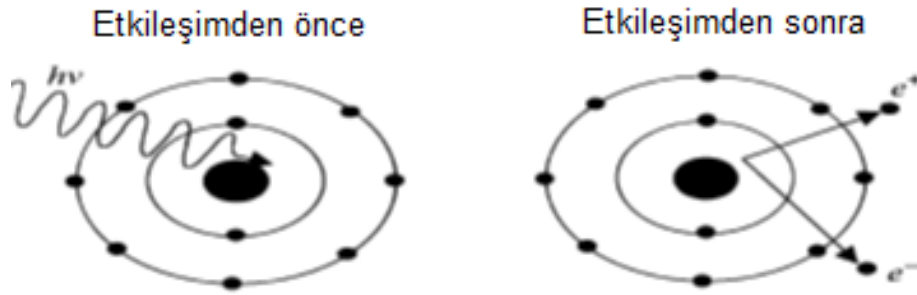


Şekil 2.8: Compton saçılması şematik gösterimi.

### Çift oluşumu

En az 1,02 MeV enerjiye sahip gama fotonları, atom çekirdeğinin yakınından geçerken enerjisinin hepsini kaybeder ve bir elektron-pozitron çifti açığa çıkar. Bu elektron-pozitron çiftinin toplam kütle eşdeğer enerjisi 1,02 MeV dir. Bu nedenle

gelen gama fotonun enerjisi en az 1,02 MeV olmalıdır. Şekil 2.9'da şematik olarak gösterilen çift oluşumunda, gelen gama fotonu yok olur ve oluşan pozitronun bir elektronla etkileşmesi sonucu yok oluş radyasyonu diye adlandırılan birbirine 180° zıt yönde yayınan 2 gama fotonu ortaya çıkar. Bu fotonlar düşük enerjilidir, fotoelektrik olay ile malzemeye etkileşirler. Çift oluşumu önce enerjinin kütleyle (gelen foton pozitron-elektron çifti ortaya çıkarır), sonra kütlelerin enerjiye (pozitronun elektronla birleşip yok oluşu ve gama fotonlarını ortaya çıkarması) dönüşümünün gerçekleştiği bir olaydır. Gelen fotonun enerjisi arttıkça çift oluşumu olasılığı artar.

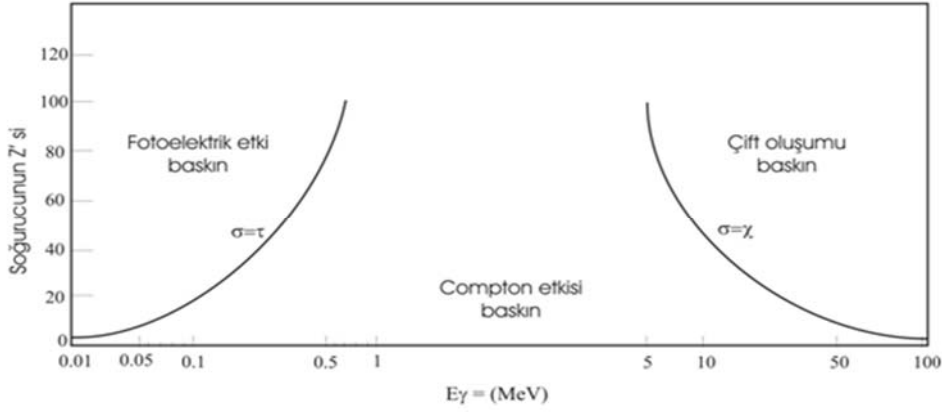


Şekil 2.9: Çift oluşumunun şematik gösterimi.

### Rayleigh Saçılması:

Rayleigh saçılması, bir foton ve soğurucu atom arasında fotonun saçılması ile meydana gelen olaydır. Atom bu olay sonucunda uyarılmaya veya iyonizasyona uğramaz. Sadece gelen foton küçük bir açı ile yön değiştirir. Compton olayı ve Fotoelektrik olaya kıyasla daha düşük enerjili fotonların etkileşimleridir.

Sonuç olarak, gama fotonunun enerjisine bağlı olarak madde ile etkileşme olasılıklarında Şekil 2.10'daki gibi, gelen fotonun enerjisi 1 MeV civarını bulduktan sonra Compton saçılması ve çift oluşumu baskın olmaktadır.



**Şekil 2.10:** Fotonun madde ile etkileşiminin enerjeye göre değişimi [21].

### 2.3.2 Gama-Işını Geçirgenlik Ölçümlerinin Gözenekli Ortamın İncelenmesinde Kullanımı

Radyasyonun,  $x_k$  kalınlığındaki kuru gözenekli ortamda zayıflaması Lambert–Beer Kuralı ile aşağıdaki gibi açıklanır.

$$I_k = I_0 \exp(-\mu_k x_k) \quad (2.2)$$

Burada,  $I_0$ ,  $I_k$ ,  $x_k$  [cm] ve  $\mu_k$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] sırasıyla malzemeye gelen radyasyonun şiddetini, kuru gözenekli ortam tarafından zayıflatılmış radyasyon şiddetini, malzeme kalınlığını ve malzemenin lineer zayıflatma katsayısını göstermektedir.

Malzeme suya doyurulduktan sonra, doymuş malzemede zayıflayan radyasyon şiddeti,

$$I_{sd} = I_0 \exp(-\mu_k x_k - \mu_s x_{sd}) \quad (2.3)$$

şeklinde [22]. Burada;  $I_{sd}$  doymuş gözenekli malzemeden geçen radyasyon şiddetini,  $x_{sd}$  [cm] kolondaki % 100 doymuş gözenekli ortamdaki temsili sıvı kalınlığını ve  $\mu_s$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] suyun lineer zayıflama katsayısını göstermektedir. Gözenekli ortamın suya doyması, suyun yavaş bir şekilde ortama ilave edilmesi ve bu işlemin gözenekli ortamın yüzeyinde 1 cm su kalıncaya kadar devam etmesi ile gerçekleştirilir [23]. Denklem (2.2) ve (2.3) kullanılarak  $x_{sd}$  aşağıdaki gibi elde edilir.

$$x_{sd} = \frac{\ln(I_k/I_{sd})}{\mu_s} \quad (2.4)$$



Gözeneklilik tanımından hareketle, kuru gözenekli malzeme kalınlığı ve temsili sıvı kalınlığı kullanılarak gözeneklilik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\epsilon = \frac{x_{sd}}{(x_{sd} + x_k)} \quad (2.5)$$

Denklem (2.4), denklem (2.5)'de yerine konup yeniden düzenleme yapılırsa gözeneklilik aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\epsilon = \left(1 + \frac{x_k \mu_s}{\ln(I_k/I_{sd})}\right)^{-1} \quad (2.6)$$

Denklem (2.6)'dan görüleceği gibi kuru toprak kalınlığı, suyun lineer zayıflatma katsayısı, kuru gözenekli ortamdan geçen radyasyon şiddeti ve suya doymuş gözenekli ortamdan geçen radyasyon şiddeti kullanılarak, gözeneklilik deneysel olarak saptanabilmektedir.



### 3. DENEYSEL KOŞULLARIN TANITIMI

#### 3.1. Deney Düzenegi

Bu tez çalışmasında, çeşitli gözenekli ortamların radyasyonu zayıflatması dar demet geometrili bir gama geçirgenlik düzenegi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışma İ.T.Ü Lisansüstü Tezleri Destekleme Programı tarafından yüksek lisans tez projesi olarak desteklenmiştir. Deney düzenegi şematik olarak Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2'de ise ölçüm sırasında deney düzeneginin fotoğrafı görülmektedir.

