

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKSTİL YAPILARININ VE
KOMPOZİTLERİNİN İYONLAŞTIRICI
RADYASYONA KARŞI ETKİNLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

Meltem BAŞ

Ekim, 2019
İZMİR

TEKSTİL YAPILARININ VE KOMPOZİTLERİNİN İYONLAŞTIRICI RADYASYONA KARŞI ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Meltem BAŞ

Ekim, 2019

İZMİR

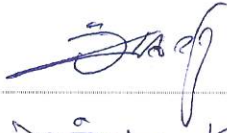
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MELTEM BAŞ, tarafından DOÇ. DR. TUBA ALPYILDIZ yönetiminde hazırlanan “TEKSTİL YAPILARININ VE KOMPOZİTLERİNİN İYONLAŞTIRICI RADYASYONA KARŞI ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Doç.Dr. Tuba ALPYILDIZ

Yönetici



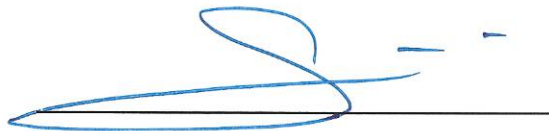
Prof.Dr. Şaban Kaderiz

Jüri Üyesi



Doç.Dr. Nurhan ÖNAR

Jüri Üyesi



Prof.Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans eğitim süresi boyunca bilgilerini benimle paylaşıp her zaman pratik çözümleri ile bana yol gösteren ve yardımcı olan değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Tuba ALPYILDIZ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Özlem KARADENİZ' e ayrıca teşekkür ederim.

Sayın Arş. Gör. Akar DOĞAN'a, Canip DURAK ve Halis KANDAŞ'a üretim süreçlerindeki tüm yardımlarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Lisans dönemi ve yüksek lisans dönemi boyunca yardımlarını hiç esirgemeyen bu zorlu süreçte yanımda olan sevgili arkadaşım Korhan ŞEN'e teşekkür ederim.

Desteği ile her zaman yanımda olan arkadaşım Müge KIRTIŞ'a yardımlarından ötürü teşekkür ederim. Bana olan inancını hiç yitirmeyen ve sevgi ile her zaman yanımda olduğunu hissettiren Erdem BAŞ, Fulya BAŞ ve Gökalp BAŞ'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmama DEÜ BAP (Bilimsel Araştırma Projeleri) kapsamında maddi destek sağlayan Dokuz Eylül Üniversitesi'ne sonsuz teşekkürlerimi sunarım. (2019.KB.FEN.007 proje numarası)

Son olarak da, hayatımın her anında maddi ve manevi olarak beni destekleyen, yanımda olan, sevgili anneme ve babama sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Meltem BAŞ

TEKSTİL YAPILARININ VE KOMPOZİTLERİNİN İYONLAŞTIRICI RADYASYONA KARŞI ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

İyonlaştırıcı radyasyonlar yüksek enerjili radyasyonlardır ve gerek doğal yollar ile gerekse yapay yollar ile bu radyasyonla karşı karşıya kalırız. Bu radyasyonların sağlık üzerine olumsuz etkileri bulunmaktadır ve insanlar bu olumsuz etkilerden korunma ihtiyacındadır. Korunma amacı ile kurşundan yapılmış olan malzemeler tercih edilmektedir. Kurşun malzemeler insan sağlığı için toksik etki göstermektedir ve çevre dostu değildir. Ayrıca malzeme ağırlıkları da oldukça yüksek olmaktadır. Dolayısıyla toksik etkisi olmayan, kurşun kadar koruma sağlayıp iyi mekanik özelliklere sahip hafif bir malzeme olarak kompozit malzemelerin geliştirildiği çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez kapsamında, iyonlaştırıcı radyasyondan koruyucu tekstil takviyeli kompozit bir malzeme geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada farklı yapılarda tasarlanarak üretilen örme kumaşların takviye malzemesi olarak kullanımıyla hem radyasyondan koruyucu hem de mekanik özellikler bakımından gelişmiş tekstil kompozitleri üretmek hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, çalışmanın ilk aşamasında, cam ve bakır lifleri kullanılarak üç farklı yapıda örme kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. İkinci adımda üretilen örme kumaşlar takviye malzemesi olarak kullanılarak üç farklı tipte kompozit malzeme üretilmiştir. Kompozit malzemenin mekanik özelliklerini değerlendirmek için, hedeflenen kullanım alanlarında karşılaşılabilecekleri eğilme ve darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Gama radyasyonu zayıflatma performanslarını değerlendirmek için kompozitler gama radyasyonuna maruz bırakılmış, sonrasında lineer ve kütle atenuasyon katsayıları ile yarı değer kalınlık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların bu alanda yapılacak ileriki araştırmalara malzeme ve yapı seçimi bakımından yol gösterici olması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: İyonlaştırıcı radyasyon, radyasyondan korunma, örme kumaş, kompozit

INVESTIGATION OF THE TEXTILE REINFORCEMENTS AND THEIR COMPOSITES FOR IONIZING RADIATION SHIELDING

ABSTRACT

Ionizing radiation is known as high energy radiation and people are exposed to this radiation through both natural and artificial ways. It is the fact that; ionizing radiation has negative effects on human health and people feel the need to be protected/shielded from ionizing radiation. With the aim of shielding against radiation, materials made of or including lead are often used. However, lead materials have toxic effect on human health, are not environmental friendly and resultant material weights are also quite high. Therefore, studies are carried out in which composite materials are developed as lightweight, non toxic materials with good mechanical properties and shielding as high as lead materials.

In this research, it is aimed to develop a textile reinforced composite material, which shields against ionizing radiation and has good mechanical properties. It is targeted to provide radiation shielding and mechanical properties by designing and manufacturing knitted fabrics with different structures. For this purpose, knitted fabrics with three different structures are manufactured by using glass and copper filaments. Three different types of composites are manufactured by using the knitted fabrics as reinforcements. In order to evaluate the mechanical properties of the composite material, bending and impact tests were performed with the approach that the composites may encounter in the intended application areas. Knitted fabric reinforced composites are exposed to gamma radiation; linear and mass attenuation coefficients and half value thickness values are determined and attenuation performances of gamma radiation are evaluated. The results obtained are expected to guide future research in this area in terms of material and structure selection.

Keywords: Ionizing radiation, radiation shielding, knitted fabric, composite

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi

BÖLÜM BİR – GİRİŞ1

1.1 Genel Bilgiler	2
1.2 İyonize Olmayan Radyasyonlar	5
1.3 İyonize Radyasyonlar	7
1.4 İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları	9
1.4.1 Doğal Kaynaklar	10
1.4.2 Yapay Kaynaklar	12
1.5 İyonlaştırıcı Radyasyon Çeşitleri	15
1.6 X ve Gama Işınlmasının Madde İle Etkileşimi	19
1.7 İyonlaştırıcı Radyasyonların Sağlık ve Biyolojik Etkileri.....	25
1.8 Radyasyondan Korunma Kavramı	27
1.9 Koruyucu Materyaller.....	29
1.10 Koruyucu Kompozit Malzemeler	31
1.10.1 Kompozit Malzeme	31
1.10.2 Örme Kumaşlar	32
1.10.3 İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Amacıyla Üretilmiş Kompozit Malzemeler İle İlgili Çalışmalar	33

BÖLÜM İKİ – MATERYAL VE METOT50

2.1 Materyal	50
--------------------	----

2.2 Metod.....	54
2.2.1 Örme Kumaşların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	54
2.2.2 Kompozit Malzeme Üretimi.....	56
2.2.3 Kompozit Malzemelerin Lif Hacim Oranlarının Belirlenmesi.....	59
2.2.4 Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	61
2.2.4.1 Eğilme Testi	61
2.2.4.2 Darbe Testi.....	62
2.2.5 Kompozit Malzemelerin Gama Radyasyon Zırhlama Performansının Belirlenmesi	63
2.2.5.1 Araştırmada Kullanılan HPGe Gama Spektrometre Sistemi	63
2.2.5.2 Araştırmada Kullanılan Sertifikalı Referans Standart Kaynak	64
2.2.5.3 Enerji Spektrum Analizi	65
2.2.5.4 Kompozit Malzemelerin Farklı Gama Işın Enerjilerine Karşılık Gelen Lineer ve Kütle Atenüasyon Katsayılarının Saptanması.....	67
BÖLÜM ÜÇ – BULGULAR VE TARTIŞMA.....	69
3.1 Kompozit Malzemelerin Lif Hacim Oranları.....	69
3.2 Eğilme Testi Verileri ve Değerlendirmeler.....	70
3.3 Darbe Testi Verileri ve Değerlendirmeler	73
3.4 Gama Radyasyon Düşürme Testi Sonuçları ve Değerlendirmeler.....	78
3.5 Gama Radyasyon Düşürme Testi Sonrası Darbe Testi Sonuçları.....	88
BÖLÜM DÖRT – SONUÇ VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	92
EKLER.....	99
EK 1: Eğilme testi sonuçları	99
EK 2: Darbe testi sonuçları.....	102

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Elektromanyetik dalganın zamana ve mesafeye göre sinüzoidal değişimi ...2	2
Şekil 1.2 Elektromanyetik spektrum.....3	3
Şekil 1.3 İyonlaştırıcı olmayan ve iyonlaştırıcı radyasyonun şematik gösterimi4	4
Şekil 1.4 Bir atomun yapısı8	8
Şekil 1.5 X ve γ ışınlarının düştüğü elektromanyetik spektrum bantları9	9
Şekil 1.6 Radonun evlerimize nasıl girdiğinin temsili gösterimi11	11
Şekil 1.7 Bilgisayarlı tomografi taraması.....13	13
Şekil 1.8 Meme kanseri teşhisinde kullanılan mamografi cihazı15	15
Şekil 1.9 X ışınları tüpünün şematik sunumu ve fotoğrafı.....16	16
Şekil 1.10 Alfa parçacığı oluşumu.....17	17
Şekil 1.11 İyonize radyasyonlar ve bu radyasyonların farklı materyaller karşısındaki davranışları.....18	18
Şekil 1.12 Gama ve ya X ışınlarının insan vücudu ve ya madde ile etkileşimi20	20
Şekil 1.13 Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi.....21	21
Şekil 1.14 Compton saçılmasının şematik gösterimi.....21	21
Şekil 1.15 Çift oluşumun şematik gösterimi22	22
Şekil 1.16 Foton-ışın iletim ölçümü23	23
Şekil 1.17 Dar ışın geometrisi ve geniş ışın geometrisi için atenuasyon katsayısı ölçümü24	24
Şekil 1.18 Hayati hücre işlemini düzenleyen hasarlı DNA molekülü26	26
Şekil 1.19 Kompozit bir malzemenin lif ve matris kullanılarak oluşumu32	32
Şekil 1.20 Atkı örme kumaş yapısı örneği33	33
Şekil 2.1 Örme yapıları52	52
Şekil 2.2 % 100 Cam içeren ribana yapıda üretilmiş kumaş.....52	52
Şekil 2.3 % 100 Bakır içeren ribana yapıda üretilmiş kumaş53	53
Şekil 2.4 Cam ve bakır iplikler birlikte tek iplik olarak beslenerek üretilmiş yatırımlı ribana yapısında kumaş53	53
Şekil 2.5 Terazî.....54	54
Şekil 2.6 Terazî ile ölçümlerin gerçekleştirilmesi55	55

Şekil 2.7 Kumaşların 0°/90°/0°/90° yerleşim yönünün şematik gösterimi.....	57
Şekil 2.8 Tabakalı takviye kumaşların vakum torbasına alınması	58
Şekil 2.9 Kompozit üretimi	58
Şekil 2.10 Eğilme testinde numunenin test cihazına yerleştirilmesi	62
Şekil 2.11 Darbe test cihazına numunelerin yerleşimi.....	63
Şekil 2.12 Gama spektrometre sistemi.....	64
Şekil 2.13 Co-60 nokta kaynağı	65
Şekil 2.14 Ölçümler için tasrlanan denysel düzenek	66
Şekil 2.15 Net pik alanı bulunması.....	67
Şekil 3.1 Sıra doğrultusu için kuvvet sehim grafiği	70
Şekil 3.2 Çubuk doğrultusu için kuvvet sehim grafiği	71
Şekil 3.3 Kompozitlerin sıra ve çubuk yönleri için eğilme rijitliği	72
Şekil 3.4 Kompozitlerin sıra ve çubuk yönleri için eğilme dayanımı değerleri.....	73
Şekil 3.5 GR kodlu örnekler için kuvvet sehim grafiği	75
Şekil 3.6 GCR kodlu örnekler için kuvvet sehim grafiği.....	75
Şekil 3.7 GCRI kodlu örnekler için kuvvet sehim grafiği	75
Şekil 3.8 Darbeye uğramış GR kodlu örnekler	76
Şekil 3.9 Darbeye uğramış GCR kodlu örnekler.....	77
Şekil 3.10 Darbeye uğramış GCRI kodlu örnekler.....	78
Şekil 3.11 GR kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği.....	79
Şekil 3.12 GR kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği.....	80
Şekil 3.13 GCR kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği.....	80
Şekil 3.14 GCR kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği.....	81
Şekil 3.15 GCRI kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği.....	81
Şekil 3.16 GCRI kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği.....	82

Şekil 3.17 GR kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu bağıl sayım grafiği.....	83
Şekil 3.18 GR kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu bağıl sayım grafiği.....	83
Şekil 3.19 GCR kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu bağıl sayım grafiği.....	84
Şekil 3.20 GCR kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu bağıl sayım grafiği.....	85
Şekil 3.21 GCRI kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu bağıl sayım grafiği.....	85
Şekil 3.22 GCRI kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu bağıl sayım grafiği.....	86
Şekil 3.23 GR kodlu örnekler için 30 J enerjide radyasyon öncesi ve sonrası kuvvet sehim grafiği.....	88
Şekil 3.24 GR kodlu örnekler için 45 J enerjide radyasyon öncesi ve sonrası kuvvet sehim grafiği.....	89

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Farklı radyasyon kaynakları ile ilgili frekanslar ve enerjiler.....	5
Tablo 1.2 Doğal kaynaklardan alınan ortalama radyasyon dozları	12
Tablo 1.3 Konvansiyonel X ışını ve CT tektiklerinde tipik hasta dozları.....	14
Tablo 1.4 İyonize radyasyonlar	15
Tablo 2.1 Cam örme kumaşların fiziksel özellikleri.....	51
Tablo 2.2 Bakır örme kumaşların fiziksel özellikleri	51
Tablo 2.3 Cam ve bakır birlikte beslenerek üretilen örme kumaşların fiziksel özellikleri	52
Tablo 2.4 Kompozitlerin özellikleri.....	57
Tablo 2.5 Kompozitlerin kalınlık ve ağırlık değerleri	61
Tablo 3.1 Kompozitlerin lif hacim oranları	69
Tablo 3.2 Yapılmış bazı çalışmalarda elde edilen atenuasyon verileri.....	87
Tablo 3.3 Farklı materyaller için YDK değerleri	87

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

İyonlaştırıcı radyasyonlar, yüksek enerjiye sahip radyasyonlardır ve bu radyasyonların her hangi bir madde ile etkileşime girmesi durumunda; elektronların atomik ve moleküler yörüngelerinden koparılması söz konusu olmaktadır. İnsanlar günlük yaşantılarında bu radyasyonlar ile sıkça karşılaşmaktadırlar. Uzaydan gelen kozmik ışınlar, yiyecekler ile alınan radyasyonlar solunan radyasyonlar doğal olarak karşılaştığımız iyonlaştırıcı radyasyonlardan bazılarıdır. Ayrıca; hastalıkların teşhis ve tedavisinde, yapay olarak üretilmiş olan radyasyonlardan da günümüzde sıklıkla yararlanılmaktadır.

İyonlaştırıcı radyasyonların, sağlık üzerine olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir ve bu yüzden insanlar bu radyasyonların olumsuz etkilerinden korunmaya ihtiyaç duymaktadırlar. Korunma kavramında ise zaman, mesafe ve zırhlanma parametreleri önem taşımaktadır.

Doğal kaynaklı radyasyonlar hayatımızın bir parçasıdır ve bu radyasyonlardan korunmak tam olarak mümkün değildir ancak yapay kaynaklı radyasyonlardan korunmak kullanılan çeşitli malzemeler ile mümkün olabilmektedir. Bu amaç ile en çok kullanılan malzemeler ise kurşundan yapılmış olan malzemelerdir. Fakat kurşunun ağır metal olması ve dolayısıyla toksik etki göstermesi, kullanım esnasında ise çok ağır olması ve dolayısıyla kullanışlı olmaması ve çatlama gibi problemler oluşturması gibi birçok dezavantajı vardır. Bu yüzden insanlar korunma amacıyla kurşun yerine kullanılabilir başka bir malzemeye ihtiyaç duymaktadırlar ve bu amaç ile kompozit malzemeler kullanılabilmektedir.