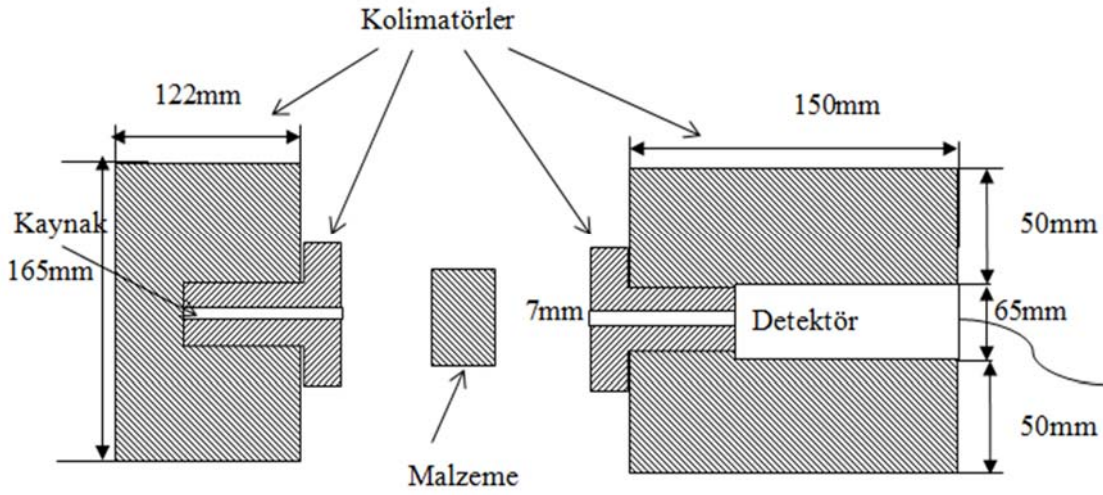
Deney düzenegi aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır;

**(a) Radyasyon kaynağı;** Bu çalışmada gama kaynağı olarak  $^{60}\text{Co}$  radyoizotopu kullanılmıştır. Kullanılan kaynak İ.T.Ü Enerji Enstitüsü Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı'na ait Radyoizotop Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. Bu çalışmada  $^{60}\text{Co}$  gama kaynağının 1173 ve 1332 enerji piklerinin ortalaması olan 1225 keV enerjili pik kullanılmış ve kaynağın radyoaktif özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

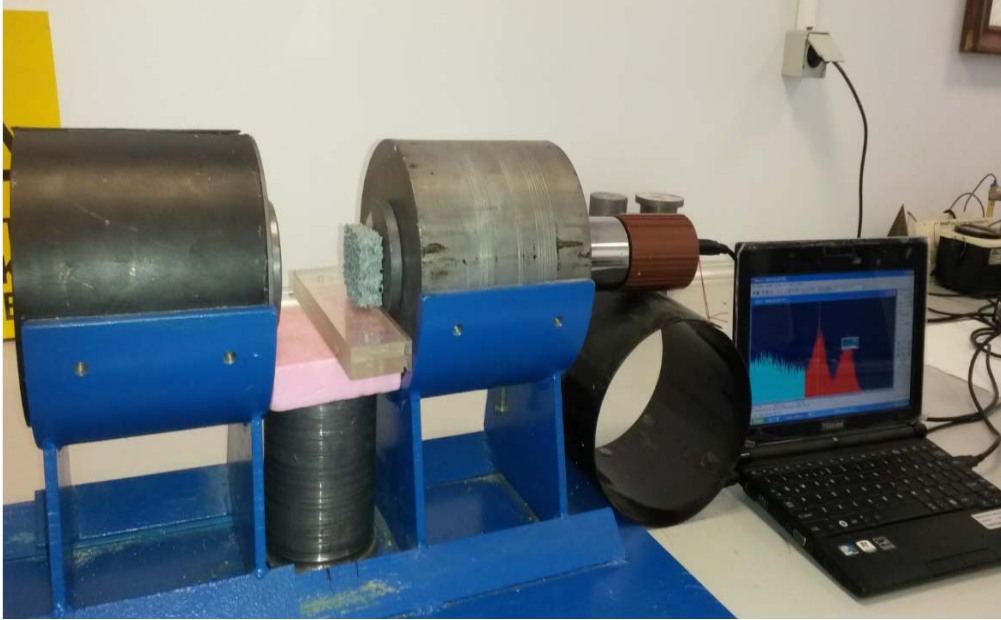
**Çizelge 3.1:** Deneylede kullanılan  $^{60}\text{Co}$  kaynağının radyoaktif özellikleri

Kaynak	Yarı Ömür (Yıl)	Enerji (keV)	Aktivite ( $\mu\text{Ci}$ )
$^{60}\text{Co}$	5.27	1173 (% 100) 1332 (% 100)	8,38

**(b) Sayım sistemi;** Çalışmada gama verimi yüksek olan NaI(Tl) sintilasyon algılayıcı ve bir ORTEC marka MODEL 802-2x2 çok kanallı analizörü kullanılmıştır.

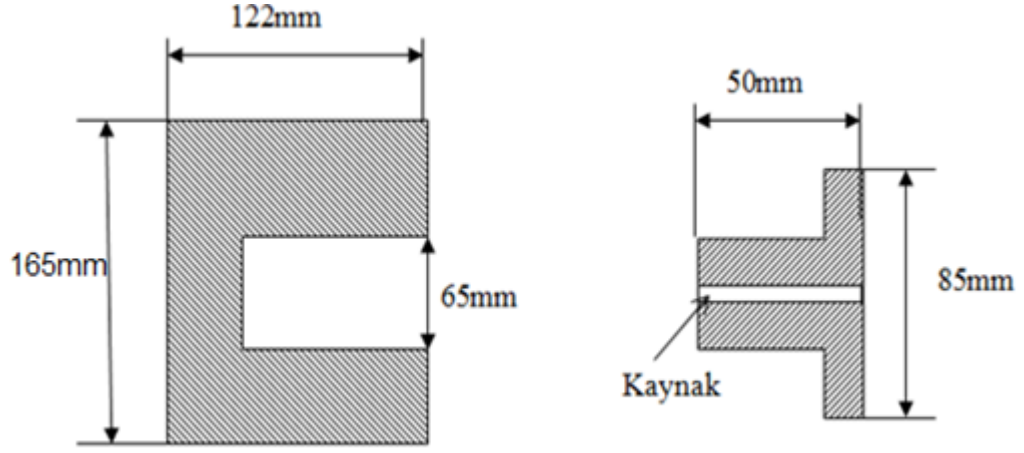


Şekil 3.1: Deneý düzeneğinin şematik gösterimi.

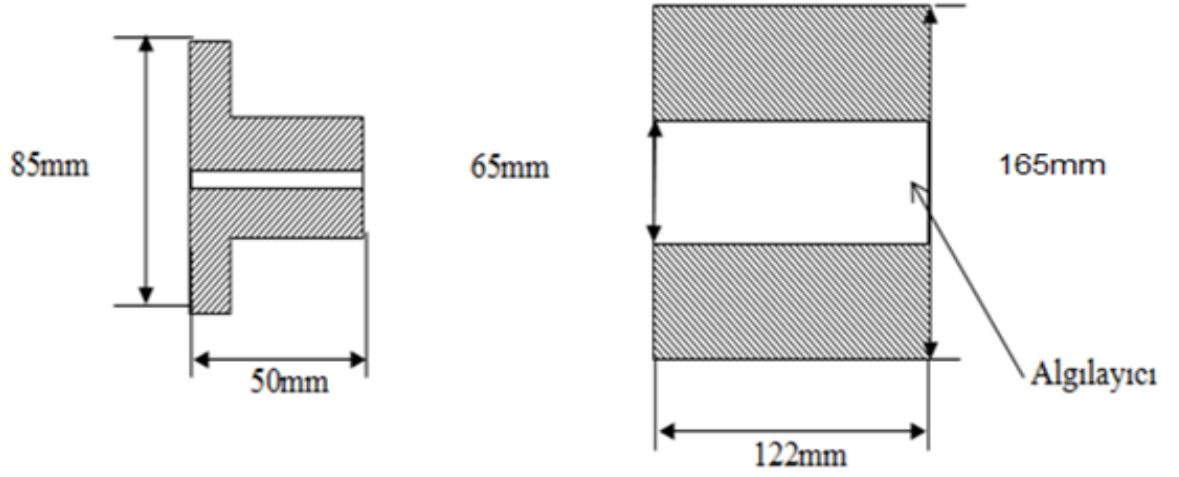


Şekil 3.2: Ölçüm sırasında deneý düzeneğinin görünümü.