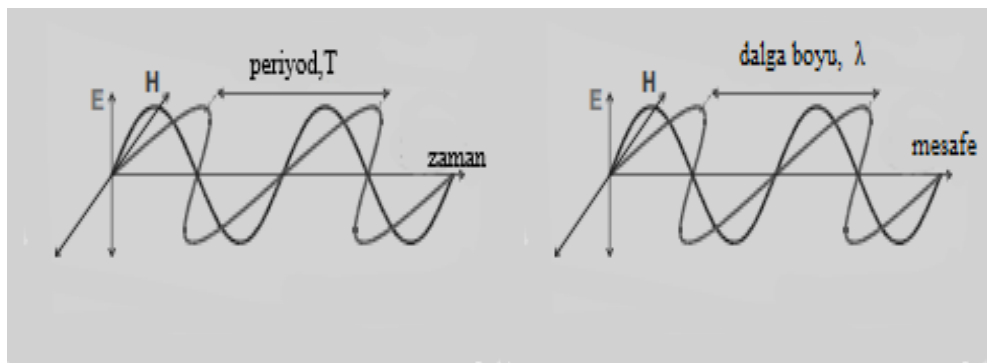
Kurşundan üretilen malzemeler ile kompozit malzemeler kıyaslandığında; yüksek atom numaralı malzemelerden üretilmiş kompozitlerin hafif, maliyeti düşük, uygun, toksik olmama ve etkin bir koruma sağlama gibi birçok avantajlara sahip olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, iyonlaştırıcı radyasyondan koruyucu tekstil esaslı kompozit bir mazleme geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada, yüksek performanslı liflerden yararlanılmıştır ve sonuçta hem radyasyondan koruyucu hem de mekanik özellikleri gelişmiş olan örme kumaş takviyeli kompozit malzeme geliştirmek hedeflenmiştir.

1.1 Genel Bilgiler

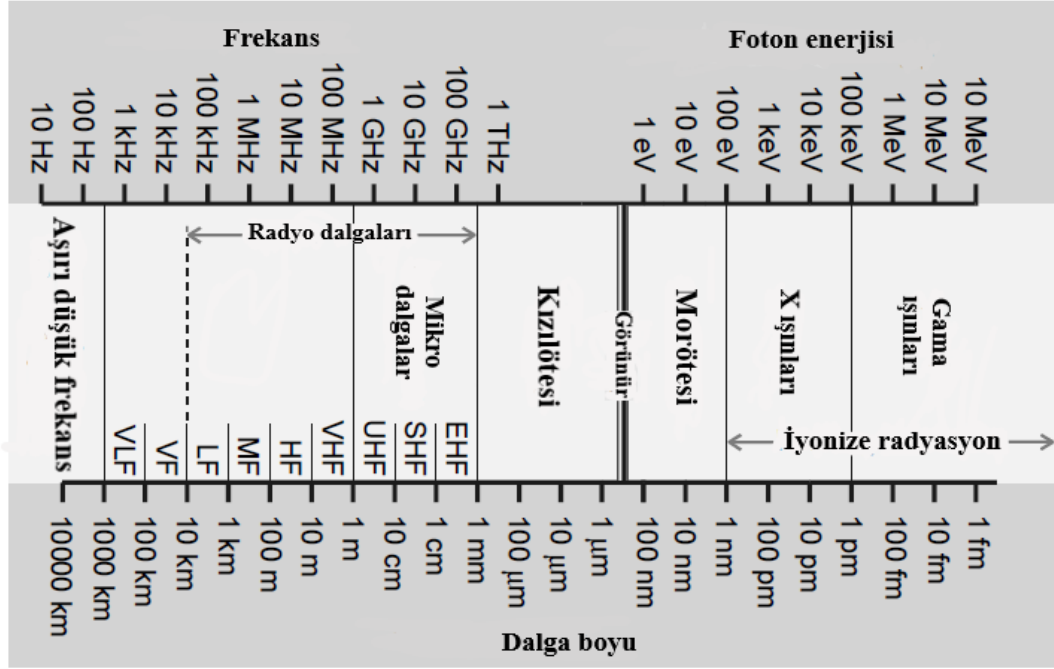
Enerjinin radyoaktif bir kaynaktan başka bir ortama yayılması radyasyon olarak adlandırılır. Bu enerji iletimi parçacık radyasyon ve ya elektromanyetik radyasyon şeklinde olabilmektedir (Beyzadeoğlu, Özyığıt ve Ebruli, 2010).

Elektromanyetik radyasyon terimi ile dalga şeklinde taşınan enerji ifade edilir ve bu enerji elektrik alan(E) ve manyetik alan(H) tarafından taşınır. Elektrik ve manyetik alandaki varyasyonlar dalgaların kaynağına bağlıdır ve insan yapımı elektromanyetik radyasyon kaynaklarının ürettiği dalgaların çoğu Şekil 1.1’ de gösterildiği gibi zaman ile sinüzoidal olarak değişir. Saniyedeki döngü sayısı frekans(f) olarak bilinir ve birimi hertz (Hz) ile ifade edilir. Dalga boyu(λ) Şekil 1. 1 de gösterildiği gibi ardışık tepeler arasındaki mesafedir (International Agency for Research on Cancer [IARC], 2013).



Şekil 1.1 Elektromanyetik dalganın zamana ve mesafeye göre sinüzoidal değişimi (IARC, 2013)

Elektromanyetik radyasyonun frekansı, bu radyasyonun madde ile etkileşim yoluna karar verir. Elektromanyetik spektrum; Şekil 1.2’de görüldüğü gibi elektromanyetik radyasyonun olası tüm frekanslarını tanımlamaktadır (IARC, 2013).

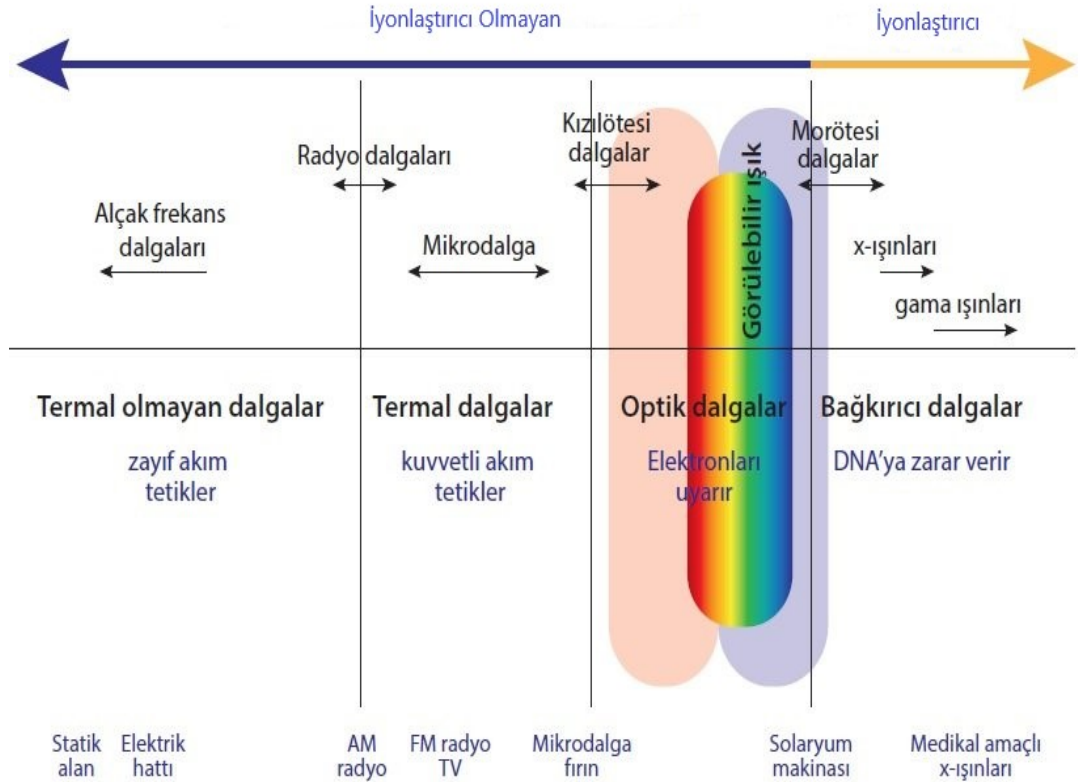


Şekil 1.2 Elektromanyetik spektrum (IARC, 2013)

Uluslararası telekomünikasyon birliği (International Telecommunications Union) radyo dalgaları için frekanslara bağlı bir kategori geliştirmiştir. Bu kategori; çok düşük frekans(VLF), ses frekansı(VF), düşük frekans(LF), orta frekans(MF), yüksek frekans(HF), çok yüksek frekans(VHF), ultra yüksek frekans(UHF), süper yüksek frekans(SHF) ve son derece yüksek frekanslardan (EHF)oluşmaktadır. Radyo dalgalarından daha yüksek frekanslara sahip olan kızılötesi, görünür, mor ötesi, X ışınları ve gama ışınları ise spektrumun diğer kısımlarını oluşturmaktadır. Radyo frekans ve mor ötesi bölgesine kadar olan bölgeler, geleneksel olarak frekanstan ziyade radyasyon dalga boyu ile ifade edilir. X ışınları, gama ışınları ve mor ötesi ışınlarından oluşan bölgeleri ifade etmek için ise genellikle foton enerjilerinden yararlanılır (IARC, 2013).

Elektromanyetik radyasyon 2 gruba ayrılır. Bunlar; iyonize radyasyon ile iyonize olmayan radyasyonlardır (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010).

İyonize ve iyonize olmayan radyasyonlar ile bu radyasyonların farklı kullanım alanları Şekil 1.3’de gösterilmiştir. Örnek olarak; X ışınları ve gama ışınlarının her ikisi de iyonize radyasyondur ve bu ışınlar hücrelerin fonksiyonlarını bozarak hücrelerde büyük hasarlara yol açabilmektedirler. Öte yandan, mikrodalgalar, iyonizasyona neden olmamaktadırlar ve bu yüzden atomların bağlarını kırabilecek bir enerjiye sahip değildirler. Radyasyon enerjisi elektron volt (eV) cinsinden ölçülür. SI birim sisteminde ise enerji J (joule) cinsinden ifade edilir. Bir J = $6,241 \times 10^{18}$ eV’ dur. Bir kJ = $6,241 \times 10^{21}$ eV’dur. Teorik hesaplamalar sonucunda, 1,5 milyon J iyonize olmayan radyasyonun bir insanı öldürmek için yeterli olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan, X ışınları ve gama ışınları gibi iyonize radyasyonlar sadece 300 J doz ile bir insanı öldürebilmektedir (Gupta, 2013).



Şekil 1.3 İyonlaştırıcı olmayan ve iyonlaştırıcı radyasyonun şematik gösterimi (Gupta, 2013)

İnsanların günlük hayatta karşılaştığı ışıklardan bazılarının frekansları ve enerji seviyeleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1 Farklı radyasyon kaynakları ile ilgili frekanslar ve enerjiler (Gupta, 2013)

Radyasyon	Tipik frekans (s^{-1})	Tipik enerji (kJ/mol)
Alfa partikülleri		$4,1 \cdot 10^8$
Elektromanyetik radyasyon		
Kozmik ışınlar	$6 \cdot 10^{21} s^{-1}$	$2,4 \cdot 10^9$ iyonize radyasyon
Gama ışınları	$3 \cdot 10^{20} s^{-1}$	$1,2 \cdot 10^8$ iyonize radyasyon
X ışınları	$3 \cdot 10^{17} s^{-1}$	$1,2 \cdot 10^5$
Mor ötesi (UV)	$3 \cdot 10^{15} s^{-1}$	1200 iyonize olmayan radyasyon
Görünür	$3 \cdot 10^{14} s^{-1}$	200 iyonize olmayan radyasyon
Kızılötesi	$3 \cdot 10^{13} s^{-1}$	12 iyonize olmayan radyasyon
Mikro dalgalar	$3 \cdot 10^9 s^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$ iyonize olmayan radyasyon
Radyo dalgalar	$3 \cdot 10^7 s^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$ iyonize olmayan radyasyon

1.2 İyonize Olmayan Radyasyonlar

Tanım olarak iyonize olmayan radyasyon atomların ve moleküllerin iyonize olmasına neden olmayan radyasyonlardır ve iyonize olmayan radyasyonların enerji

seviyesi 12 elektron volttan küçüktür (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010; Wood ve Karipidis, 2017).

İyonize olmayan radyasyonlar; alçak frekans dalgaları, radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışınlar, görünür ışınlar ve ultraviyole ışınlarıdır (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010).

Alçak frekans dalgaları; elektromanyetik spektrumda dalga boyları 10 km ile 10000 km aralığındaki değerlere sahip olan dalgalarlardır. Ses dalgaları, çok düşük frekans dalgaları ve aşırı düşük frekans dalgaları bu grup altında bulunmaktadır.

Radyo dalgaları; dalga boyları sırayla 1-10 m aralığında olan VHF (very high frequency), 10-100 m olan HF (high frequency), 100-1000 m olan MF (medium frequency), 1-10km olan LF (low frequency) dalgalarından ve mikrodalgalardan oluşmaktadır.

Elektromanyetik spektrumda 1 mm ile 1 m aralığındaki dalga boylarına sahip dalgalar mikro dalgaları oluşturmaktadır. Mikrodalgalar dalga boylarına göre 3 alt gruba ayrılır. Bunlar; 1-10 mm dalga boylarındaki EHF (extremely high frequency), 10-100mm dalga boylarındaki SHF (super high frequency) ve 0,1-1 m dalga boylarındaki UHF (ultra high frequency) dalgalarıdır.

Kızıl ötesi (IR) ışınlar görünür ışınlardan daha uzun, radyo dalgalarından ise daha kısa bir dalga boyuna sahiptirler. Kızıl ötesi ışınlar dalga boylarına göre üç kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar, 760-1400 nm dalga boyunda ki IR A grubu, 1,4-3 µm dalga boyundaki IR B grubu ve 3-1000 µm (1 mm) dalga boyundaki IR C gruplarıdır.

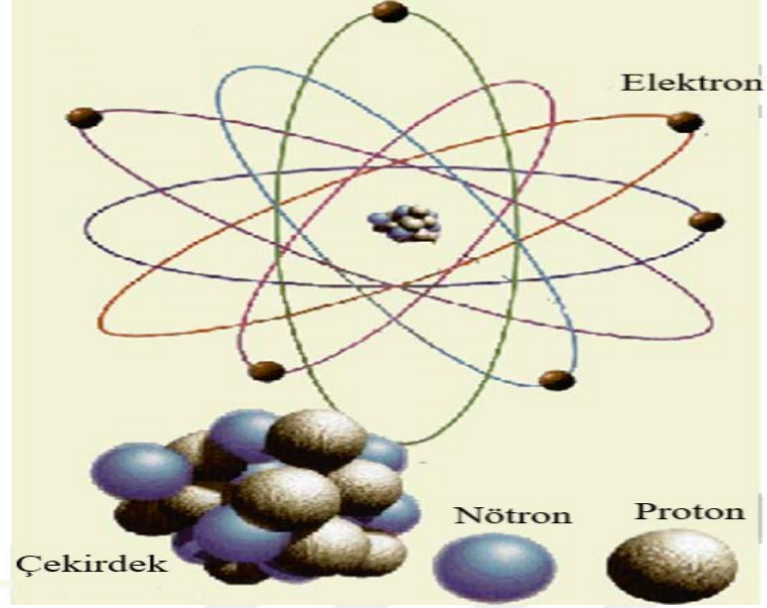
Kızıl ötesi ışınlar ile ultraviyole ışınları arasında kalan bölge görünür bölgeyi oluşturmaktadır ve bu bölgede bulunan ışınlar 400-700 nm aralığındaki dalga boylarına sahiptir. Mavi güneş ışınları, lazer ışınları ve yüksek yoğunluk LED'ler

birer görünür ışık kaynağıdır ve bu kaynakların insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir.

Dalga boyu 100 ile 400 nm aralığındaki değerlere sahip olan ışınlar ultraviyole (mor ötesi) ışınları olarak tanımlanmıştır. Ultraviyole ışınlarının; 3 alt grubu bulunmaktadır. Bunlar; UVA, UVB ve UVC'dir. Dalga boyları UVA grubu için 400-315 nm aralığında, UVB grubu için 315-280nm ve UVC grubu için 280-100 nm aralığındadır. Güneş ışınları doğal ultraviyole ışın kaynağıdır. Güneş lambaları, sterilizasyon ışıkları ve lazerler ise yapay ultraviyole ışın kaynaklarına örnektir ve bu kaynakların insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri bulunmaktadır (Wood ve Karipidis, 2017).

1.3 İyonize Radyasyonlar

Atom maddelerin temel yapı taşıdır ve bu kelime Yunanca “atomos” kelimesinden türemiştir. Atomun yapısı incelendiğinde; çekirdek yapısı ile bu çekirdeğin çevresinde ki elektronların önem taşıdığı bilinir. Atom çekirdeği Şekil 1.4'de görüldüğü gibi yüksüz nötronlar ile elektronların negatif yüküne eşit pozitif yüklü protonlardan oluşmaktadır (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010; Türkiye Atom Enerjisi Kurumu [TAEK], 2009).

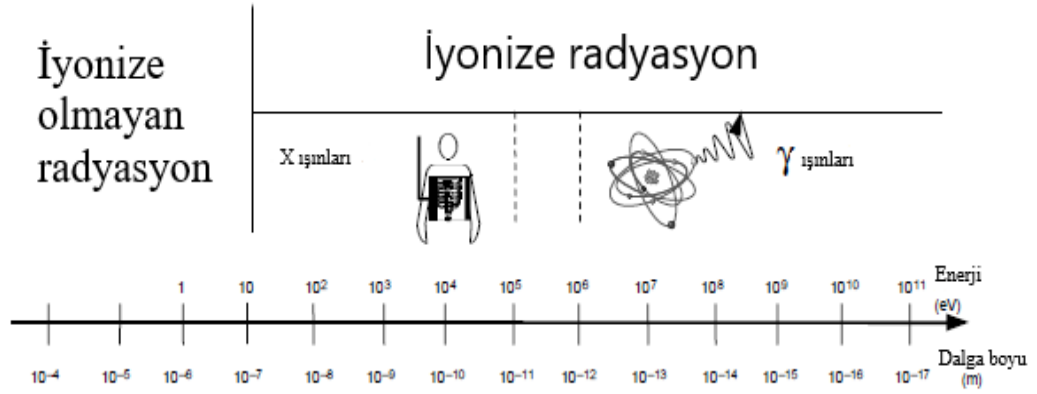


Şekil 1.4 Bir atomun yapısı (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010)

İyonlaştırıcı (yüksek enerjili) radyasyonlar, elektronları atomlardan koparma yeteneğine sahiptirler; yani atomları iyonlarına ayırıstırırlar. Yüksek enerjili radyasyon madde ile etkileşime girdiğinde elektronlar atomik ve moleküler yörüngelerinden koparılır ve bu proses iyonizasyon olarak bilinmektedir. İyonizasyon işlemi sırasında 33,85 eV' lik bir ortalama enerji aktarılır ki bu enerji atomik ve moleküler açıdan oldukça önemli miktarda enerjidir (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010)

İyonlaştırıcı radyasyon kavramı için dört nicelik önem taşımaktadır. Bunlar; enerji, maruz kalma (ekspojur), doz ve aktivitedir (International Agency for Research On Cancer[IARC], 2010).

Bir radyonüklidin nükleer transformasyonu sırasında yayılan bir parçacığın enerjisi elektron-volt (eV) ifade edilir. Bir elektron-volt, 1 volt potansiyel fark da ki bir elektronun enerjisidir. X-ışınları ve γ (gama) ışınlarının enerjileri Şekil 1.5'de görüldüğü gibi 10 ve 10^{11} eV enerji seviyeleri arasında değişir (IARC, 2010; TAEK, 2009).



Şekil 1.5 X ve γ ışınlarının düştüğü elektromanyetik spektrum bantları (IARC, 2010)

Röntgen X ve γ ışınlarına maruz kalma birimidir ve kuru havada $2,58 \times 10^{-4}$ C (coulomb) kg^{-1} yük üretebilecek X ve γ ışın miktarı olarak tanımlanır. 1 röntgene maruz kalma, yumuşak dokudaki X ve γ ışınları için yaklaşık 10 miligray (mGy) absorbe doza eşdeğerdir. Röntgen sadece 10 keV ile 3 MeV enerjili X ve γ radyasyonları için tanımlanmıştır (IARC, 2010).

Bir radyonüklid aktivitesi birim zamanda meydana gelen nükleer dönüşümlerin sayısı olarak tanımlanır. Aktivitenin birimi becquerel'dir (Bq). Her hangi bir radyonüklitin aktivitesinin yarıya düşmesi için geçen zaman ise yarılanma süresi olarak adlandırılmaktadır (IARC, 2010; TAEK, 2009).

1.4 İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları

İyonlaştırıcı radyasyona insanlar günlük yaşamlarında, işlerinde ve çevrede maruz kalmaktadırlar. İyonize radyasyonlar; yeryüzünde olan doğal yollar ile ya da yapay yollar ile üretilerek oluşabilmektedir. İyonlaştırıcı radyasyon kaynakları 2 gruba ayrılır. Bunlar; doğal ve yapay kaynaklardır (TAEK, 2009).

1.4.1 Doğal Kaynaklar

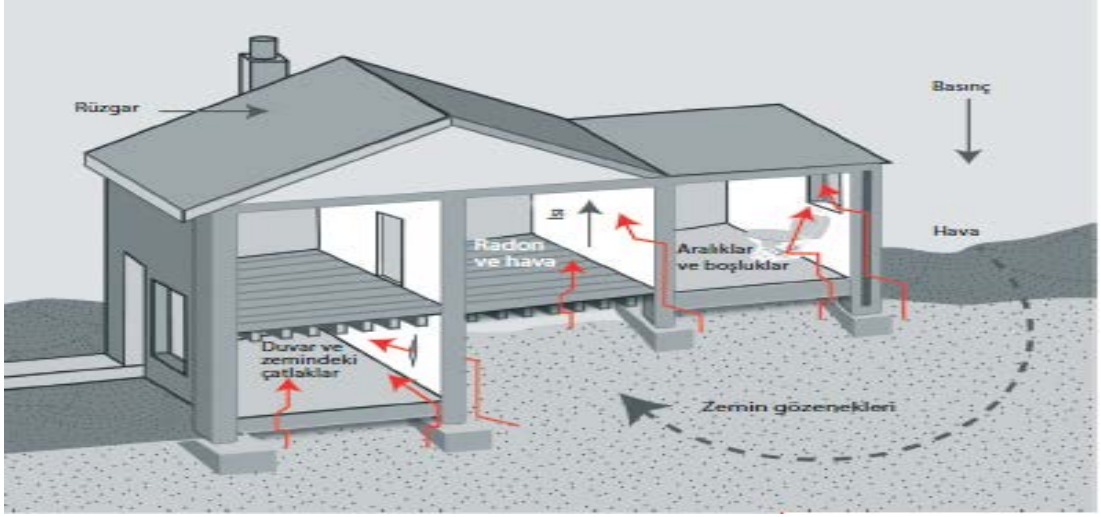
Dünya radyoaktiftir ayrıca havada, gıda ve yiyeceklerde doğal radyoaktivite bulunur. Doğal iyonlaştırıcı radyasyon etrafımızı sarar ve hepimiz doğal radyasyona maruz kalırız (TAEK, 2009).

Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyon Etkileri Bilimsel Komitesi'ne (UNSCEAR) göre doğal radyasyon dört temel grup altında incelenmiştir. Bunlar; Kozmik radyasyon, karasal gama radyasyonu (terrestrial), solunan radyasyon (ağırlıklı radon) ve yiyecekler ile alınan radyasyondur (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation[UNSCEAR], 2000).

Kozmik radyasyon; birçok radyasyon tipinin karışımından oluşur ve bu radyasyonlar kökenine, enerjisine, türüne ve parçacıkların akı yoğunluğuna göre farklı kategorilere ayrılabilir. Kozmik ışınlar; dünyamızın dış atmosferine belli miktarda ulaşırlar ve yüksek enerjiye sahiptirler. Dünyamız ve tüm canlılar bu enerji ile sürekli karşı karşıya kalmaktadır. İnsanların maruz kaldıkları kozmik radyasyon türleri dikkate alındığında; üç ana radyasyon kaynağı önem taşır. Bunlar; galaktik kozmik radyasyon, solar kozmik radyasyon ve Van Allen radyasyon Kuşaklarıdır.

Karasal gama radyasyonu (terrestrial); toprakta eser miktarda bulunan ^{40}K (Potasyum), ^{238}U (Uranyum) ve ^{232}Th (Toryum) gibi gama yayan radyo nüklitlerden kaynaklanmaktadır.

Solunan radyasyonda; Radon gazı ve bu gazın atmosferdeki kısa ömürlü bozunma ürünleri önem taşır. Bu gazın bozunum ürünleri olan radyo nüklitlerin akciğer dokularına zarar verdiği bilinmektedir. Radon gazının atmosfere girdiğinde havada dağılıma durumu söz konusu olur ve bu şekilde derişimi azalır. Bu gaz, zemin gözeneklerinden geçerek Şekil 1.6'da görüldüğü gibi evlerin içine girmektedir. Bu durumda kapalı bir hacim söz konusu olduğu için gazın aktivite derişimi artar.



Şekil 1.6 Radonun evlerimize nasıl girdiğinin temsili gösterimi (TAEK, 2009)

Yiyecekler ile alınan radyasyonda; besinler önem taşımaktadır. Gıdalarda ve içme sularında eser miktarda radyoaktif mineral bulunduğu ve bu maddelerin de beslenme yoluyla vücudumuza girdiği bilinmektedir (TAEK, 2009; UNSCEAR, 2000).

Tablo 1. 2’de, çeşitli bileşenleri ekleyerek hazırlanmış olan dünya çapında alınan yıllık etkin dozlar özetlenmiştir.

Tablo 1.2 Doğal kaynaklardan alınan ortalama radyasyon dozları (UNSCEAR, 2000)

Kaynak	Dünya çapında yıllık ortalama etkin doz (mSv)	Tipik aralık (mSv)
Dıştan maruz kalma		
Kozmik radyasyon	0,4	0,3-1,0
Karasal gama radyasyonu	0,5	0,3-0,6
İçten maruz kalma		
Solunan radyasyon	1,2	0,2-10
Yiyecekler ile alınan radyasyon	0,3	0,2-0,8
Total	2,4	1-10

*Sievert (Sv) eşdeğer ve etkin doz ifadesi için kullanılır; Sv=J/kg.

1.4.2 Yapay Kaynaklar

İyonize radyasyonlar, çeşitli kullanımlar için insanlar tarafından üretilebilirler ve bu üretilen radyasyonları yapay radyasyon olarak adlandırmak mümkündür. Yapay radyasyon kaynakları için; radyoaktif madde içeren tüketici ürünleri, (örneğin; havaalanı gözetim sistemleri, elektron mikroskopları), hava yolculuğu, nükleer güç üretimi, nükleer silah testleri sonucu meydana gelen atmosferik serpintiler, nükleer santral kazaları, doğal afetler sonucu nükleer santral kazaları, medikal radyasyon olarak bir sınıflandırma yapılabilir. Tıpta tanı ve tedavi amacı ile kullanılan medikal radyasyonlar; yapay radyasyon kaynakları arasında en önemli paya sahiptir. Örneğin, bir hastalık veya yaralanma meydana geldiğinde ya da sağlık taraması için belirli bir görüntüleme prosedürüne ihtiyaç duyulduğunda, X ışınlarından yararlanılır. Çünkü bu ışınların dokulara ve kemiklere nüfuz etme gibi özellikleri vardır ve bu özellikler vücudun iç yapılarının görüntülerini almaya olanak sağlamaktadır.

Bilgisayarlı tomografi (CT) cihazı da yine tıpta tanısal amaçlı olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.7’de bilgisayarlı tomografi taraması gösterilmektedir. Bu cihazda, koni biçimindeki X ışını demetinden ve dedektörlerden yararlanılarak tanısal veriler elde edilmektedir.



Şekil 1.7 Bilgisayarlı tomografi taraması (TAEK, 2009)

Hastalar tarafından alınandozlar incelendiğinde, Tablo 1.3’deki veriler yardımı ile CT dozları ile X ışını tetkiklerinden alınan dozlar arasında bir kıyaslama yapılabilmektedir. CT cihazlarından alınan dozlar daha fazla olduğu için; herhangi bir tanı için X ışını tetkiklerinin yeterli olduğu durumlarda CT taramalarının tercih edilmemesi gerekmektedir.

Tablo 1. 3 Konvansiyonel X ışını ve CT tetkiklerinde tipik hasta dozları (TAEK, 2009)

Tektik	Geleneksel X-ışını dozu (mSv)	Bilgisayarlı tomografi dozu (mSv)
Baş	0,07	2
Göğüs	0,1	10
Abdomen	0,5	10
Pelvis	0,8	10
Alt omur	2	5
Bağırsağın alt kısmı	6	-
Kol, bacak ve eklemler	0,06	-

Tıpta tanı amacı ile sıklıkla kullanılan bir diğer cihaz ise mamografi cihazlarıdır. Şekil 1.8’de verildiği gibi kadınlar erken dönemde meme kanserini tespit etmek amacı ile tarama mamografisine girebilirler. Bu durumda hastalar her ne kadar belirli bir dozda radyasyona maruz kalsalar da, mamografi cihazı meme kanserinin erken teşhis edilmesinde en etkili araç olmaya devam ettiği için, bu cihazın kullanımı risk altındaki kadınlarda yaşam beklentisinin artmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Sherer, 2017; TAEK, 2009).

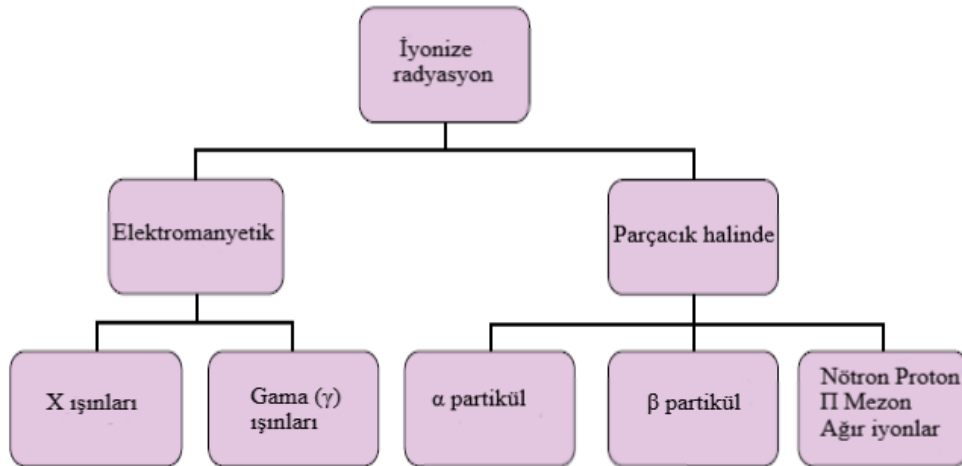


Şekil 1.8 Meme kanseri teşhisinde kullanılan mamografi cihazı (Sherer, 2017)

1.5 İyonlaştırıcı Radyasyon Çeşitleri

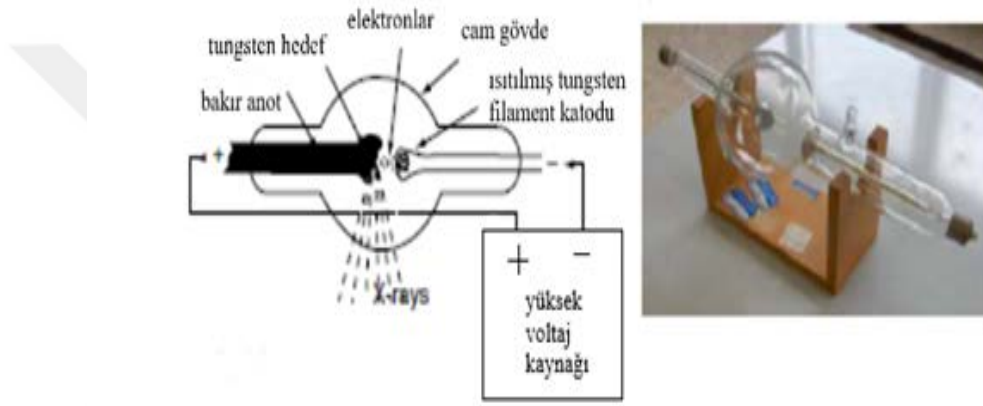
Atomları iyonlaştırabilecek enerjiye sahip olan iyonize radyasyonlar Tablo 1.4’ de görüldüğü gibi elektromanyetik ve parçacık olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Tablo 1.4 İyonize radyasyonlar (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010)



X-ışınları, 1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Conrad Roentgen tarafından keşfedilmiştir.