(c) **Kurşun kolimatörler;** Dar demet geometrisini oluşturan kurşun kolimatörler Şekil 3.3 ve 3.4'te şematik olarak Şekil 3.5'te ise fotoğraflarla gösterilmiştir. Bu geometride kaynak ve dedektör ikilisinin içinde bulunduğu kolimatörlerin çapı 7 mm dir.



Şekil 3.3: Kaynak kolimatörünün şematik gösterimi.



Şekil 3.4: Algılayıcı kolimatörünün şematik gösterimi.



Şekil 3.5: Dar demet geometrisini sağlayan kolimatörlerin görünümü.

### 3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada kullanılan gözenekli ortamlar benzer geometrik şekil ve hacimlere sahip silisyum karbür, alümina ve magnezyum olmak üzere üç ayrı metalik köpük malzeme ile birlikte standart bir kum ve Samsun iline ait bir toprak örneği kullanılmıştır. Bu malzemelerin yanısıra, pleksiglas kaba düzgün olarak yerleştirilmiş cam boncuklarla oluşturulmuş bir gözenekli ortamda da radyasyonun zayıflaması incelenmiştir.

#### (a) Metalik köpük malzemeler

Silisyum karbür alümina ve magnezyum köpük örnekleri, endüstriyel çalışmalarda seramik ve demir döküm işlerinde filtre olarak kullanılmaktadır. Metal köpük malzemeler Şekil 3.6'da görüldüğü gibi dikdörtgenler prizması veya silindir şeklinde bloklar halindedirler. Gri renkli SiC ve beyaz renkli alümina ( $Al_2O_3$ ) prizmatik blokların boyutları 4,7x4,7x2 cm, silindirik blokların yüksekliği 2 cm, çapı 5,8 cm şeklindedir. Sarı renkli Mg silindirik blokların ise yüksekliği 2,5 cm ve çapı 6,8 cmdir.



**Şekil 3.6:** Silisyum karbür (gri renkli), alümina (beyaz renkli) ve magnezyum (sarı renkli) metalik köpük malzemeler.

#### (b) Toprak

Şekil 3.7'de diğer bir gözenekli ortam olarak incelenen Samsun iline ait toprak örneği ölçümlerin yapıldığı pleksiglas kap içerisinde görülmektedir. Samsun iline ait toprağın temel kimyasal yapısı yani toprağın en yüksek yüzdelerle içerdiği oksitler

Çizelge 3.2'de verilmiştir. Toprağın özkütlesi 2,238g/cm<sup>3</sup>dür ve toprak elenerek 1.70-2.00 mm tane büyüklüğüne kadar getirilmiştir.



**Şekil 3.7:** Pleksiglas kap içerisinde Samsun iline ait toprak örneği.

**Çizelge 3.2 .Samsun iline ait toprağın kimyasal yapısı, [24].**

Kimyasal bileşen	(%)
SiO <sub>2</sub>	59,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,60
CaO	3,02

### (c) Standart kum

Çalışmada gözenekli ortam olarak Standart C778 Ottawa kumu (20-30 Mesh) (US Silica Company, Ottawa, Illinois) da kullanılmıştır. Bu kuma ait özellikler Çizelge 3.3'de verilmektedir. Bu kumun standart özelliklere sahip oluşu nedeniyle, endüstriyel alanlarda, özellikle boya üretim sanayinde kullanımı yaygındır. Ayrıca, literatürde yer alan gözenekli ortam ile ilgili çalışmaların büyük bir bölümünde temiz, ayrık tane yapısı ve tanelerin birbirine yapışma eğilimi göstermemesi nedeni ile Ottawa kumu kullanımı tercih edilmektedir [9].

**Çizelge 3.3:** Deneyde kullanılan gözenekli ortam (Ottawa kumu) özellikleri [9].

Kimyasal yapı	$SiO_2$
Yapı	Temiz, ayrık
Mesh ( $\mu m$ )	600-800
Ortalama tane çapı ( $\mu m$ )	720
Hacimsel yoğunluk ( $g/cm^3$ )	1.74
Parçacık yoğunluğu ( $g/cm^3$ )	2.82

#### (d) Cam bilyeler

Cam ani soğutulmuş alkali ve toprak alkali metal oksitleriyle, diğer bazı metal oksitlerin çözülmesinden oluşan akışkan bir malzeme olup ana maddesi ( $SiO_2$ ) silisyumdur. Bu çalışmada genelde ana maddesi Si içeren gözenekli ortamlarla çalışılması hedeflenmiştir. Bu çerçevede, standart kum ve toprağın bulunduğu pleksiglas kap içerisine 5mm çapındaki cam bilyeler Şekil 3.8'de görüldüğü gibi oldukça düzgün bir şekilde yerleştirilerek gözenekli ortam oluşturulmuştur.



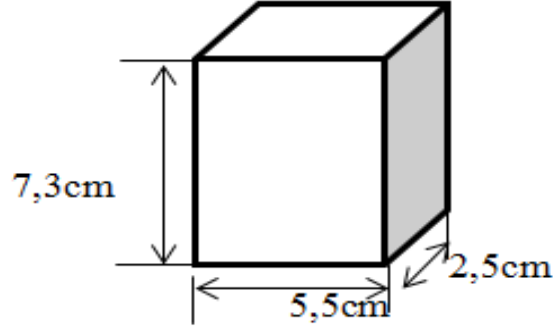
**Şekil 3.8.** Pleksiglas kap içerisinde düzgün yerleştirilmiş cam bilyelerden oluşan gözenekli ortam.

#### Deney Kabı:

Deneyde kullanılan metal köpük malzemeler ile sayım alınırken, kuru malzeme sayımlarında kap kullanılmamış ancak malzemeyi su ile doyurma işlemleri, suyun zayıflatma katsayısının hesabı ve standart kum ile toprak ölçümleri alınırken



pleksiglas malzemeden yapılmış 7,3x5,5x2,5 boyutlarında prizmatik bir kap kullanılmıştır. Kabın et kalınlığı 3mm dir. Şekil 3.9'da şematik olarak pleksiglas kabın boyutları gösterilmiştir.



**Şekil 3.9:** Pleksiglas deney kabı



## **4.GÖZENEKLİ ORTAMLARDA RADYASYONUN ZAYIFLAMASI**

Bu yüksek lisans tez çalışmasında çeşitli gözenekli ortamların radyasyonu zayıflatması deneysel olarak incelenmiştir. Malzemede radyasyonun zayıflaması ile ilgili bilgiler aynı zamanda gözenekli yapının özelliklerinin de saptanmasında kullanılmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar gözenekli yapıların kuru ve suya doyurulmuş halleri ile gerçekleştirilmiştir.