1913 yılında William David Coolidge tarafından geliştirilen sıcak katot Roentgen tüpünde (10–3 mm Hg basınçta) anot ve katot tabakaları arasına yüksek enerjili (10^6 - 10^8 V) bir voltaj uygulanmıştır. Şekil 1.9’ da X ışını tüpünün şematik gösterimi ve fotoğrafı verilmiştir. Katod ta termiyonik emisyon ile üretilen elektronlar, potansiyel tarafından anot 'a doğru hızlandırılmış ve X ışınları Coulomb etkileşimi sayesinde elektronların ani yavaşlaması ile üretilmiştir.



Şekil 1.9 X ışınları tüpünün şematik sunumu ve fotoğrafı (Beyzadeoğlu ve diğer.,2010)

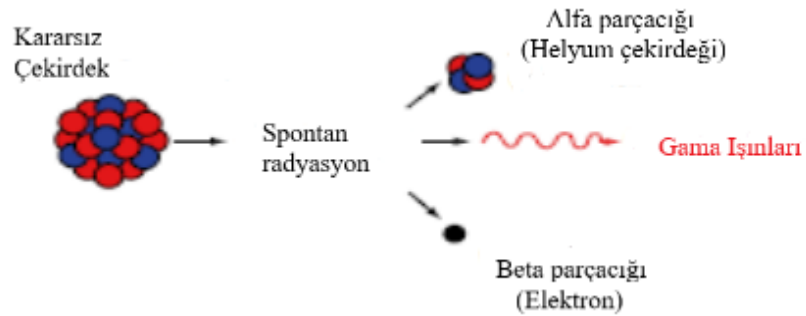
X ışınlarının enerjisi ve dalga boyu; hedef metalin (anot) atom numarasına ayrıca elektronların hızına ve kinetik enerjisine bağlıdır (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010).

X ışınlarının kullanıldığı özel alanlar için ortalama foton enerjileri ve hızlanma voltaj değerleri önem taşır. Örneğin X ışınlarının tıpta tanı ve radyoterapi amaçlı kullanımı incelendiğinde, mamografi ünitesi için hızlanma voltaj değerinin 26-30 kV, ortalama foton enerjisinin de 20 keV olması beklenir. Dental uygulamalar için hızlanma potansiyel değerinin 60 kV, ortalama foton enerjisinin 30 keV olması, genel uygulamalar için hızlanma potansiyeli 50-140 kV, ortalama foton enerjisinin 40 keV olması, bilgisayarlı tomografi uygulaması için hızlanma potansiyeli 80-140 kV, ortalama foton enerjisinin 60 keV olması beklenmektedir. Terapi uygulamaları incelendiğinde ise; hızlanma potansiyeli 10-25 MeV, ortalama foton enerjisinin de 3-10 MeV arasında bir değerde olması gerekmektedir. Diğer uygulama alanlarına

örnek olarak bagaj/çanta taramalarında kullanılan ışınlar verilebilir. Bu uygulamalarda, hızlanma potansiyeli 80-160 kV, ortalama foton enerjisinin 80 keV olması beklenmektedir (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency [ARPANSA], bt).

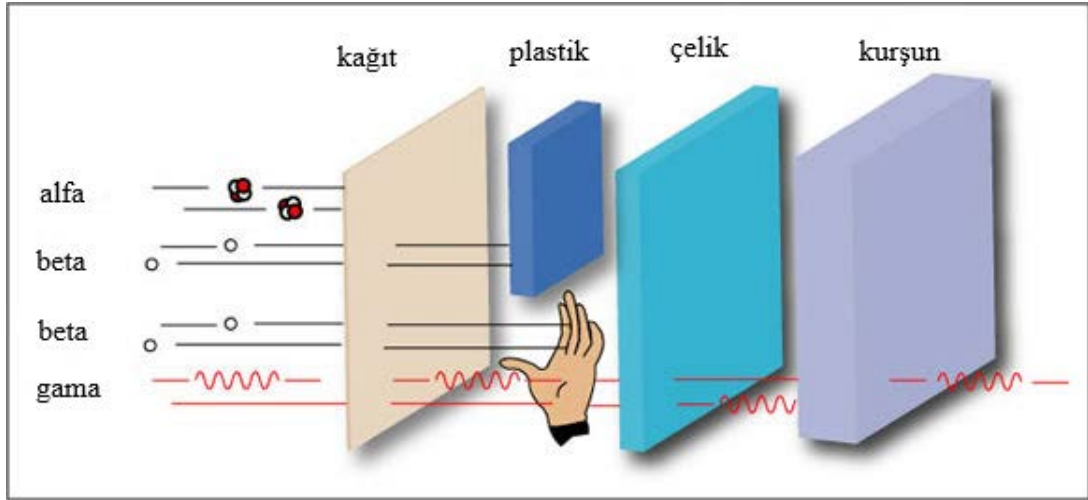
Ernest Rutherford, 1899 yılında radyoaktif kaynaklardan gelen, farklı bileşenden oluşan radyasyonu buldu ve radyasyonları α , β ve γ ışınları diye isimlendi. 1914’de yaptığı deneyler ile γ ışınlarının elektromanyetik dalgalar olduğunu kanıtlamıştır (IARC, 2010).

Gama (γ) ışınları fiziksel olarak X-ışınları ile aynıdır, ancak atom çekirdeğinden yayılırlar. Kararsız bir atom çekirdeği aşırı enerjisini Şekil 1.10’da görüldüğü gibi ya bir Helyum çekirdeği (alfa parçacığı) ya da bir intranükleer elektron (beta parçacığı) biçiminde yaymaktadır.



Şekil 1.10 Alfa parçacığı oluşumu (Beyzadeoğlu ve diğer., 2010)

Gama radyasyonu (γ) kararsız atom çekirdeğinden çıkan çok yüksek enerjili foton dur ve bu yüksek enerji madde içinden geçerken atomlarda iyonlaşmaya sebep olur. Bu ışınlar genel olarak 100 keV' den daha büyük enerjilere sahip olan ışınlar olarak tanımlanabilirler. Ayrıca bu yüksek enerjili radyasyonlar çok girici olduğundan dolayı, Şekil 1.11’de görüldüğü gibi insan dokusu dahil birçok malzemeden geçerler. Kurşun ya da çelik gibi, yoğunluğu oldukça yüksek ve kalın malzemeler gamma fotonlarını yavaşlatmak veya durdurmak için koruyucu malzeme olarak yaygın şekilde kullanılır (ARPANSA, bt).



Şekil 1.11 İyonize radyasyonlar ve bu radyasyonların farklı materyaller karşısındaki davranışları (ARPANSA,bt)

Gama radyasyonu tıpta teşhis ve tedavi amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun dışında, örneğin Sezyum-137, endüstriyel proseslerde sıvı akışını ölçüp kontrol etmek gibi amaçlarla, gıda, ilaç ve diğer ürünlerin ambalajları için, petrol kuyularındaki yeraltı tabakalarını araştırmak veya toprak yoğunluğunu değerlendirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Kobalt-60 metal, gıda (bazı gıda ve baharatları pastörize etmek için) ve tıbbi (hastanelerde tıbbi ekipmanı sterilize amaçlı) endüstrisinde kullanılır. Teknesyum-99 tanısız çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Americium-241, uçak yakıt göstergesi gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılır (ARPANSA,bt ; Beyzadeoğlu ve diğer., 2010).

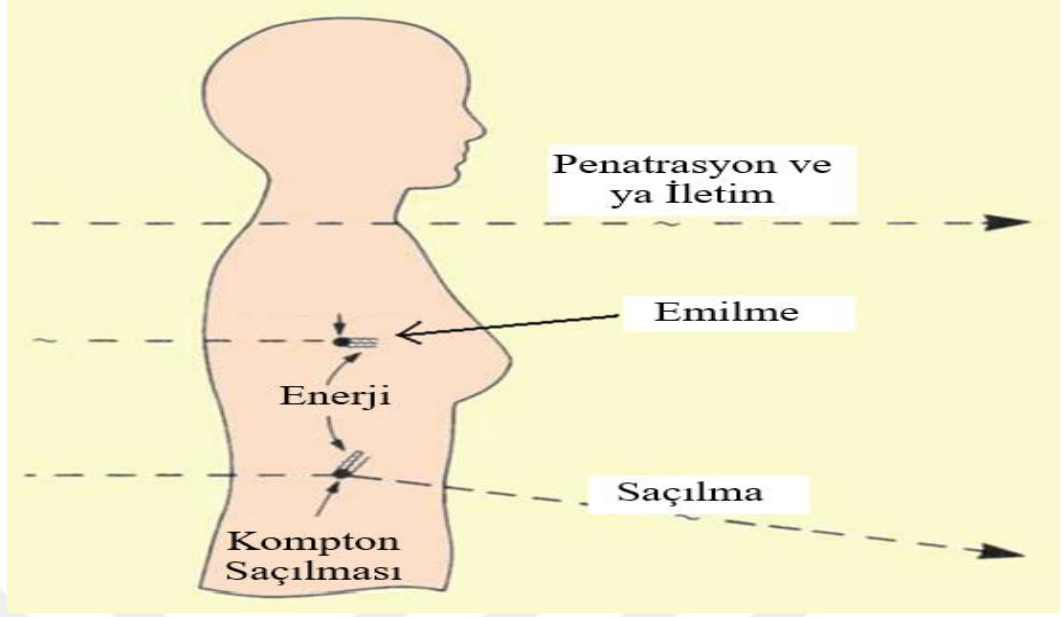
Alfa radyasyonu (α) pozitif yüklü helyum çekirdeğidir. Şekil 1.11’de gösterildiği gibi kağıt ve cilt tarafından tamamen soğurulabilir ve deriye geçemezler.

Beta partikülleri; atom çekirdeğinden yayılan yüksek enerjili elektronlardır. Beta parçacıkları alfa parçacıklarından daha yüksek enerjiye sahip olduklarından dolayı nüfuz etme yetenekleri alfa radyasyonuna kıyasla daha fazladır.

Nötron partikülleri; çekirdek reaksiyonları ve bölünmeleri sonucu ortaya çıkabilir ya da, yapay olarak da üretilirler. Nötr parçacıklardır ve kararsız atom çekirdeğinden yayılırlar bu yüzden de giricilikleri oldukça yüksektir ve bu radyasyondan korunmak için ciddi bir zırhlanma gerekmektedir (Gupta, 2013; TAEK, 2009).

1.6 X ve Gama Işınlarnının Madde İle Etkileşimi

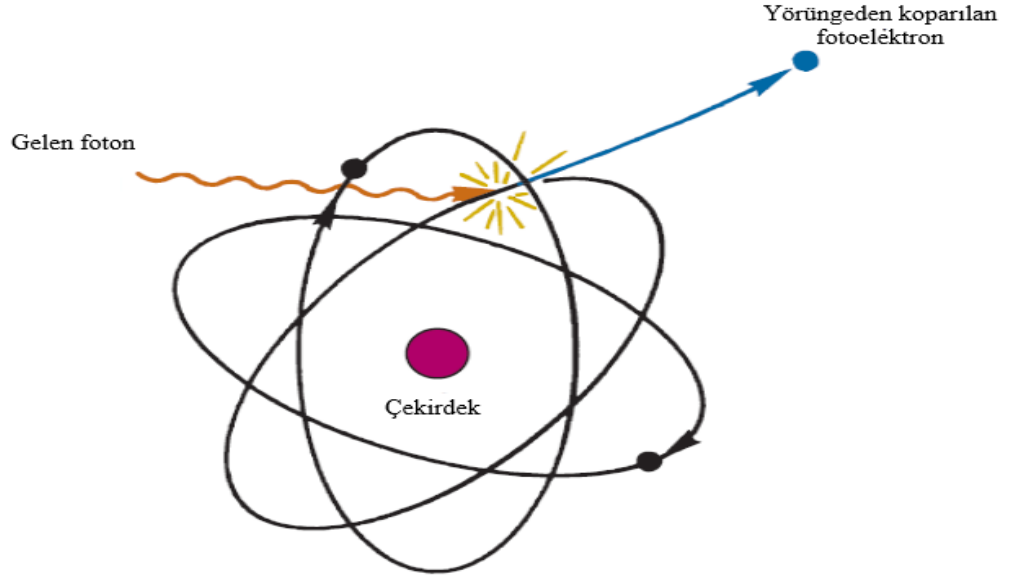
X ve gama ışınlarının madde ile etkileşimini anlamak oldukça önemli bir konudur. Çünkü bu radyasyonların madde ile etkileşim mekanizmaları radyasyondan korunma ile yakından ilgilir. Ayrıca bu ışınların tıpta tanı amacı ile yaygın bir şekilde kullanılması göz önüne alındığında, bu radyasyonların insanların vücut ve dokuları ile etkileşime girdiği görülmektedir. Bir γ -ışını veya X-ışını her hangi bir ortamın içinden geçtiğinde, fotonlar ve madde arasında bir etkileşim oluşmaktadır. Bu etkileşimler büyük enerji transferi ile ya da fotonların tamamen absorbe edilmesi ile sonuçlanabilir. Bununla birlikte, fotonlar yönlerini değiştirerek saçılmaya uğrayabilmektedirler. Genel olarak, bir X-ışını veya gama radyasyonu bir nesneden geçtiğinde, Şekil 1.12'de gösterildiği gibi üç olası durum söz konusudur. Bunlardan ilki, ışınların madde ile etkileşime girmeden nüfuz etmesi ve iletilmesi, ikincisi ışınların tamamen emilmesi yani absorbe olması ve son olarak ışınların saçılması şeklindedir (Maqbool, 2018).



Şekil 1.12 Gama ve ya X ışınlarının insan vücudu ve ya madde ile etkileşimi (Maqbool, 2018)

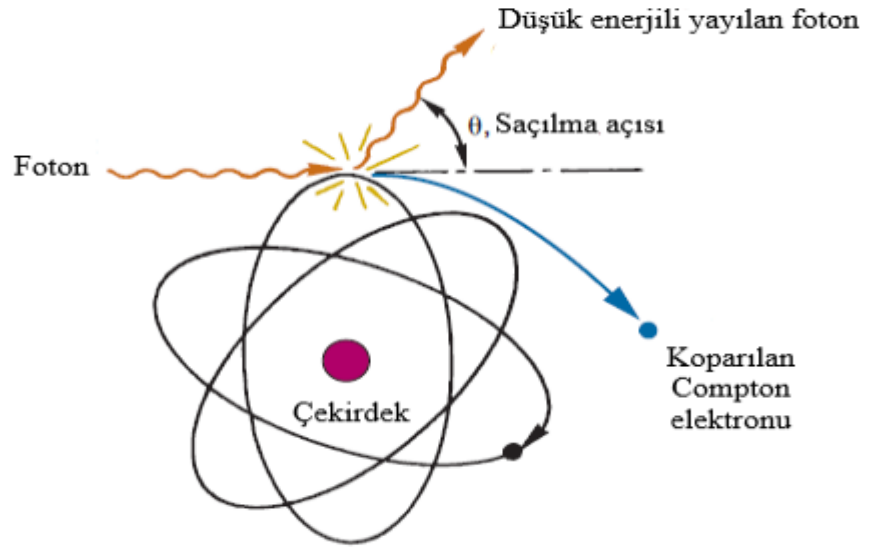
Fotonlar ile madde arasında ki etkileşimlerin mekanizmaları genel olarak üç şekilde incelenir. Bunlar; fotoelektrik etkileşim, Compton saçılması ve çift oluşumdur (Cherry, Sorenson ve Phelps, 2012).

Fotoelektrik etki; X veya gama fotonlarından gelen enerjinin tamamen emildiği atomik bir absorpsiyon sürecidir. Gelen foton tüm enerjisini yörünge etrafındaki bir elektrona aktarır. Enerji yüklenen elektron yörüngeden ayrılır. Yörüngeden ayrılan elektron fotoelektron olarak adlandırılır. Şekil 1.13’de fotoelektrik etkinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.13 Fotoelektrik etkinin şematik gösterimi (Cherry ve diğer., 2012)

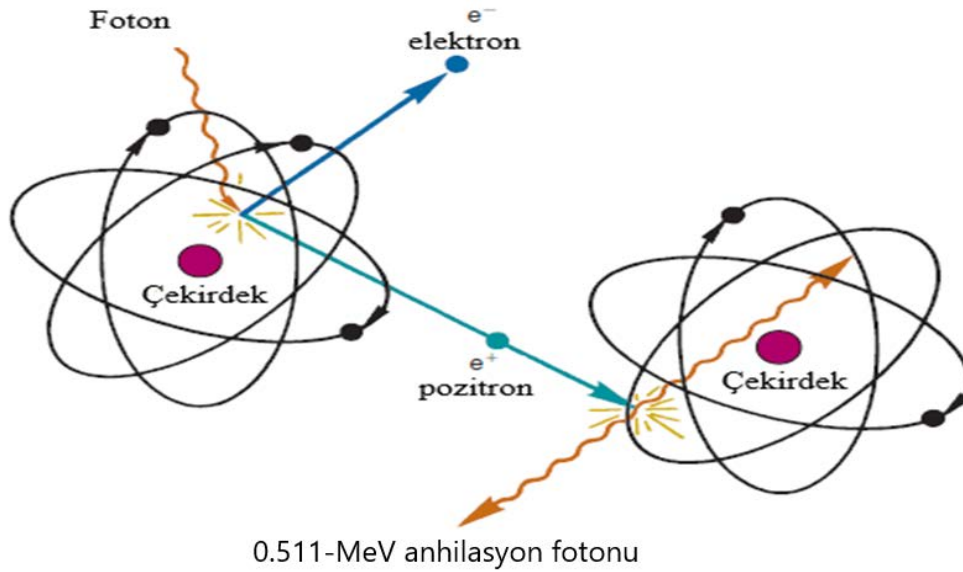
Compton saçılması, foton ile bir atomun dış kabuk yörüngesinde zayıf bağlı olan elektron arasındaki çarpışma olarak tanımlanabilir. Şekil 1.14’de görüldüğü gibi gelen foton enerjisinin bir kısmını Compton elektronuna transfer eder ve geliş açısından saparak başka bir yöne saçılır.



Şekil 1.14 Compton saçılmasının şematik gösterimi (Cherry ve diğer., 2012)

X ışını veya gama radyasyonunun bir nesneden geçişi esnasında üç olası durumdan hangilerinin etken olacağı yani, transfer edilen enerji; yoğunluk, atom numarası ya da herhangi bir emici malzemenin özelliklerine bağlı olmayıp, öncelikle tamamen foton ve elektronun etkileşimi ile ilgilidir.

Çift oluşumu; fotonun, yüklü bir parçacığın elektrik alanı ile etkileşime girmesi sonucu gerçekleşmektedir. Genellikle bu etkileşim, atomik çekirdek ile olur, ancak bazen bir elektron ile gerçekleşir. Çift oluşumunda, fotonun kendisi yok olur ve fotonun enerjisi Şekil 1.15’de görüldüğü gibi pozitif ve negatif yüklere sahip pozitron-elektron çifti oluşturmak için kullanılır. Pozitron ve elektron eşit kütlelere sahiptirler ve pozitron elektron çiftinin oluşumu için gerekli olan enerji seviyesi 1.022 MeV ‘dir.



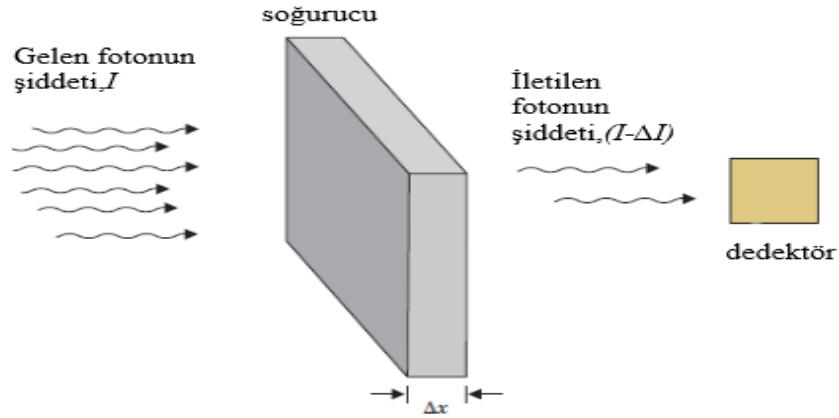
Şekil 1.15 Çift oluşumunun şematik gösterimi (Cherry ve diğer., 2012)

Elektron ve pozitron sahip oldukları kinetik enerjilerini öncelikle iyonlaşma ve uyarma etkileşimlerinde yaymaktadırlar. Pozitron kinetik enerjisini kaybettiği zaman farklı bir elektron ile birleşerek yok olur ve bu esnada Şekil 1.15’de görülen 0.511-MeV enerjili iki tane yok olma(anhilasyon) fotonu açığa çıkar (Cherry ve diğer., 2012).

Bir foton belirli bir kalınlıktaki absorbe edici bir malzemeden geçtiğinde, etkileşimin olasılığı, fotonun enerjisine, absorbe edici (soğurucu) malzemenin kompozisyonuna ve kalınlığına bağlıdır. Şekil 1.16’da gösterilen foton-ışın iletim ölçüm diyagramı göz önüne alındığında, I şiddetindeki bir foton ışıını Δx kalınlığında bir soğurucuya yönlendirilmiş ve bir foton detektörü ile iletilen fotonun şiddeti kaydedilmiştir. Sonuçta, fotonların şiddetindeki oransal azalma($\Delta I/I$) ile soğurucu malzemenin kalınlığı arasında bir ilişki olduğu aşağıda gösterilen denklem ile verilmiştir.

$$\Delta I/I = -\mu_l \times \Delta x \quad (1.1)$$

Denklemde ki eksi işareti, foton şiddetinin soğurucu malzemenin kalınlığının artması ile azaldığını ifade etmektedir. Denklemde ki μ_l terimi ise, soğurucunun lineer atenüasyon katsayısı olarak adlandırılır. Lineer atenüasyon katsayısı genellikle cm^{-1} cinsinden ifade edilir.



Şekil 1.16 Foton-ışın iletim ölçümü (Cherry ve diğer., 2012)

Lineer atenüasyon katsayısının miktarı ile soğurucunun yoğunluğu ρ arasında doğrusal ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

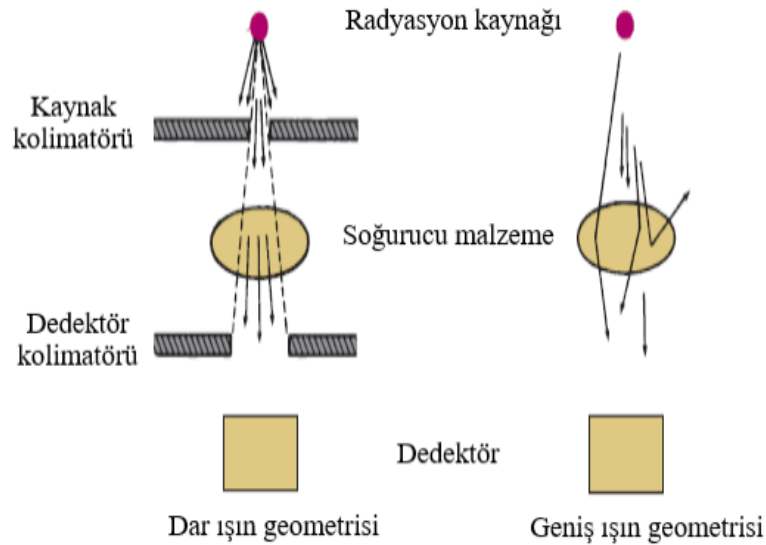
$$\mu_m = \mu_l / \rho \quad (1.2)$$

Denklemdaki, μ_m terimi soğurucunun kütle atenüasyon katsayısı olarak adlandırılır ve bu katsayı cm^2 / g cinsinden ifade edilmektedir. Kütle atenüasyon katsayısını, Denklem 1.3’de gösterildiği gibi bileşenlere ayrılabilmek mümkündür.

$$\mu_m = \tau + \sigma + \kappa \quad (1.3)$$

Denklemden, τ fotoelektrik olay ile etkileşim olasılığı, σ Compton saçılması ile etkileşim olasılığı, κ ise çift oluşumu olayı ile etkileşim olasılığını temsil etmektedir.

Dar ışın geometrisinde kaynak ve dedektör için genellikle kolimatörlerden yararlanılmaktadır. Çünkü kolimatörler; ışınların düzgün bir şekilde yönlendirilmesini sağlarlar ve bu sayede etrafa saçılan radyasyon miktarı minimize edilirken aynı zamanda saçılmış olan radyasyonların dedektöre ulaşması da engellenmiş olur. Şekil 1.17’de kolimatör içeren dar ışın geometrisi ve kolimatör içermeyen geniş ışın geometrisinde atenüasyon katsayısı ölçümlerinin gerçekleştirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 1.17 Dar ışın geometrisi ve geniş ışın geometrisi için atenüasyon katsayısı ölçümü (Cherry ve diğer., 2012)

Dar ışın geometrisi koşulları altında, soğurucu bir malzemedan geçen foton demetinin şiddeti üstsel bir denklem ile ifade edilir.

$$I(x) = I(0)e^{-\mu x} \quad (1.4)$$

Burada,

$I(x)$: soğurucu malzeme kalınlığı boyunca iletilen ışın yoğunluğu

$I(0)$: Soğurucu malzeme yokken kaydedilen ışın yoğunluğu

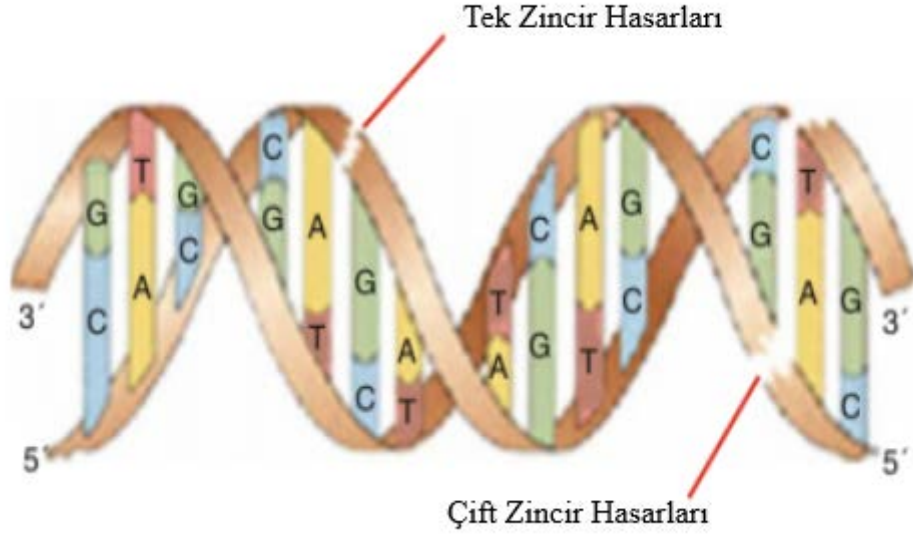
X : Soğurucu malzemenin kalınlığı

μ : İgili foton enerjisi için soğurucunun lineer atenüasyon katsayısı'dır.

1.7 İyonlaştırıcı Radyasyonların Sağlık ve Biyolojik Etkileri

Canlılar gereksiz radyasyon maruziyetine karşı korunma ihtiyacı hissederler ve hayvanların ve insanların canlı dokusunun iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığında zarar görebileceğine dair güçlü kanıtlar vardır. Bu tür zararlar olumsuz biyolojik etkiler olarak adlandırılır (Sherer, 2017).

İyonlaştırıcı radyasyonlar, madde ile etkileşime girmek için yeterli enerjiye sahiptirler ayrıca insan vücudunda iyon üretebilirler yani bir elektronu bir DNA atomundan (deoksiribonükleik asit) kopartabilirler. Sonuç olarak, DNA atomunun bağlanma özelliklerini değiştirerek DNA'nın fiziksel yapısını bozarak hasar görmesine neden olurlar. Şekil 1.18'de hayati hücre işlemini düzenleyen DNA molekülünün hasarlı yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.18 Hayati hücre işlemini düzenleyen hasarlı DNA molekülü (Gupta, 2013)

Radyasyona maruz kalan doku ve organlarda emilen enerji iki farklı tipte etki yaratabilir. Tipik tanısal görüntüleme muayenelerinden çok daha yüksek dozlarda radyasyon alımı hücrelerin ölmesine neden olabilmektedir. Hasar, doku fonksiyonlarını etkileyecek ve klinik olarak gözlenebilir hale gelebilecek kadar geniş olabilir. Bu hasarlara deride kızarıklık, saç dökülmesi, katarakt örnek olarak verilebilir. Bu türdeki etkilere “doku reaksiyonları veya deterministik etkiler” adı verilir ve yalnızca radyasyon dozu belirli bir eşiği aştığında gerçekleşir.

Radyasyona maruz kalındığında hücrelerde ölümcül olmayan dönüşümler ya da değişiklikler meydana gelebilir. Vücuttaki sağlam DNA onarım mekanizmaları olmasına rağmen, radyasyon ile meydana gelen değişiklikler onarılmaz ise uzun vadede, kişilerin organ veya dokularında kanser gibi problemler ya da genetik ile ilgili sorunlar oluşabilir. Bu tür etkiler Stokastik etkiler olarak adlandırılır.

Bazı epidemiyolojik çalışmalar, yaklaşık 50–100 mSv organ dozu aralığında iyonize edici radyasyona maruz kalmanın kanser riskini artırdığını göstermektedir. Bu nedenle iyonlaştırıcı radyasyonun aktivitesi veya radyoaktivitesinin insanlar

üzerinde zararlı etkisi olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (Gupta, 2013; World Health Organization[WHO], 2016).

Ayrıca Tablo 1.3’de verilen X ışını ve CT tetkiklerinde tipik hasta dozları verileri incelendiğinde; örneğin göğüs için 10 mSv’lik doz alındığı görülür ve bu durumda beş veya on sefer bu ışınlara maruz kalınması durumunda kanser riskinin arttığı yorumu yapılabilir.

Radyasyon dozu, vücutta meydana gelen hasarla ilgilidir ve soğurulmuş (absorblanmış) doz, eşdeğer doz, etkin doz veya kolektif doz olarak ifade edilebilir. Soğurulmuş doz; bir organ veya dokunun birim kütlesi başına emilen radyasyon enerjisi olarak tanımlanır. Birimi $J\ kg^{-1}$ ’dir ve özel ismi olan Gray ile ifade edilir. Eşdeğer doz; soğurulmuş dozun bir radyasyon ağırlık faktörü ile çarpımına eşittir ki bu radyasyon ağırlık faktörü ile radyasyon tipinin dokularda biyolojik hasar oluşturma etkisi göz önüne alınmış olur. Eşdeğer dozun birimi Sievert sembolü; Sv’dir. Sievert’in binde biri milisievert (mSv) yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Etkin doz; doku ve organ hassasiyetlerini göz önünde bulundurarak hesaplanmış olan ağırlıklı eşdeğer dozdur. Kolektif doz ise; bir grup insanın herhangi bir radyasyon kaynağına maruz kalması sonucu aldığı etkin dozun toplamını ifade etmektedir (IARC, 2010; TAEK, 2009).

1.8 Radyasyondan Korunma Kavramı

Radyasyona maruz kalma, olumsuz biyolojik etkilerinden dolayı halk için her zaman mümkün olan en düşük seviyede tutulmalıdır. İnsanların iyonize edici radyasyona maruz kalmasını azaltmak için, “ALARA” ilkelerine uyumluluk önem taşımaktadır. ALARA(As Low As Reasonably Achievable), makul olarak gerçekleştirilebilecek ölçüde düşük terimi için kullanılan bir kısaltmadır. Bu terim, radyasyondan korunma için optimizasyon terimi ile eş anlamlıdır. Bu prensipte hem hastalar hem de personeller için bütün faktörler değerlendirilir ve mümkün olan en düşük dozun alınması sağlanır (Singh ve Singh, 2017).

Mevcut olan radyasyondan korunma standartları üç genel ilkeye dayanmaktadır. Bunlar; doğrulama optimizasyon ve doz sınırlarıdır. Doğrulama ilkesine göre, yeterli yarar sağlamadıkça radyasyona maruz kalmayı içeren hiçbir uygulama benimsenmemelidir. Optimizasyon ilkesine göre; doz büyüklüğü, radyasyona maruz kalan kişi sayısı ve kişilerin sosyal ve ekonomik durumları gibi faktörler göz önünde bulundurarak optimize bir korunma sağlanmalıdır. Bu ilke önce ki paragrafta bahsedilen ALARA prensibi olarak da bilinir. Makul olan en düşük seviyede radyasyon alımı ile kullanılan cihazlar bu ilkenin sağlanmasında önem taşımaktadır. Öte yandan doz sınırları prensibi ise, toplum bireylerinin maruziyeti ve mesleki maruziyetler açısından önemlidir.