### **4.1 Metalik Köpük Malzemelerle Yapılan Deneysel Çalışmalar**

Dar demet geometrili gama geçirgenlik ölçüm sistemi kaynak kolimatörü ve algılayıcı kolimatörü arasındaki mesafe bu malzemelerle çalışırken en iyi verimi verdiği deneysel olarak bulunan 11 cm kadar olacak şekilde konumlandırılmıştır. Malzemeleri üzerinde taşıyarak radyasyonun malzemenin istenilen bölgesinden geçmesini sağlayacak yükseklikte düzgün bir taşıyıcı zemin hazırlanmıştır. Kaynak kolimatörüne  $^{60}\text{Co}$  radyoizotopu yerleştirilerek ilk olarak malzeme yokken üç kez ard arda sayım alınarak  $I_0$  değeri elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların tümünde her bir sayım süresi 600'er saniye alınmış ve  $^{60}\text{Co}$  radyoizotopu için 1,25 MeV enerji piki incelenmiştir. Tez çalışmasında, metalik köpük malzemeler için bir kodlama sistemi yapılmış, buna göre çizelgelerde silisyum karbür metalik köpükleri S1-6 olarak, alumina metalik köpükleri A1-4 olarak, magnezyum metalik köpükleri ise M1-2 olarak kodlanmıştır. Daha sonra sırasıyla silisyum karbür, alumina ve magnezyum metalik köpükleri kolimatörler arasına yerleştirilerek üst üste üç ayrı seviyeden üçer kez  $^{60}\text{Co}$  radyoizotopu ile sayım alınmıştır. Bu sayımlardan herbir malzeme için bağıl sayımlar hesaplanmış, malzeme kalınlıkları da göz önüne alınarak Lambert Beer Kanunu'na göre lineer zayıflatma katsayıları hesaplanmıştır. Çizelge 4.1'de kuru metalik köpük malzemelerde üç seviyeden alınan sayımlarla hesaplanan ortalama lineer zayıflatma katsayıları verilmiştir.

**Çizelge 4.1:** Kuru metalik köpük malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları

<b>Kuru Metalik Köpük</b>	<b><math>\mu_{ort}</math> ( <math>\text{cm}^{-1}</math> )</b>	<b>Kuru Metalik Köpük</b>	<b><math>\mu_{ort}</math> ( <math>\text{cm}^{-1}</math> )</b>
<b>S1</b>	0,012051	<b>A1</b>	0,043627
<b>S2</b>	0,026988	<b>A2</b>	0,074482
<b>S3</b>	0,019808	<b>A3</b>	0,014073
<b>S4</b>	0,010647	<b>A4</b>	0,027505
<b>S5</b>	0,034753	<b>M1</b>	0,046401
<b>S6</b>	0,040991	<b>M2</b>	0,057420

Çizelge 4.1’den görüleceği gibi, tüm metalik köpüklerde lineer zayıflatma katsayıları mertebe olarak  $0,1 \text{ cm}^{-1}$  değerinin altında olmakla beraber, silisyum karbür bloklar için  $0,012\text{-}0,04 \text{ cm}^{-1}$  arasında, alumina bloklar için  $0,014\text{-}0,074 \text{ cm}^{-1}$  arasında değişmektedir. İki magnezyum metalik köpüğün lineer zayıflatma katsayıları ise birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Metalik köpük malzemeler, Şekil 3.6’den da görüleceği gibi metalik ızgara içerisinde hava boşluklarından oluşmaktadır ve boşluklar düzgün dağılı değildir. Bu durumun zayıflatma katsayısının değişik değerler almasına yol açtığı düşünülmektedir.

Metalik köpük malzemelerle yapılan deneylerin ikinci aşamasında malzemelerin gözenekliliğinin bulunması hedeflenmiştir. Bunun için malzemenin suya doyurulması ve yapılan ölçümlerle kuru haldeki ölçümlerle bir arada

değerlendirilmesi gerekmektedir. Suya doyurma işlemini yapabilmek için, malzeme pleksiglas kap içerisine yerleştirilmiştir. Kaba yavaş bir şekilde su ilave edilerek, malzemenin üzerinde bir miktar su kalacak şekilde suya doyurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde dar demet geometrili sistem kullanılarak  $^{60}\text{Co}$  ile sayımlar alınmıştır. Deneyle bu aşamasında, SiC ve alumina bloklardan prizmatik olan S1, S2, S3, A1 ve A2 blokları kullanılmıştır. Doymuş malzemelerin, kuru malzeme sayımlarında kullanılan üç sayım seviyesinden alınan sonuçlarla hesaplanan, lineer zayıflatma katsayılarının ortalaması Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2:** Suya doymuş metalik köpük malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları

Su ile Doyurulmuş Malzeme	$\mu_{\text{ort}}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )
S1	0,102925
S2	0,100656
S3	0,083435
A1	0,070436
A2	0,103795

Öte yandan suyun zayıflatma katsayısı aynı dar demet geometrisi ve  $^{60}\text{Co}$  kaynak kullanılarak deneysel olarak Çizelge 4.3’teki gibi bulunmuştur.

**Çizelge 4.3:** Suyun lineer zayıflatma katsayısı (1.25 MeV için)

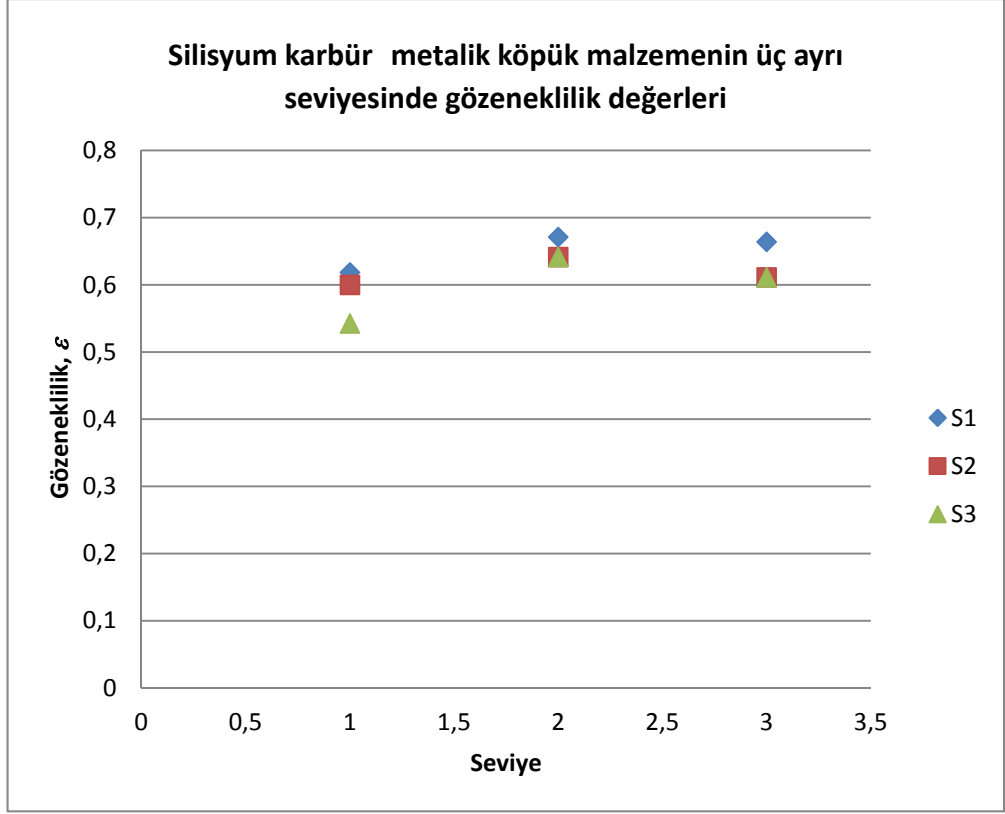
Malzeme	$\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Su	0,056999