Radyasyondan korunma eylemleri ise üç şekildedir. Bunlardan ilki zaman kavramını içermektedir. Maruz kalma zamanı; radyasyona maruz kalma ve maruz kalma oranıyla (birim zaman başına maruz kalma) ilgilidir. İkinci olarak radyasyondan korunma eylemi mesafedir ve bu eylemde radyasyon kaynağı ile maruz kalan birey arasındaki mesafe önem taşır. Üçüncü radyasyondan korunma eylemi, korunma ya da zırhlama ile ilgilidir. Korunma kelimesi ile kastedilen şey; beton, kurşun gibi belirli malzemelerin radyasyon kaynağı ile maruz kalan birey arasına yerleştirildiğinde radyasyonun yoğunluğunun azalacağıdır (Singh ve Singh, 2017).

Korunma eylemini; oda korunması, radyasyon çalışanlarının korunması, hastaların korunması gibi kategorilere ayırmak mümkündür.

Oda korunması; özellikle hastanelerde Radyoloji ile ilgili bölümlerde önem taşır. Bu bölümlerin duvarları genellikle kurşun kaplıdır çünkü; kurşun bir nevi koruyucu bariyer özelliği sağlamaktadır ve X ışınları odalarının dışında bulunan bireyleri istenmeyen radyasyonlardan korumaktadır. Ayrıca radyoloji bölümlerinde oda tasarımları da önem taşır Bu bölümlerde odaların düzenine dikkat edilmelidir ve radyasyon güvenliği optimize hale getirilmelidir. Hasta bekleme alanları ise röntgen odası dışındaki alanlarda olmalıdır.

Radyoloji çalışanları ise korunmak için şu yöntemleri kullanabilirler;

- personel sadece gerektiğinde radyasyon ortamında kalmalıdır.
- personel ve hasta arasındaki mesafe maksimize edilmelidir
- koruyucu elbiselerden örneğin kurşun önlüklerden, yan siperleri olan gözlüklerden, eldivenlerden ve tiroid kalkanlarından gerektiğinde yararlanılmalıdır (Singh ve Singh, 2017; Sherer, 2017).

Yüksek enerjili radyasyonlar (X ışınları, gama ışınları, nötronlar, alfa ve beta parçacıklar) sadece sağlık alanında değil nükleer enerji havacılık endüstrisi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılır ve bu radyasyonların hayatı tehdit edici (kanser oluşumu, kalp rahatsızlıkları, katarakt gibi) istenmeyen etkileri olabilir. Ayrıca, günlük hayatımızda doğal kaynaklı olarak maruz kaldığımız, ağır iyonlar içeren galaktik kozmik radyasyonların, sinir sistemine hasar verebilecek kadar etkileri olduğu bilinmektedir. Bu yüzden; doğal kaynaklı radyasyonlardan korunmak çok mümkün olmasada, yapay radyasyonlardan korunma amacı ile radyasyondan koruyucu bir materyal oluşturulması, çok önemli bir hale gelmiştir (Wozniak, Ivanov, Zhdanovich, Nazarov ve Yegorov, 2017).

1.9 Koruyucu Materyaller

Medikal uygulamalarda, hem hastaların hem de çalışanların radyasyonun etkilerinden korunmasında kurşundan yapılmış örtüler veya önlükler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu örtüler bireyleri ışınların zararlı etkilerinden korumaktadır. Koruma amacı ile kullanılan kurşun malzemelerin kalınlık değeri önemli bir parametredir. 0,25 mm kurşun kalınlığı, 75 kVp enerji seviyesinde, gelen ışınların % 66'sını azaltırken, 1 mm kurşun kalınlığı, aynı enerji seviyesinde ışınların % 99'unu azaltabilir. Genel amaçlı radyografi uygulamaları için, koruyucu giysilerde minimum kurşun kalınlığının 0,5 mm olması önerilir. Diğer koruyucu malzemeler arasında, kurşundan yapılan levhalar, paneller, tiroid kalkanları, eldivenler, gözlükler sayılabilir. Eldivenlerde ve tiroid kalkanlarında asgari koruyucu kurşun eşdeğeri 0,5 mm olmalıdır. Göz önüne alınması gereken bir diğer parametre ise kurşundan

yapılmış olan malzemelerin bakımındır. Bu malzemeler yere düşürülmemeli, üst üste istiflenmemeli yani dikkatli bir kullanım gerektirmektedir. Aksi halde, çatlama, kırılma gibi problemler oluşmaktadır ve bu da malzemelerin koruma performanslarını düşürmektedir. Kullanılmadığında, tüm koruyucu giysiler uygun şekilde tasarlanmış raflara asılmalıdır. Çok uzun süreli kullanımlarda ise, kurşun tabakalarda çatlak oluşumları meydana gelmektedir.

Kurşunun ağır bir malzeme olduğu bilinmektedir ve tipik bir kurşun önlük 5-8 kg ağırlığındadır. Bu durum kullanıcılar açısından büyük bir problem oluşturmaktadır. Çünkü bu ağırlıkta ki bir önlük, sırt ağrısına ve yorgunluğa neden olabilmektedir. Bir diğer dezavantaj ise kurşunun ağır metal olması ve dolayısıyla toksik bir etki göstermesidir. Kurşun kullanımının en aza indirildiği modern dünyada, bu malzemenin üretimini ve koruyucu giysiler olarak kullanılmasını sınırlandırmak, hem insanların sağlığı hem de çevre güvenliği için gerekli hale gelmiştir.

2014 yılında Avrupa Birliği, Avrupa'da sağlık hizmetlerinde kurşun kullanımını yasaklamıştır. Bu olay kurşun yerine kullanılabilecek alternatif bir malzemeye olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır (Maghrabi, Vijayan , Deb, ve Wang, 2016 ; Singh ve Singh, 2017).

Yüksek atom numarasına (Z) sahip malzemeler, X ışınlarını hafifletme yeteneğine sahiptirler. Kurşun yüksek atom numarasına sahip olduğundan dolayı ($Z=82$) X ışınlarından korunmada en etkili malzeme olarak düşünülmektedir. Fakat bu konvansiyonel malzeme ile kompozit malzemeler kıyaslandığında; yüksek atom numaralı malzemelerden üretilmiş kompozitlerin hafif, düşük maliyet, toksik olmama ve etkin bir koruma sağlama gibi birçok avantajlara sahip olduğu görülmüştür (Nambiar , Osei ve Yeow, 2013).

Bir başka geleneksel materyal olan alüminyum, uzay endüstrisinde uzay araçlarında kullanılır, ancak yine kompozit malzemelere kıyasla ağırdır ve sınırlı bir koruma etkinliği sağlamaktadır (Wozniak ve diğer. , 2017). Bu kapsamda; kurşun ve alüminyum yerine, radyasyondan koruyucu özelliği olan elementler genellikle toz

formda kompozit malzeme üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanılan bu elementlere örnek olarak Tungsten (W), Bizmut(Bi), Baryum(Ba) ve Gadolinyum (Gd) verilebilir. Atom numarası ve yoğunluk açısından kurşun ve bu inorganik elementler karşılaştırılırsa; kurşunun atom numarasının 82, yoğunluğunun 11,36 g/cm³, tungstenin atom numarasının 74, yoğunluğunun 19,3 g/cm³, bizmutun atom numarasının 83, yoğunluğunun 9,75 g/cm³, baryumun atom numarasının 56, yoğunluğunun 3,5 g/cm³ ve Gadolinyumun atom numarasının 64, yoğunluğunun 7,90 g/cm³ olduğu görülür (McCaffrey, Shen, Downton ve Mainegra-Hing, 2007).

1.10 Koruyucu Kompozit Malzemeler

Bu çalışmada radyasyondan koruyucu toksik etkisi olmayan, iyi bir koruma performansının yanında iyi mekanik özellikler gösterecek olacak olan yeni bir kompozit materyal geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda yüksek performanslı liflerden yararlanılarak örme kumaşlar üretilmiş ve örme kumaş takviyeli kompozit yapılar oluşturulmuştur. Oluşturulan kompozit yapılar için; hem mekanik özellikler açısından hem de radyasyon geçirgenliği açısından değerlendirmeler yapılmıştır.

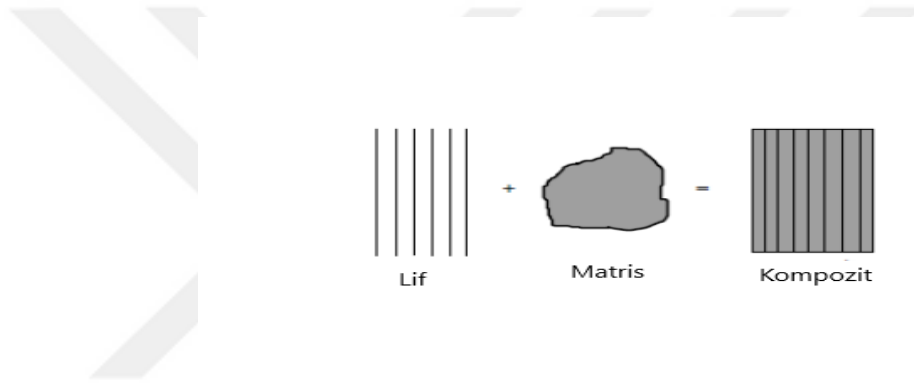
1.10.1 Kompozit Malzeme

Kompozit kelimesi; iki veya daha fazla malzemenin makroskobik olarak bir araya gelmesi ile oluşmuş olan üstün özellikteki malzemeleri ifade eder. Farklı özelliklere sahip birbiri içerisinde çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelmesi ile hiçbir bileşenin sahip olmadığı özellikler oluşmaktadır. Bu yüzden kompozit malzemeler kullanım alanına bağlı olarak uygun bir şekilde tasarlanmış ise mukavemet, ağırlık, sertlik, yorulma ömrü, aşınma direnci gibi özelliklerde iyileşme sağlanmaktadır (Jones, 1999).

Bir kompozitin temel bileşenleri matris(reçine) ve takviye malzemeleridir. Kompozitlerde kullanılan matris malzemeleri genel olarak termoplastikler ve termosetler başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Matris malzemeleri kompozitlere sertlik ve çevre direnci gibi özellikleri sağlamaktadır. Takviye elemanları ise

polimer, seramik, metal gibi malzemelerden yapılmaktadır ve polimer içeren kompozitler birçok endüstride yaygın kullanım alanına sahiptir.

Kompozitlerde (kullanım alanını göz önünde bulundurarak) takviye elemanı olarak tekstil esaslı malzemelerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kullanılan tekstil esaslı malzemelere örnek olarak lifler verilebilir. Şekil 1.19’da, matris içerisinde takviye lifleri kullanılarak oluşturulmuş tipik bir kompozit malzeme örneği gösterilmektedir.



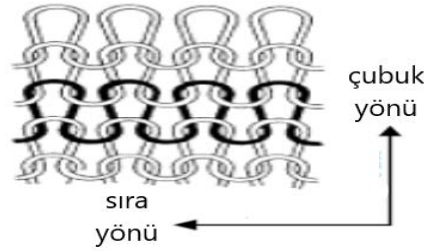
Şekil 1.19 Kompozit bir malzemenin lif ve matris kullanılarak oluşumu (Mazumdar, 2002)

Tekstil takviye elemanı olarak; lif dışında liflerden üretilmiş olan dokusuz yüzeyler, ipliklerden elde edilen dokuma ve örme kumaş yapılarında tercih edilmektedir. Takviye edici malzeme olarak lif veya kumaş gibi malzemelerin kullanılması da, kompozitlerin mukavemetlerini arttırmaktadır ve bu şekilde sağlam yapılar oluşturulmaktadır (Mazumdar, 2002).

1.10.2 Örme Kumaşlar

Kumaşlar, üretim teknikleri bakımından üç gruba ayrılmaktadırlar. Bu gruplar; dokuma, örme ve dokusuz yüzey oluşturma teknikleri ile üretilmiş yapılardır. Örme kumaş yüzeyi oluşturma, atkı ve çözgü örmeciliği olmak üzere iki farklı üretim

yöntemine dayanmaktadır. Bu çalışmada atkı örmeciliği ile örme kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Atkı örmeciliğinde, bobinden gelen iplikler, örme yapısının temeli olan ilmekleri oluşturmaktadırlar. Basit bir atkı örme yapısı Şekil 1.20’de görülmektedir. Yan yana oluşan ilmekler dizini ilmek sırasını, üst üste oluşan ilmek dizini ilmek çubuğunu ifade etmektedir. Bu parametreler; örme kumaşlarda en ve boy ölçülerini etkilemektedir (Çeken,2008).



Şekil 1.20 Atkı örme kumaş yapısı örneği (Alpyıldız, 2010)

1.10.3 İyonlaştırıcı Radyasyondan Korunma Amacıyla Üretilmiş Kompozit Malzemeler İle İlgili Çalışmalar

Literatürde iyonlaştırıcı radyasyondan korunma amacı ile üretilmiş olan kompozit malzemelerle ilgili yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Kompozit malzemelerde, partikül büyüklüğünün etkisini, partikül türünün etkisini, partiküller ile kaplama uygulamalarını, lif takviyeli uygulamaları, partiküller ile modifiye lif uygulamaları ve kumaş uygulamalarını içeren çalışmalar sırası ile derlenmiştir.

Azman, Siddiqui, Hart ve Low, (2013a) mamografi ve genel radyografi ünitesinde kullanılması amacı ile X ışınlarından koruyucu yeni bir malzeme geliştirmişlerdir. Çalışmada, partikül boyutunun X ışınlarının iletimi üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Bu kapsamda, nano boyutta (<100 nm) ve mikro boyutta (yaklaşık 20 μm) tungsten oksit (WO_3) partikülleri takviye elemanı olarak % 5, %10, %20, %30 ve %35 ağırlık oranlarında sentezlenmiş ve epoksi reçine kullanılarak WO_3 - epoksi kompozitleri

hazırlanmıştır. Sonraki aşamada hazırlanan bu kompozit örnekleri, 25-35 kV arasında ve 40-120 kV enerji seviyeleri arasında ki X ışınlarına maruz bırakılmıştır. Test sonuçlarına göre; 25 ile 35 kV enerji aralıklarında X ışınlarını düşürme bakımından nano boyutta ki WO₃ partikülleri mikro boyutta ki WO₃ partiküllerine göre daha iyi bir sonuç vermiştir. Bu durum; nano boyutta WO₃-epoksi kompozitinin W parçacıkları / gram sayısının mikro boyuttaki WO₃-epoksi kompozitinden daha fazla olması ile açıklanmıştır. 40 ile 120 kV enerji seviyelerinde ise partikül büyüklüğünün X ışınlarının transmisyonuna etkisinin ihmal edilebileceği belirtilmiştir.

Azman , Siddiqui, ve Low, (2013) çalışmalarında; farklı hacim oranlarında (%2,%4,%6,%8 ve % 10) mikro ve nano boyutta WO₃ içeren epoksi kompozit numuneleri hazırlamışlardır. WO₃ partikül boyutlarının X ışınlarının transmisyonuna etkisini 10 ile 40 keV enerji seviyeleri aralığında araştırmışlar ve farklı kalınlıklarda ki örnekler arasında bir karşılaştırma yapmışlardır. Ek olarak, eğilme testleri (ASTM D790) ve sertlik testleri (indentation tests) yapılmıştır. Sonuçlarda, 10–25 keV enerji aralıklarında nano boyutlu WO₃ -epoksi kompozit örnekleri mikro boyutlu WO₃ -epoksi kompozit örneklerine göre X ışınlarına karşı üstün bir zayıflama etkisi göstermiştir. Nano boyuttaki WO₃ - epoksi kompozit örneklerinin W partikül/gram sayısının mikro boyuttaki örneklere kıyasla daha yüksek olduğu ve epoksi reçine içinde düzgün dağıldığı düşünüldüğünde, numunelerin kalınlığının artması ile boyut etkisinin de arttığı görülmüştür. Fakat, yüksek enerji seviyelerinde (30-40 keV), X-ışını iletimi özellikleri, partikül boyutu ve numune kalınlıkları açısından değerlendirildiğinde mikro ve nano boyuttaki örnekler için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar ayrıca 40 - 100 kV enerji aralıklarında geleneksel kurşun (Pb) levhalarla karşılaştırılmıştır. Nano ve ya mikro boyutlu 7 mm den daha kalın WO₃-epoksi kompozit numunelerin kurşun levhalar yerine kullanılabileceği öngörülmüştür. Fakat bu numunelerin ağırlıkları ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemiştir. Kompozitlere üç nokta eğilme testi ASTM D790-03 standardına göre yapılmıştır. Kompozitlerin eğilme mukavemetlerinin, belirli bir dolgu miktarı değerine kadar arttığı gözlemlenmiştir. Eğilme özellikleri açısından nano boyutlu

WO₃-epoksi kompozitlerin, mikro boyutlu WO₃-epoksi kompozitlerden daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Mesbahi ve Ghiasi, (2018) çalışmalarında sıradan beton ile PbO₂, Fe₂O₃, WO₃ ve H₄B mikro ve nano partiküllerini içeren malzemelerin koruyucu özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada iki farklı kompozisyon görülmektedir. Bunlardan ilki; %50 sıradan beton ve %50 nanopartikül (50 nm), ikincisi; %50 sıradan beton ve %50 mikropartikül (50 µm) içeren yapılardır. Bu yapıların foton ve nötron düşürme özelliklerini; 142, 167, 184, 300, 662, 1000, 1250 keV gama kaynağı enerji seviyelerinde ve 100, 200, 700, 1000, 1200, 1500, 3000 keV nötron kaynağı enerji seviyelerinde araştırmışlardır. Mikro ve nano PbO₂, Fe₂O₃, WO₃ ve H₄B partiküllerini içeren beton kompozitleri göz önüne alındığında, nano boyutlu parçacıklara sahip kompozitlerin, mikro parçacık içeren kompozitlere göre daha yüksek nötron giderici kesitler(neutron removal cross sections) (%7) ve foton zayıflama katsayısı(%8) gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. (Diğer çalışmalarda ise enerji seviyesi arttıkça parçacık boyutunun etkisinin ortadan kalkacağı sonucuna varılmıştır fakat bu çalışmada takviye miktarı oldukça yüksek bir değerdedir.)