Kuru malzemelerden ve suya doymuş malzemelerden alınan sayımlar, deneysel olarak bulunan suyun lineer zayıflatma katsayısından da yararlanılarak, Denklem (2.6) kullanılarak, her bir malzemenin üç sayım seviyesindeki yerel gözeneklilik hesabı yapılmıştır. Metalik köpük bloklara ait yerel gözeneklilikler ve bunların

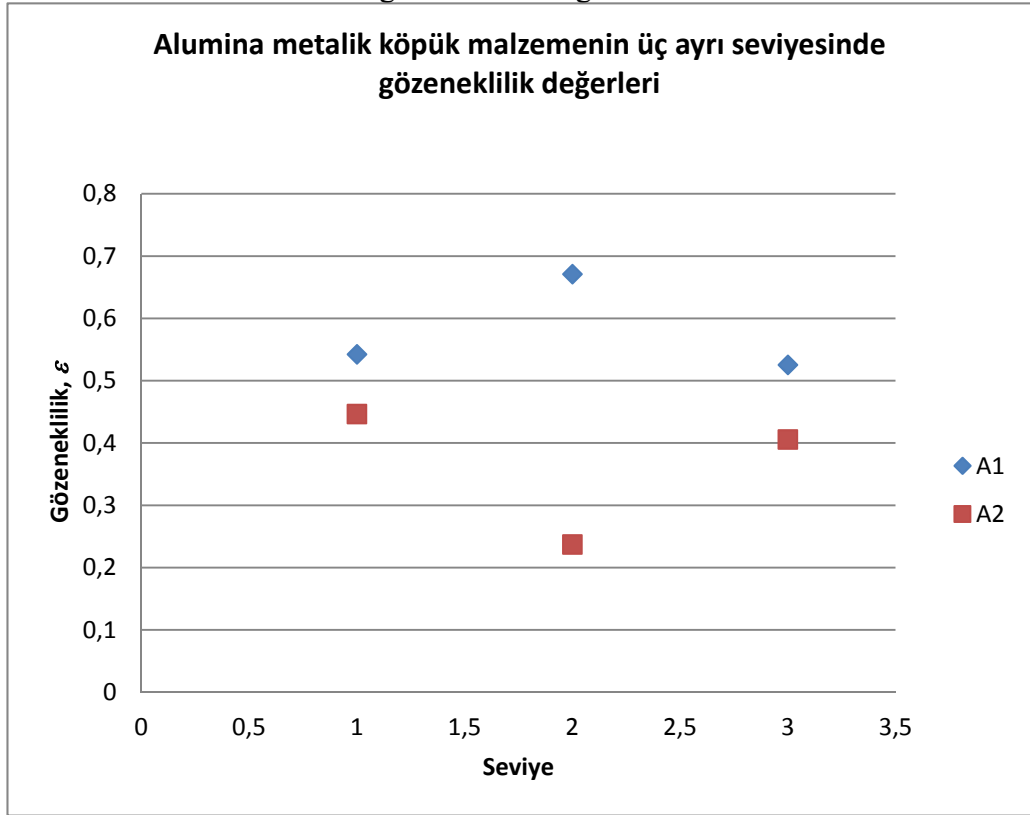
ortalaması ile elde edilen ortalama gözeneklilikler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.1 ve 4.2'de de sonuçlar grafikte gösterilmiştir. Sonuçlar tüm bloklarda üç seviyedeki gözeneklilik değerlerinin birbirine yakın ama aynı olmadığını göstermektedir. Bu da malzemelerdeki boşlukların düzgün dağılı olmadığını ispat etmektedir. Bununla beraber silisyum karbür blokların yerel gözeneklilikleri, alumina bloklarınkine göre birbirine daha yakındır, ancak değer olarak alumina bloklar daha düşük gözenekliliğe sahiptir.

**Çizelge 4.4:** Metalik köpük bloklar için gözeneklilik değerleri

Metalik köpük malzeme	Gözeneklilik, $\epsilon$			$\epsilon_{ort}$
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
S1	0,618504407	0,671060571	0,66394840	0,651171
S2	0,599943707	0,641270288	0,610964608	0,617393
S3	0,542356858	0,670890988	0,525229844	0,579493
A1	0,446599655	0,237072086	0,405620391	0,363097
A2	0,582861277	0,558856789	0,517266844	0,552995

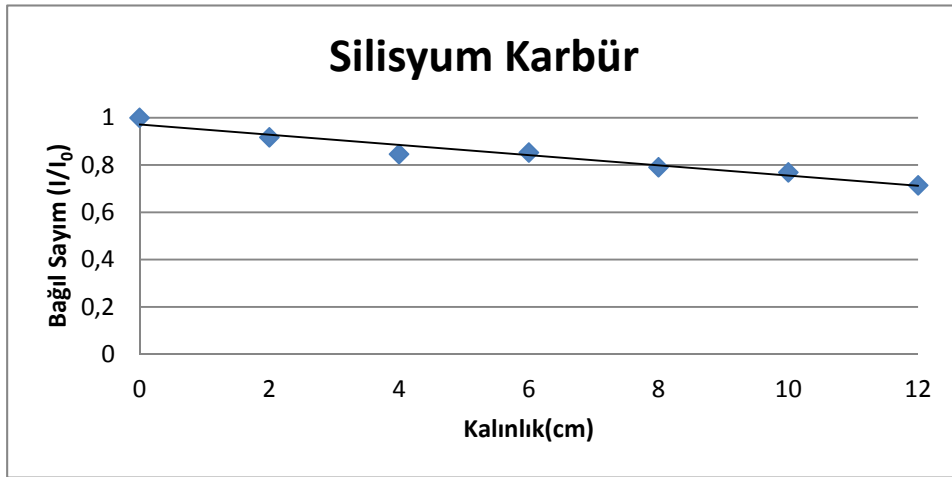


**Şekil 4.1:** Silisyum karbür metalik köpük malzemeler için üç farklı seviyede gözeneklilik değerleri

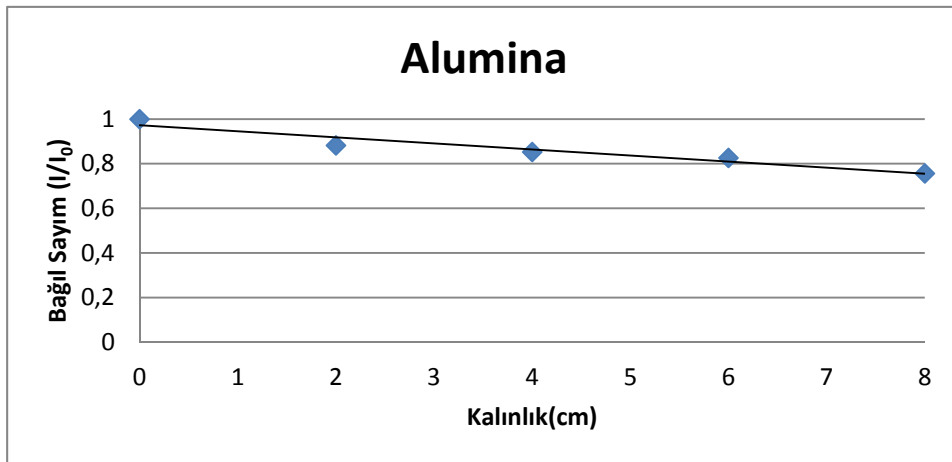


**Şekil 4.2:** Alümina metalik köpük malzemeler için üç farklı seviyede gözeneklilik değerleri

Tez çalışmasında bu aşamaya kadar, metalik köpük blokların zayıflatma katsayıları ve gözeneklilik değerleri incelenmiştir. Çalışmanın hedeflerinden birisi metalik köpük blokların hafif olmaları nedeni ile zırhlama malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesidir. Bu amaçla, algılayıcı - kaynak kolimatörleri arasında tüm silisyumkarbür blokların sığabileceği kadar 12,5 cm lik mesafe bırakılmış ve bu inceleme için daha önce sayım yapılan üç seviyeden sadece en üst seviyeden sayım alınmıştır. Silisyum karbür bloklar ard arda eklenerek, herbir blok eklendiğinde üçer kez sayım yapılmıştır. Aynı işlem Alümina malzemeler için de gerçekleştirilmiştir. Bu bağıl sayımların kalınlıkla değişim grafiği silisyumkarbür metalik köpük malzemeler için Şekil 4.3'te, alumina metalik köpük malzemeler için Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Silisyum karbür metalik köpük bloklarda radyasyonun zayıflaması



Şekil 4.4: Alümina metalik köpük bloklarda radyasyonun zayıflaması



Şekil 4.3 ve 4.4'den görüleceği gibi alumina bloklarda radyasyon silisyum karbür bloklara göre daha kısa mesafede aynı seviyeye indirilmektedir. Örneğin bağlı değerlerin yaklaşık %75'e indiği kalınlık alumina için 8cm, silisyum karbür için 10cm'dir.

#### 4.2 Toprak ve Kum ile Yapılan Deneysel Çalışmalar

Silisyum karbür metalik köpüklerle yapılan çalışma, silisyum içeren farklı gözenekli yapılarla radyasyonu zayıflatma açısından birlikte değerlendirilmiştir. Bu bölümde silisyumun oksitlerini içeren gözenekli ortamlar olarak, standart kum ve Samsun iline ait toprak ile de radyasyon zayıflatması incelenmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi açısından, kum ve toprak metalik köpüklerle aynı kalınlığa sahip olacak şekilde pleksiglas kaba konmuştur. Karşılaştırma yapılabilmesi için, silisyum karbür bloklardan gözenekliliği en düşük olan blok (S3) seçilmiştir, zira kum ve toprağın gözenekliliğinin küçük olması beklenmektedir. Samsun iline ait toprak ve standart kum örnekleri Bölüm 3.2' de bahsedilen pleksiglas kaba ayrı ayrı koyularak üç ayrı seviyeden üçer kez <sup>60</sup>Co radyoizotopu ile aynı geometride sayım alınmıştır. Bu sayımlar ile hesaplanan lineer zayıflatma katsayıları Çizelge 4.5'te verilmiştir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.1 karşılaştırıldığında toprak ve standart kumun lineer zayıflatma katsayıları S3 silisyum karbür bloğununkinden daha büyüktür.

**Çizelge 4.5:** Samsun iline ait toprak ve standart kumun lineer zayıflatma katsayıları

Malzeme	Lineer Zayıflatma Katsayısı $\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )			$\mu_{\text{ort}}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
Toprak(Samsun)	0,079745	0,084673	0,076961	0,080459
Standart kum	0,079879	0,105760	0,085550	0,090397

Suya doyurma işlemi Samsun iline ait toprak örneği ile standart kum örneği için de gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.6'da bu sayımlar ile hesaplanan lineer zayıflatma katsayıları verilmiştir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 karşılaştırıldığında, suya doymuş

ve kuru malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları arasındaki fark, toprak için  $\Delta \mu_{ort} = 0,033777$ , kum için  $\Delta \mu_{ort} = 0,027182$  şeklindedir. Çizelge 4.7'de ise toprak ve standart kumun gözeneklilik dağılımı ve ortalama gözeneklilik değerleri verilmiştir. Çizelge 4.7'den görüleceği gibi toprak ve standart kumun ortalama gözeneklilik değerleri birbirine yakındır.

**Çizelge 4.6:** Suya doymuş Samsun iline ait toprak örneği ve standart kumun lineer zayıflatma katsayıları

Su ile Doyurulmuş Malzeme	$\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ ) Lineer Zayıflatma Katsayısı			$\mu_{ort}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
Toprak(Samsun)	0,119965	0,132380	0,090363	0,114236
Standart kum	0,106739	0,124863	0,121137	0,117579

**Çizelge 4.7:** Samsun iline ait toprak örneği ve standart kumun gözeneklilik değerleri

Malzeme	Gözeneklilik, $\varepsilon$			$\varepsilon_{ort}$
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
Toprak(Samsun)	0,390493	0,431795	0,175927	0,332738
Standart kum	0,320027	0,250784	0,384056	0,318289

### 4.3 Cam Bilyelerle Yapılan Deneysel Çalışmalar

Silisyum içeren bir diğer malzeme de camdır. Deneysel olarak kullanılmış olan pleksiglas kaba, 5mm çapındaki cam bilyeler düzgün olarak yerleştirilerek gözenekli ortam oluşturulmuştur. Bilyelerden oluşan gözenekli ortamda radyasyonun zayıflaması, gama geçirgenlik yöntemiyle kabın merkezinde düşey yönde üç noktadan sayım alınarak incelenmiştir. Önce kuru ortam için sayımlar alınmış, sonra bilyelerden oluşan ortama üstten yavaşça su ilave edilerek ortam suya doyurulmuş ve aynı noktalardan sayım alınmıştır. Bu deneylerde de  $^{60}\text{Co}$  radyoizotopu kullanılmıştır. Bu sayımlardan yola çıkılarak Denklem (2.2) kullanılarak kuru ve suya doymuş malzemelerin lineer zayıflatma katsayıları ve Denklem (2.6) kullanılarak da gözeneklilikleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kalınlık olarak kabaca kabın genişliği alınmıştır.

Çizelge 4.8'de kuru ve suya doymuş gözenekli malzemenin lineer zayıflatma katsayıları verilmiştir. Doğal olarak suya doymuş malzeme için lineer zayıflatma katsayısında büyük artış olmuştur. Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi, kuru malzemenin üç seviyedeki lineer zayıflatma katsayıları birbirine yakındır, ancak bilyelerden oluşan gözenekli ortam suya doyunca ikinci seviyedeki zayıflatma katsayısının artışı daha az olmuştur. Bu durum seviyelerde gözenekliliğin farklı olduğunu göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.9'da görüleceği üzere yerel gözeneklilik değeri ikinci seviyede en azdır. Dolayısıyla bu seviyede ortamda daha az su tutulmuştur, bu da doymuş ortamda kuru ortama yakın bir zayıflatma katsayısı değerini vermiştir.

**Çizelge 4.8:** Cam bilyelerden oluşan gözenekli ortamın kuru ve suya doyurulmuş hallerindeki lineer zayıflatma katsayıları.

<b>Malzemenin ölçüm alınan seviyeleri</b>	<b>Kuru malzemenin zayıflatma katsayısı <math>\mu_{\text{ort}} (\text{cm}^{-1})</math></b>	<b>Suya doymuş malzemenin zayıflatma katsayısı <math>\mu_{\text{ort}} (\text{cm}^{-1})</math></b>
Seviye 1	0,107807	0,198075
Seviye 2	0,115270	0,139975
Seviye 3	0,120906	0,195908

**Çizelge 4.9:** Cam bilyeli gözenekli ortam için gözeneklilik değerleri

Cam bilyeli gözenekli ortam	Gözeneklilik, $\epsilon$			$\epsilon_{ort}$
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
	0,612957	0,302371	0,568194	

#### 4.4 Silisyum İçeren Gözenekli Ortamların Karşılaştırılması

Bu bölümde, tezde incelenen silisyum içeren gözenekli ortamlarda radyasyonu zayıflatma ve gözenek yapısı açısından bir karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir. Çizelge 4.10'da silisyum içeren metalik köpük (S3) ile toprak, kum ve cam bilyelerle oluşturulmuş gözenekli ortama ait kuru ve doymuş haller için lineer zayıflatma katsayısı, gözeneklilik değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge 4.11'de ise malzemelerin kuru ve suya doymuş halleri için, bağıl radyasyon şiddetlerindeki değişim verilmiştir. Bu çizelgelerdeki ortalama değerler üç farklı sayım seviyesinden elde edilen sonuçların ortalamasını ifade etmektedir.