Mahmoud ve diğer. , (2018) yüksek yoğunluklu polietileni matris olarak kullanıp kurşun oksit nano partikülleri (PbO NP) ve hacimlendirilmiş kurşun oksit (PbO bulk) partiküllerini de takviye elemanı olarak kullanıp presli kalıplama yöntemi ile kompozit malzemeler geliştirmişlerdir. Ortalama partikül büyüklüğü PbO nano partiküller için 10 nm ve hacimlendirilmiş PbO için 0.7 µm olarak verilmiştir. Takviye elemanları %10 ve %50 ağırlık oranlarında kullanılarak örnekler 8,5 cm boyutlarında diskler halinde getirilmiş ve hazırlanan bu disklerin gama radyasyonundan koruma özellikleri, Am (59,53 keV), Ba(80,99 keV ile 356,01 keV enerji seviyelerinde), Cs (661,66 keV) ve Co(1173,25 ile 1332,50 keV seviyelerinde) gama kaynaklarını kullanılarak test edilmiştir. Örneklerin lineer atenüasyon katsayıları(µ) cm⁻¹ cinsinden hesaplanmış, ek olarak XCOM programı kullanılmış teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca kütle atenüasyon katsayı değerleri de verilmiştir. Ağırlıkça %10 PbOBlk içeren örnek için, 1173,25 keV

enerjide lineer atenüasyon katsayısı $0,066 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı $0,068 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ dir. Aynı örnek için $1332,50 \text{ keV}$ enerjide lineer atenüasyon katsayısı $0,062 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı $0,063 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ dir. Ağırlıkça %50 PbOBlk içeren örnek için $1173,25 \text{ keV}$ enerjide lineer atenüasyon katsayısı $0,104 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı $0,069 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ dir. Yine ağırlıkça %50 PbOBlk içeren örnek için $1332,50 \text{ keV}$ enerjide lineer atenüasyon katsayısı $0,097 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı $0,064 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Ağırlıkça %10 PbO içeren örnek için, $1173,25 \text{ keV}$ enerjide lineer atenüasyon katsayısı $0,074 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı $0,070 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ dir. Aynı örnek için $1332,50 \text{ keV}$ enerjide lineer atenüasyon katsayısı $0,068 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı $0,065 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ dir. Ağırlıkça %50 PbO içeren örnek için $1173,25 \text{ keV}$ enerjide lineer atenüasyon katsayısı $0,121 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı $0,073 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ dir. Yine ağırlıkça %50 PbO içeren örnek için $1332,50 \text{ keV}$ enerjide lineer atenüasyon katsayısı $0,111 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı $0,067 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Kompozitlerin koruyucu özelliklerini değerlendirmede, lineer atenüasyon katsayı değerleri literatürdeki yapılmış diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta; üretilmiş olan malzemeler aynı enerji seviyelerinde kurşun kadar bir koruma sağlayamamıştır.

Yu ve diğer., (2012) çalışmalarında epoksi reçine ile aynı oranlarda (35 g epoksi ve 35 g WO_3) nano tungsten oksit (WO_3) (50nm) ve micro WO_3 (1 μm) içeren materyallerin liner atenüasyon katsayılarını araştırmışlar sonrasında ise, WinXCom programını kullanarak takviyeli örneklerin çeşitli özelliklerini hesaplamışlardır. WO_3 /epoksi örneklerinin lineer atenüasyon katsayıları ile kütle atenüasyon katsayıları, 59,6 keV (241Am), 1170 ve 1330 keV (60Co), 122,8 keV, 334,1 keV, 778,6 keV, 964 keV, 1112 keV ve 1407 keV (152Eu), 663,8 (137Cs) ve 355,9keV (133Ba) enerjilerinde ölçülmüştür. Nano- WO_3 /epoksi örneğinin daha yüksek bir lineer atenüasyon katsayısına ve daha yüksek bir kütle atenüasyon katsayısına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Deneysel sonuçlar ile WinXCom'dan alınan simülasyon sonuçları karşılaştırılmış ve deneylerden elde edilen kütle atenüasyon katsayı değerlerinin simülasyon değerlerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. 60Co kaynağı ile 1170 ve 1330 keV enerjileri için lineer ve kütle atenüasyon katsayı değerleri şöyle bulunmuştur; 1170 keV enerjide, mikro boyut için lineer atenüasyon

katsayısı değeri $7,34790 \text{ m}^{-1}$, nano boyut için $8,24358 \text{ m}^{-1}$ 'dir. Aynı enerjide, kütle atenüasyon katsayısı değeri mikro boyut için $0,0337 \text{ cm}^2/\text{g}$, nano boyut için $0,0359 \text{ cm}^2/\text{g}$ olarak verilmiştir. 1330 keV enerjide, mikro boyut için lineer atenüasyon katsayısı değeri $7,69914 \text{ m}^{-1}$ 'dir, nano boyut için $8,80559 \text{ m}^{-1}$ 'dir. Aynı enerjide, kütle atenüasyon katsayısı değeri mikro boyut için $0,0353 \text{ cm}^2/\text{g}$, nano boyut için $0,0383$ olarak belirtilmiştir. Ayrıca örneklerin mekanik özellikleri (eğilme ve çekme mukavemeti) araştırılmıştır. Mekanik testler sonucunda nano toz partiküllerinin çatlak oluşumunu önlemede etkili olduğu belirtilmiştir. Sonuçta, gama radyasyonundan korunmada, epoksi reçine ile nano boyutta WO_3 partikülleri içeren materyallerin kullanımının; hem iyi bir mekanik performans hem de iyi bir koruma sağlaması açısından uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Malekie ve Hajiloo (2017) tarafından yapılan çalışmada, % 50 ağırlık oranlarında $1 \text{ }\mu\text{m}$ ve 50 nm boyutlarında WO_3 içeren WO_3 /epoksi kompozitleri göz önüne alınmış, Monte Carlo simülasyon methodu ile (MCNP) bir simülasyon yapılmıştır. Nano ile mikro yapıdaki kompozitlerin lineer atenüasyon katsayıları 50 keV ile $1,33 \text{ MeV}$ enerji aralıklarında MCNP kodu kullanılarak karşılaştırılmış ve simülasyon sonuçları Yu ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmanın deneysel verileri ile doğrulanmıştır. Çalışmada her ne kadar deneysel veriler ile simülasyon sonuçları arasında kabul edilebilir bir ilişki olduğu tespit edilsede, değerlerin yalnızca yüksek enerji seviyelerinde birbirine yaklaştığı görülmektedir.

Azman ve diğer., (2013b) kurşun oksit takviyeli epoksi kompozitler hazırlamayı ve bu kompozitleri karakterize etmeyi hedeflemişlerdir. Bu kapsamda çalışmada, 10 , $\%30$, $\%50$ ve $\%70$ ağırlık oranlarında PbO ve Pb_3O_4 partiküllerini (mikro boyutta) epoksi reçine içerisine ekleyerek kompozit malzemeler üretmişlerdir. Bu malzemelerin X ışınlarından korunma amacı ile kullanılması için malzemelerin kütle atenüasyon katsayılarını ölçmüşlerdir. Ek olarak ölçtükleri verileri XCOM programından elde ettikleri teorik değerler ile karşılaştırmışlardır. Cs 137 nokta kaynağı için $0,662 \text{ MeV}$ enerjide XCOM ile elde edilen verilerden; kütle atenüasyon

katsayı değeri % 50 ağırlık oranında PbO içeren örnek için 0,0978, PbO₃ içeren örnek için 0,0974 olarak belirtilmiştir.

Hashemi ve diğer., (2018) vakum infüzyon tekniğini kullanarak, grafen oksit (GO) ile Pb₃O₄ 'den oluşan(%5 ve %10 ağırlık oranlarında), 4 mm ve 6 mm kalınlıklarında kompozit örnekleri hazırlamışlardır. Reçine olarak epoksi kullanılmış ve XCOM yazılımı ile kompozitlerin X ışını radyasyonuna karşı performansları (40,60 ve 80 kV_p tüp voltajı için) simüle edilmiştir. Sonuçlarda, takviye miktarının ve kalınlığın artması ile koruma performansının geliştiği görülmüştür. Ayrıca örnekler için eşdeğer alüminyum kalınlığı değerleri de belirtilmiştir. Eşdeğer alüminyum kalınlık değerleri 6 farklı tipteki örnekler için şu şekilde bulunlunmuştur. 40 kV_p için; 1,78, 1,81, 2,41, 2,79, 3,57, 4,06 mm Al, 60 kV_p için 1,95, 2,15, 2,76, 3,31, 3,95, 4,83 mmAl, 80 kV_p için 1,84, 1,92, 2,44, 2,82, 3,41 ve 3,91 mm Al.

Harish, Nagaiah, Prabhu ve Varughese, (2009) izofoalat reçine ve kurşun monoksit (dolgu maddesi) kullanılarak polimer kompozit yapıda, radyasyondan koruyucu önlük veya giysi gibi esnek bir malzeme geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu kapsamda, izofoalat bazlı doymamış polyester reçinesi ve farklı konsantrasyonlarda (% 0, 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 ağırlık oranlarında) kurşun monoksit kullanarak kompozit numuneleri üretilmiş ve örneklerin gama radyasyonundan koruyucu özellikleri 0,662 MeV (Cs-137 nokta kaynağı) enerji seviyesinde değerlendirilmiştir. Lineer atenüasyon katsayıları, kütle atenüasyon katsayıları ve yarı kalınlık değerleri(y) hesaplanmıştır. Örneklerin yarı kalınlık değerleri, kurşun, gümüş, bakır ve beton gibi diğer geleneksel malzemelerle karşılaştırılmıştır. Kurşun için yarı kalınlık değeri yaklaşık olarak 1 cm civarında iken üretilen kompozitlerin yarı kalınlık değerleri 6 ile 12 cm aralıklarında değişmektedir. Kompozitlerin lineer düşürme performansları, yoğunluk ve partiküllerin matris içerisindeki dispersiyonu ile ilişkilendirilmiştir. SEM analizi ile dispersiyon incelenmiştir. Çalışmada ağırlıkça %30 oranından fazla kurşun monoksit içeren örneklerin gama ışınlarına karşı iyi bir koruma performansı gösterdiği bulunmuştur fakat ağırlıkça % 0, 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 oranları için lineer atenüasyon katsayı değerleri sıra ile

şöyle verilmiştir; 0,0985, 0,0997, 0,114, 0,1264, 0,1422, 0,1735 ve 0,206 cm⁻¹. Kütle düşürme katsayıları ise yine aynı ağırlık oranları için sırası ile şöyledir; 0,082; 0,0809, 0,0842; 0,0884; 0,0887; 0,0935 ve 0,0948 cm²g⁻¹. Bu durumda değerler arasında çok yüksek bir fark göze çarpmamaktadır.

Huang, Yang, Ma, Wu, Fan ve Zhang, (2016) çalışmalarında etilen-propilen-dien monomer (EPDM) kauçuk kullanarak gama radyasyonundan koruyucu yeni kompozit malzemeler geliştirmişlerdir. Kompozitler hazırlanırken, siyah karbon (CB) ve öğütülmüş PbWO₄ (PWO) tozları dolgu maddeleri olarak kullanılıp, 5 tip örnek hazırlanmıştır. (0,100,200,300 ve 400 particles per hundred) Kompozitlerin kütle atenüasyon katsayıları Eu-155, Cs-137 ve Co-60 gama kaynakları kullanılarak 40 keV ile 0,1 MeV enerji aralıklarında değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, yüzde olarak örneklerin içeriğindeki PWO miktarı arttıkça, gama ışınlarından koruma performanslarının geliştiği söylenmiştir. 0,1 MeV enerji seviyesi için verilen sonuçlar incelendiğinde; kütle atenüasyon katsayı değerleri 100 phr örneği için yaklaşık 1,4, 200 phr örneği için yaklaşık 1,8, 300 phr için 2, 400 phr için yaklaşık 2,5 cm²/g arasında bir değerler verilmiştir. Ayrıca, mekanik özellikleri değerlendirmek için sertlik (Shore A),çekme mukavemeti ve uzama testleri (ASTM standardına göre) gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarda takviye miktarı arttıkça, malzemelerin mukavemet değerleride, koruma özellikleri de artar argümanı verilmiştir fakat mekanik özellikler ile kauçuğun koruma özelliği arasında bir denge problemi olduğu belirtilmiştir ve bu yüzdende takviye toz miktarının sınırlı miktarda olması gerektiği vurgulanmıştır.

Gong, Ni, Chai, Chen ve Tang (2018) çalışmalarında gama ve nötron radyasyonlarından koruyucu esnek bir malzeme geliştirmişlerdir. Bu kapsamda metil vinil silikon kauçuk (VMQ) reçine (matris) olarak kullanılmıştır. PbO(10 µm) ve B₄C (yaklaşık 2 µm) fonksiyonel toz ilavesi olarak farklı ağırlık oranlarında (PbO % 25 ile % 45 oranlarında, B₄C %5 ile % 25 oranlarında) kullanılırken, benzo feon (BP) (%2 ile % 6 oranlarında) , kompozitlerin radyasyon direnci performansını artırmak ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için bir dolgu maddesi olarak kullanılmıştır.

Kompozit numuneler kalıplama (molding) prosesi ile üretildikten sonra, çeşitli kalınlıklardaki numunelerin nötron ve gama ışınlarından koruma performansları ¹³⁷Cs (0,662 MeV), ⁶⁰Co (1,173 MeV), ⁶⁰Co (1,332 MeV) gama kaynaklarını ve ²⁴¹Am-Be nötron kaynağı kullanılarak belirlenmiştir. 2 cm kalınlığındaki örnek için gama ışını transmisyon değeri I/I_0 0,662MeV enerjide 0,7, 1,173 MeV enerjide 0,782 ve 1,332 MeV enerjide 0,795 olarak bulunmuştur. Ayrıca örneklere çekme gerilmesi, yırtılma direnci ve sertlik testleri yapılmıştır. Takviye miktarının artmasıyla, kompozitlerin gerilme mukavemeti ve uzama değerleri azalmıştır. Kompozitlerin yırtılma mukavemeti ise ilk olarak takviye miktarındaki artışla birlikte artmış ve daha sonra azalmıştır. BP'nin dolgu maddesi olarak dahil edilmesiyle mekanik performansların az da olsa arttığı bulunmuştur.

Aral, Nergis ve Candan, (2016) tıbbi uygulamalarda kullanılması için tekstil esaslı, çevre dostu ve esnek X ışınlarından koruyucu malzeme üretmişlerdir. Bu kapsamda çalışma da kurşun yerine, X ışınlarına karşı koruyucu yetenekleri ile bilinen Tungsten (W), Bizmut (Bi) ve Baryum sülfat ($BaSO_4$) tozlarından (mikro boyutta) yararlanılmıştır. Eşit ağırlık oranlarında (ancak farklı hacim oranında) bu tozları içeren silikon kauçuk ile %100 pamuklu düz dokuma kumaşlar kaplanmıştır. Kaplama, %60 ağırlık oranında toz katkı maddeleri ve %40 ağırlık oranında silikon kauçuk olacak şekilde tasarlanmış ve uygulanmıştır. Sonraki adımda, örneklerin X ışınlarını düşürme oranları 80,100 ve 150 kV tüp voltajında tıbbi uygulama standartlarına göre ölçülmüştür. $BaSO_4$ ile kaplanmış kumaşlar en kötü koruma performansını sergilerken, Bi ve W ile kaplanmış kumaşlar, birbirlerine yakın performanslar göstermiştir. Çalışmada ek olarak, teorik bir model geliştirilmiştir ve bu teorik model kullanılarak, tüm malzemeler için 100 kV enerjide %90, %95 ve %99 zayıflama oranları için gereken malzeme kalınlıkları da tahmin edilmiştir. Bi ve W kaplamaların kalınlıklarının %95 zayıflatma için 15 ila 20 mm arasında olacağı görülmüştür. Koruma oranlarının iyileştirilmesi için yapıların sandviç şeklinde katmanlanması ile numunelerin toplam kalınlıkları arttırılmıştır. İki ile beş kattan oluşan Bi, W ve $BaSO_4$ örnekleri 100 kV enerji seviyesi altında test edilmiş 100 kV seviyesinde, 1,55 mm Bi gömülü kaplama, 1,73 mm W gömülü kaplama ve 2,81 mm

BaSO₄ gömülü kaplama içeren örnekler, X ışını fotonlarının %90'ını zayıflatabilir sonucuna ulaşılmıştır.