**Çizelge 4.10:** Silisyum içeren malzemelerin özelliklerinin karşılaştırılması

Malzeme	$(I/I_0)_{ort}$ (kuru)	$\mu_{ort(kuru)}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$(I/I_0)_{ort}$ (doymuş)	$\mu_{ort(doymuş)}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\epsilon_{ort}$
S3(SiC)	0,961191	0,019808	0,847171	0,083435	0,579493
Toprak	0,851379	0,080459	0,796245	0,114236	0,332738
Standart kum	0,819898	0,090397	0,772188	0,117579	0,318289
Cam bilye	0,777102	0,114661	0,677195	0,177986	0,439911

**Çizelge 4.11:** Silisyum içeren malzemelerin radyasyonu zayıflatması

<b>Malzeme</b>	<b>(I/I<sub>0</sub>)<sub>ort</sub></b> <b>(kuru)</b>	<b>(I/I<sub>0</sub>)<sub>ort</sub></b> <b>(doymuş)</b>	<b>Bağlı Şiddetin Değişim</b> <b>miktarı</b> <b>%</b>
S3(SiC)	0,961191	0,847171	11,86
Toprak	0,851379	0,796245	6,47
Standart kum	0,819898	0,772188	5,81
Cam bilye	0,777102	0,677195	12,85

Çizelge 4.10 ve 4.11' den görüldüğü üzere, gözenekliliği toprak ve kuma göre daha büyük olmasına rağmen radyasyonu en fazla zayıflatan malzeme cam bilyelerle oluşturulan gözenekli ortamdır. Toprak ve standart kumun radyasyonu zayıflatması kuru ve suya doymuş hallerde de hemen hemen aynıdır, gözeneklilik değerleri de birbirine çok yakındır. SiC köpük, gözenekliliği en büyük olan ve radyasyonu en az zayıflatan malzemedir. Ancak, Çizelge 4.10'dan görüldüğü gibi, suya doyduğu taktirde metalik köpük malzemenin lineer zayıflatma katsayısı, kuru kum ve toprak ile çok yakın bir değere ulaşmaktadır.

Malzemelerin hepsi, suya doyuruldukları taktirde radyasyonu daha fazla zayıflatmaktadır, bu durum gözeneklerin su ile dolmasından kaynaklanmaktadır. Suyu doymuş malzemelerde bağlı şiddetin azalması yani radyasyonu zayıflatma miktarının artması, Çizelge 4.11'den görüleceği gibi, en fazla cam bilyelerle oluşturulan gözenekli ortamda olmaktadır. Yine aynı çizelgeden görüleceği gibi, toprak ve kumun suya doyması radyasyonu zayıflatma açısından %10'un altında bir iyileşme göstermektedir.



## 5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Gözenekli ortamlar, kendi boyutları ile karşılaştırıldığında çok küçük ve birbiri ile irtibatlı boşluklar içeren malzemelerdir. Günümüzde çok geniş uygulama alanı olan gözenekli malzemelerin, içlerinde boşluk içermeleri hafif olmalarını sağlamaktadır. Radyasyon zırhlama malzemelerinin genellikle ağır olması, hafiflikleri nedeni ile gözenekli ortamların zırhlama amaçlı kullanımını gündeme getirmiştir. Öte yandan, gama geçirgenlik tekniği gözenekli ortamların en temel özelliği olan gözenekliliğin yerel olarak saptanmasında kullanılan bir yöntemdir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, çeşitli gözenekli ortamların temel özellikleri gama geçirgenlik tekniği ile saptanmış ve ortamların radyasyon zayıflatma özellikleri 1.25 MeV gama ışınları için incelenmiştir. Çalışmada gözenekli ortamların radyasyon zayıflatma özellikleri, malzemelerin kuru halleri ile alınan sayım değerlerinden hareketle saptanmıştır. Gözenekli ortamların gözenek yapısı incelenirken ise, malzemenin kuru ve suya doymuş hallerinde elde edilen sayım değerleri kullanılmıştır. Sayımlar tezde kullanılan her gözenekli ortamın merkez düzleminde düşey yönde üç seviyeden alınmıştır.

Tez çalışmasında incelenen gözenekli ortamlar, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Mg metalik köpükler, toprak, standart kum ve cam bilyelerle oluşturulan gözenekli yapılardır. Metalik köpükler hafif olmaları, enerjiyi ve sesi sönmüleyebilmeleri, ısı iletkenlik özelliklerinin iyiliği gibi özelliklerinden dolayı günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır. Literatürde, hafif olmaları nedeni ile metalik köpüklerin özellikle tıbbi alanda zırhlama malzemesi olarak kullanımı da incelenmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında kullanılan metalik köpüklerin kuru haldeki sayımları sonucu lineer zayıflatma katsayıları SiC için 0,012-0,04 cm<sup>-1</sup>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için 0,014-0,074 cm<sup>-1</sup> ve iki adet Mg için 0,46 ile 0,057 cm<sup>-1</sup> şeklinde bulunmuştur. Hava boşluklarının düzgün dağılı olmaması nedeniyle, aynı malzemeler için lineer zayıflatma katsayısı aynı değerlerde olmamıştır. Metalik köpüklerden prizmatik olan SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bloklar, pleksiglas bir kap içerisine yerleştirilmiş ve suya doyurma işlemi yapılmıştır.

Metalik köpükler pleksiglas kaba sıkıca girmektedir. Doyma işleminden sonra yapılan sayımlar sonucu bulunan lineer zayıflatma katsayıları  $0,1 \text{ cm}^{-1}$  değerinde veya bu değere çok yakındır. Zayıflatma katsayısındaki artışın nedeni, malzeme suya doydugu, dolayısıyla tüm gözenekler su ile doldugu için, malzemelerin radyasyonu zayıflatma özelliğinin iyileşmesidir. Kuru ve suya doymuş malzemelerden alınan sayımlarla, metalik köpüklerin gözeneklilikleri SiC bloklar için 0,57-0,65,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bloklar için 0,36-0,55 arasındaki değerlerde bulunmuştur.

Çalışmada, aynı malzemedan yapılmış metalik köpük bloklar ardı ardına eklenerek, her bir blok eklendiğinde sayım yapılarak, bağıl sayımların değişimi incelenmiştir. Bu bağıl sayımların kalınlıkla değişim grafiği, alumina bloklarda radyasyonun silisyum karbür bloklara göre daha kısa mesafede aynı seviyeye indiğini göstermiştir. Zira alumina köpüklerin SiC köpüklere göre lineer zayıflatma katsayıları daha büyük, gözenekliliği ise daha küçüktür.

Tez çalışmasında, silisyum içeren çeşitli gözenekli malzemeler karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, SiC metalik köpüklerden prizmatik bir blok, yapısında  $\text{SiO}_2$  bulunan toprak, standart kum ve cam bilyelerle oluşturulan gözenekli ortamlar incelenmiştir. Toprak ve standart kum ile yapılan çalışmalar, malzemeler metalik köpüğün doyurma işleminin yapıldığı pleksiglas kaba konarak gerçekleştirilmiştir. Lineer zayıflatma katsayıları toprak için  $0,0804 \text{ cm}^{-1}$ , standart kum için  $0,0903 \text{ cm}^{-1}$  şeklindedir. Suya doymuş ortamlarda zayıflatma katsayısı toprak için  $0,114 \text{ cm}^{-1}$  ve standart kum için  $0,117 \text{ cm}^{-1}$  değerlerine yükselmiştir. Toprak ve standart kumun gözeneklilik değerleri de birbirine yakındır, ortalama 0,33 civarındadır. Gözenekliliğin daha küçük olması nedeni ile suya doymuş toprak ve kumda zayıflatma katsayısının artışı metalik köpükte olduğu kadar fazla değildir.

Pleksiglas deney kabına 0,5mm çaplı cam bilyeler düzgün olarak yerleştirilerek gözenekli ortam oluşturulmuş ve diğer malzemeler için yapılan deneyler tekrarlanmıştır. Kuru ortam için ortalama  $0,11 \text{ cm}^{-1}$  olan lineer zayıflatma katsayısı, malzeme suya doyunca ortalama  $0,19 \text{ cm}^{-1}$  değerine yükselmiştir. Cam bilyelerle oluşturulan gözenekli ortamın gözenekliliği ortalama 0,439 dur. Sonuçlar, radyasyonu en iyi zayıflatan ve suya doydugunda bağıl şiddeti en fazla yükselen malzemenin cam bilyelerle oluşturulan gözenekli ortam olduğunu göstermiştir.



Tez çalışmasında incelenen gözenekli ortamlar içerisinde en büyük gözeneklilik değerleri metalik köpüklere aittir, toprak ve standart kumun gözeneklilikleri birbirine yakındır. Ancak tüm gözenekli ortamlarda ortak özellik, tek bir gözeneklilik değerinden değil de ortalama gözeneklilik veya bir gözeneklilik dağılımından bahsetmenin doğru olacaktır. Ortamlar içerisinde en düzensiz gözenek dağılımı metalik köpüklerde mevcuttur.

Bu nedenle, metalik köpükler incelenen diğer gözenekli ortamlara göre radyasyonu en az zayıflatan malzemelerdir. Ancak suya doyurulmuş SiC blokların radyasyonu zayıflatma özellikleri, toprak ve standart kumun kuru halleri ile neredeyse aynı duruma gelmektedir. Sonuç olarak, metalik köpükler su ya da bir başka akışkana doymuş olarak radyasyonun zırhlanmasında toprak ve standart kum kadar etkin olabilirler. Öte yandan düzgün cam bilyelerin oluşturduğu gözenekli ortam, toprak ve standart kuma göre daha büyük gözenekliliğe sahip olmasına rağmen, radyasyonu en fazla zayıflatan malzeme olmuştur.

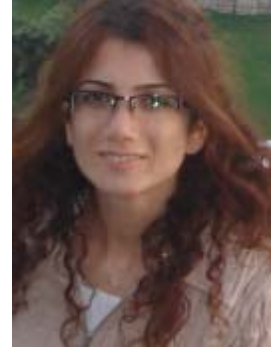


## KAYNAKLAR

- [1] Podgorsak, E.B., (2009). *Radiation Physics for Medical Physicists Book*, Second Enlarged Edition, Chapter 7, Springer.
- [2] Hubbell, J.H., (1982). Photon mass attenuation and energy-absorption coefficient from 1 keV to 20 MeV, *Applied Radiation & Isotopes* 33,1269-1290.
- [3] <http://www.nist.gov/pml/data/xcom/>
- [4] El-Kateb, A.H., Abdul-hamid, A.S., (1991). Photon attenuation coefficient study of some materials containing hydrogen, carbon and oxygen, *Applied Radiation & Isotopes* 42, 303-307.
- [5] Rabiei, A., (2012). Novel light-weight materials for shielding gamma ray, *Radiation Physics and Chemistry* 96(2014) 27-37.
- [6] Rabiei, A., (2009). A novel ultra-light structure for radiation shielding, *Materials and Design* 31(2010) 2140-2146.
- [7] Kim, S.C., Dong, K.R., Chung, W., (2012). Medical radiation shielding effect by composition of barium compounds, *Annals of Nuclear Energy* 47(2012) 1-5.
- [8] Erdem, M., Baykara, O., Doğrucu, M., Kuluozturk, F., (2010). A novel shielding material prepared from solid waste containing lead for gamma ray, *Radiation Physics and Chemistry* 79 (2010) 917-922.
- [9] İshakoğlu, A., (2002). *Gözenekli ortamda akışkan doyması ve kılcal basınç-doyma arasındaki ilişkisinin gama ışını zayıflatma tekniği ile incelenmesi*, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü.
- [10] Dullien, F.A.L., (1992). *Porous media fluid transport and pore structure*, Academic Press, San Diego.
- [11] Collins, E. , Çeviri: Saydam T., (1973). *Akışkanların gözenekli ortamlardaki akışı*, Çağlayan Basımevi.
- [12] Greenkorn, R.A., (1983). *Flow Phenomena in porous media*, Marcel Dekker Inc., New York.
- [13] Nimmo, J.R., (2004), Porosity and Pore Size Distribution, in Hillel, D., ed. *Encyclopedia of Soils in the Environment*: London, Elsevier, v. 3, p. 295-303.
- [14] Dullien, F.A.L., (1979) *Porous Media*, Pages 75-155, Academic Press, San Diego.
- [15] Kaviany, M., (1995) *Principles of heat transfer in porous media*, Springer-Verlag, New York.

- [16] **Banhart, J., Baumeister, J.,** (1998). Production Methods for Metallic Foams, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* Vol. 521, Materials Research Society.
- [17] **Sertkaya, A.A.,** (2013). Metal Köpük Isı Değişiriciler, *Mühendis ve Makina*, 54/646, sayfa 22-26.
- [18] **Banhart, J.,** (2007). *Metal Foams from Fundamental Research to Applications, Frontiers In The Design Of Materials*, Baldev Raj, S Ranganathan, K Bhanu Sankara Rao, M D Matthew, P Shankar (Eds), Universities Press (India) Limited, India.
- [19] **Nakajima, H.,**(2007).Fabrication, properties and application of porous metals with directional pores, *Progress in Materials Science* 52, 1091–1173.
- [20] **Smith, B.H., Szyniszewski, S., Hajjar, J.F., Schafer, B.W., Arwade, S.R.,**(2012). Steel foam for structures: A review of applications, manufacturing and material properties, *Journal of Constructional Steel Research* 71, 1–10.
- [21] **Knoll, G.F.,** (2002) *Radiation Detection and Measurement*, Third Edition, Wiley, Newyork.
- [22] **Moseley, W. A. and Dhir, V. K.,** 1996. Capillary pressure-saturation relations in porous media including the effect of wettability, *J. Hydrology*, **178**, 33-53.
- [23] **Kumar B., Single B.P.,** (1979) A quick and accurate calibration of the gamma ray transmission method for the study of a soil-water system, *Applied Radiation & Isotopes* 30, 493-495.
- [24] **Cebe, M. C.,** (2014). *Gözenekli ortam olarak toprağın özelliklerinin gama ışını geçirgenlik tekniği ile saptanması, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.*

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** :Sonay Gedik

**Doğum Yeri ve Tarihi** :Hekimhan/MALATYA 06.06.1989

**E-posta** :gedikso@itu.edu.tr

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik(İngilizce) Bölümü

### TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Gedik S., Baytas A.F., 2014: Shielding Of Gamma Radiation By Using Porous Materials. *International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering*, October 24-29, 2014 Antalya, Turkey.