Maghrabi ve diğer., (2016) çalışmalarında kurşun yerine, kaplama uygulamalarında Bi₂O₃ 'ün tekstil malzemeleri için uygunluğunu araştırmışlardır. 10 mikrometre boyutunda Bi₂O₃ %23 - %67 arasında değişen ağırlık oranlarında, PVC(polivinil klorür) reçine ile hazırlanarak poliester ve naylon düz dokuma kumaşlar üzerine bir rakle yardımıyla uygulanmıştır. Kaplama ile elde edilen X-ışınlarına karşı koruyucu kumaşların X ışını geçirgenliği değerleri (80 kVp) ölçülmüştür. Sonuçlarda ağırlıkça %50 oranından fazla Bi₂O₃ ile kaplanmış poliester kumaşlar yaklaşık % 80 civarında koruma yeteneği göstermiştir.

Pulford ve Fergusson (2016), çalışmalarında X ışınlarından koruyan toksik olmayan ve rahat bir giysi üretmeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle tekstil yapılarından yararlanmışlardır. Alt (substrat) ve koruyucu tabakadan oluşan iki tabakalı kaplama yöntemini tercih etmişlerdir. BaSO₄, Bi₂O₃ ve Na₂WO₄ (%70 kimyasal takviye miktarı) kullanılarak çözgen döküm (solvent casting) kaplama tekniği ile üç farklı numune hazırlanmıştır. Bu numunelerden, BaSO₄ içeren örneğin ağırlığı 21 g, ortalama kalınlığı 1,9 mm, Bi₂O₃ içeren örneğin ağırlığı 23,2 g, ortalama kalınlığı 1,8 mm ve Na₂WO₄ içeren örneğin ağırlığı 12 g, ortalama kalınlığı 1,8 mm olarak verilmiştir. Numuneler 60, 70, 80, 90 ve 100 kVp seviyelerinde X ışınlarına maruz bırakılarak test edilmiştir. Sonuçlarda, 60 ile 100 kVp seviyelerinde BaSO₄ ve Bi₂O₃ tekstil kaplamalı örnek kurşun ile benzer bir seviyede yaklaşık %95 ile %80 seviyesinde bir koruma sağlamıştır.

Yue ve diğer., (2009) Monte Carlo (MC) yöntemi kullanarak yeni koruyucu malzeme geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Çalışmada hidrojene stiren bütadien stiren kopolimer (SEBS) ve %75, %80 ve %85 ağırlık oranlarında tungsten kullanılmış, örneklerin koruma performansları 9, 12 ve 20 MeV enerji seviyelerinde incelenerek kurşun numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Ağırlıkça %85 tungsten içeren örnek 9 -12

MeV enerjilerinde %95 seviyesinde bir koruma sağlamıştır. Enerji seviyesi 12 MeV değerini aştığında ise gerekli korumanın sağlanamayacağı sonucuna varılmıştır.

Gavriş ve diğer., (2016) radyasyondan koruma amacı ile, tungsten toz ile ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilenden (GUR 4122) oluşan kompozit örnekleri hazırlamışlardır. Ağırlıkça %0,%5,%10,%20,%40 ve %50 oranlarında tungsten tozu içeren altı adet numune üretmişlerdir. Polimer metal kompozitlerin radyasyondan koruma özelliklerini değerlendirmek için ^{60}Co gama kaynağını kullanılmış ve örneklerin radyasyon düşürme faktörleri ^{60}Co gama kaynağının iki pik enerjisinin ortalama değeri olan 1252 keV enerjisi için hesaplanmıştır. Sonuçlarda, ağırlıkça tungsten miktarı arttıkça radyasyon düşürme faktörünün de arttığı görülmüştür. Kompozitlerin çekme mukavemeti değerlerinin ise, tungsten toz miktarı % 50 olana kadar arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Chang ve diğer., (2015) yüksek enerji seviyesinde ki gama ışınlarından korunma amacı ile farklı ağırlık oranlarında (0,30,50,70 and 80) yaklaşık 6 μm büyüklüğünde tungsten partikül ile epoksi reçine içeren kompozitler üretmişlerdir. Örneklerin gama radyasyonundan koruma özelliklerini belirlemek için ^{60}Co kaynağını kullanmışlardır. Eğilme dayanımı testi ASTM D790 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre; tungsten miktarı arttıkça kompozitlerin koruma performansı gelişirken, kompozitlerin eğilme dayanımı, ağırlıkça %30 tungsten takviye miktarının üstündeki değerlerde büyük ölçüde azalmıştır. Koruma performanslarını incelerken lineer atenuasyon katsayı değerleri verilmiştir. Bu değerler; % 30 partikül içeren örnek için 0,1 cm^{-1} iken % 70 partikül içeren örnek için 0,2 cm^{-1} olarak verilmiştir.

Soylu, Lambrecht ve Ersöz, (2015) çalışmalarında gama ışınlarından korunma uygulamalarında kullanılması için, etilen vinil asetat (EVA) ve mikro boyutta ($\leq 10\mu\text{m}$) farklı ağırlık oranlarında (% 0,%50,%60 ve %70) tungsten karbür (WC) içeren polimer kompozitler üretmişlerdir. Numuneler, ayrıca kalınlığın etkisini

incelemek için 1 mm ve 2 mm kalınlıklarda kullanılmıştır. ^{137}Cs (662 keV), ^{131}I (364 keV) ve ^{241}Am (60 keV)gama kaynakları kullanılmış ve örneklerin koruma etkinlik değerleri ile lineer atenüasyon katsayı değerleri verilmiştir. Gama radyasyonuna karşı, % 70 WC içeren kompozit örneği; 662 keV enerjide 1mm kalınlık için % 85, 2mm kalınlık için yaklaşık % 90, 364 keV enerjide 1 mm kalınlık için % 80, 2 mm kalınlık için yaklaşık % 85, 60 keV enerjide 1 mm kalınlık için % 65, 2 mm kalınlık için % 70 oranında koruma sağlamıştır.

Afshar, Morshedian ve Ahmadi (2019), çalışmalarında X ışınlarını bloke etmek amacı ile, kurşun içermeyen polimer kompozit malzeme geliştirmişlerdir. HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) reçine ile, partikül büyüklüğü 1,2 μm tungsten tozu, 10 μm bor karbür ve 5 μm molibden disülfür tozları (%10 ve %45 ağırlık oranlarında) takviye elemanı olarak kullanmışlardır. SEM ve EDX analizleri tozların homojenliğini değerlendirmek için yapılmıştır. Dijital Radyoloji makinesi kullanılarak, 40 ve 80 keV enerji seviyesinde 2 mm kalınlığında örneklerin X ışınları absorpsiyon özellikleri gözlemlenmiş ve 2,5 mm kalınlığında kurşun ile karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlarda, %45 tungsten içeren örneğin neredeyse kurşun kadar koruma sağladığı görülmüştür. Ayrıca, örneklerin radyasyon düşürme özellikleri Cs ve Co gama kaynakları kullanılarak 2 mm ve 4 mm kalınlık için test edilmiştir ve tungsten içeren numunenin en iyi korumayı sağladığı gözlemlenmiştir. Mekanik özelliklerde, çekme mukavemet analizleri ASTM D638 standardına göre belirlenmiştir. Tungsten partiküllerinin ilavesi ile mekanik özellikler gelişmiştir fakat diğer partiküllerin etkisi incelendiğinde; tungsten dışındaki partiküllerin ilavesi mekanik özellikler üzerinde olumlu bir etki oluşturmamıştır.

Kaloshkin, Tcherdyntsev , Gorshenkov, Gulbin ve Kuznetsov (2012), çalışmalarında yeni radyasyondan koruyucu UHMWPE (ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen) ile mikro boyutta B_4C ve nano boyutta tungsten (W) tozu içeren kompozitleri sıcak presleme ile üretmişlerdir. B_4C için ortalama partikül boyutu 100 μm , W için ortalama partikül boyutu 60-80 nm' dir. Farklı ağırlık oranlarında toz içeren numuneler hazırlanmış ve 1, 2 ve 3 mm kalınlığında diskler haline

dönüştürülmüştür. Polimer matris kompozitlerin radyasyon koruyucu özellikleri 122 keV enerji seviyesinde (^{57}Co) ölçülmüş ve akı düşürme katsayı değerleri belirlenmiştir. Sonuçlarda; %10 W %8 B₄C içeren örnek için düşürme katsayı değeri 0,43 cm⁻¹, %18 W %12 B₄C içeren örnek için düşürme katsayı değeri 0,73 cm⁻¹, %30 W %20 B₄C içeren örnek için düşürme katsayı değeri 1,36 cm⁻¹ ve yalnızca %60 ağırlık oranında W içeren örnek için düşürme katsayı değeri 3,43 cm⁻¹ olarak bulunmuştur ve bu şekilde malzemelerdeki tungsten içeriğinin artması ile gama ışını koruma özelliklerinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca elastisite modülü ve çekme mukavemeti analizlerinin verileri değerlendirilmiştir.

Erol, Poca, Yanbay, Ersöz ve Lambrecht (2016) çalışmalarında UHDPE (ultra yüksek yoğunluklu polietilen) matris ile farklı ağırlık oranlarında bor ve tungsten karbür içeren dört farklı tip kompozit numuneler üretmişlerdir. Radyasyon testi için; numuneleri 1 mm kalınlığında ve 8 cm çapında diskler haline dönüştürmüşlerdir. Cs-137(662 keV) ve I-131 (364 keV) radyasyon kaynaklarını kullanarak radyasyon testleri gerçekleştirilmiş sonuçlarda, %50 oranında tungsten tozu içeren örneğin kurşun kadar koruma sağladığı görülmüştür. Sertlik ölçümleri Shore D' ye göre değerlendirilmiştir. Sonuçlarda malzemelerin kolay şekil alabileceği ifade edilmiştir.

Sambhudevan ve diğer., (2017) çalışmalarında doğal kauçuk içeren radyasyondan koruyucu kompozitler geliştirmişlerdir. Kauçuk kompozitler nadir toprak oksitleri takviyeleri ile hazırlanmıştır. Yüzde olarak farklı ağırlık oranlarında Gadolinyum (Gd), Neodimyum (Nd), Samaryum (Sm) ve Holmium (Ho) tozları takviye elemanı olarak kullanılmıştır. Gadolinyum 10, 20, 30 ve 40 phr, diğer takviyeler 20 phr oranlarında seçilmiştir. Çalışmada morfolojik ve mekanik analizler (çekme mukavemeti, yırtılma mukavemet, sertlik (shore A), kopma uzaması) yapılmıştır. Kompozitlerin X ışınlarından koruyucu özellikleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; lineer atenüasyon katsayıları, kütle atenüasyon katsayıları, yarı değer kalınlıkları farklı tüp voltajlarında ölçülmüştür. Lineer ve kütle atenüasyon katsayılarının ölçüldüğü enerji aralığı ile ilgili bilgiye rastlanmamıştır. Bu değerler, Gadolinyum içeren örnekler için eş değer kalınlık metodu ve gri skala (profil) metodu ile

belirlenmiş ve bir karşılaştırma yapılmıştır. İki metoddan elde edilen veriler birbirine çok yakın değerlerde bulunmuştur. %40 Gadolinyum içeren örnekler için lineer atenüasyon katsayısı $0,8 \text{ cm}^{-1}$, kütle atenüasyon katsayısı yaklaşık $0,9 \text{ cm}^2/\text{g}$ bulunmuştur. Ayrıca, Gadolinyum içeren örneklerin dijital X ışını radyografi görüntüleri verilmiştir. Sonuçlarda; nadir oksit takviyeli doğal kauçuk kompozitlerin X ışını koruması için kullanılabileceği görülmüştür.

Hosseini ve Soltanabadi (2016), farklı ağırlık oranlarında (%5-%20) polianilin (PANI)/Au(altın) içeren beş türde tablet formda nanokompozitler hazırlayıp bu kompozitlerin X ışınları düşürme özelliklerini 14 ila 60 keV enerji seviyeleri arasında araştırmışlardır. Sonuçlarda, nanopartikül miktarının artması ile X ışınlarının emiliminin geliştiği belirtilmiştir. 2 mm kalınlığında %20 ağırlık oranında PANI/Au içeren kompozit için 59,5 keV enerjide lineer atenüasyon katsayısı 0,011, 13,95 keV enerjide lineer atenüasyon katsayısı 0,403 olarak verilmiştir.

Dong ve diğer., (2016) çalışmalarında gama radyasyonundan korunma amacı ile vanadyum cürufu (vanadium slag) kullanmışlardır. Epoksi reçine ile vanadyum (160:(300,500,700,900 slag) ağırlık oranlarında) kullanılarak kompozit örnekleri üretilmiş; 1173 keV ve 1332 keV enerji seviyelerinde (^{60}Co) örnekler test edilmiştir. Sonuçlarda; vanadyum cürufunun takviye miktarının artması ile, kompozitlerin kütle atenüasyon katsayısının arttığı böylece kompozitlerin koruyucu özelliklerinin geliştiği görülmüştür. 1173 keV için kütle atenüasyon katsayı değeri en iyi koruma sağlayan örnek için 0,05953, 1332 keV için; kütle atenüasyon katsayı değeri yine en iyi koruma sağlayan örnek için 0,05492 olarak verilmiştir.

Kelkar, Tian, Yu ve Zhang (2016), boron nitrit nanopartiküllerinin(BNNPs) yüzeylerini işlevselleştirerek hibrit bnnps /fiberglas /epoksi kompozitler üretmişlerdir. İlk olarak, epoksi reçine ile nanopartiküllerin arasındaki arayüz etkileşimi geliştirmek amacı ile partiküllere kimyasal ve fiziksel işlem olmak üzere 2 farklı işlem uygulamışlardır. Kimyasal işlem KH550 ile fiziksel işlem CTAB ile

gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada, FTIR, TGA, ve SEM analizleri ile kimyasal ve fiziksel işlemin başarı ile gerçekleştiğini kontrol etmişlerdir. Bir sonraki aşamada %0,5 ağırlık oranında fonksiyonelleştirilmiş nanopartikülleri kullanarak fiberglas takviyeli kompozit lamineler üretmişlerdir. Çekme ve eğilme mukavemeti ile termal iletkenlik test sonuçlarına göre; fiziksel işlem görmüş örnek, kimyasal işlem görmüş örnekten daha iyi performans göstermiştir. Boron nitrit nanopartiküllerinin mükemmel nötron emici özellikte olduğu bilgisi göz önüne alınarak, üretilen nano-kompozitin radyasyondan koruma amacı ile kullanılabileceği ifade edilsede, bu çalışma da üretilen örnekler radyasyondan koruma etkinliği açısından değerlendirilmemiştir.

Wang, Tang, Chai, Chen ve Qiu, (2015) gama ve nötron radyasyonlarından koruyucu kompozit geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla, kompozit lamineler poliimid reçine, karbon lifi dolguları ve %21 ağırlık oranında Samarium (Sm) tozu kullanılarak 1, 2, 4, 6 ve 8 tabakalı olarak üretilmiştir. Üretilen bu yeni materyallerin koruyucu özelliklerini değerlendirmek için Be nötron kaynağı ile ¹³⁷Cs ve ⁶⁰Co gama kaynaklarından yararlanılmıştır. Örnekler düşük enerjili gama ışınlarına karşı yaklaşık %80 seviyesinde bir koruma sağlamıştır. 1 MeV enerjinin üstünde ise 4 mm kalınlıkta olan yapı %40 seviyesinde bir koruma sağlamıştır. Çekme mukavemeti deneyinde, tabaka sayısını artması ile çekme dayanımında artış görülmüştür.

Medjahed ve diğer., (2018) Alüminyum (Al)-Lityum(Li) alaşımlı levhalar, Karbon lifi ve ftalonitril (PN) reçine ile metal lif lamine kompozitlerini üretmişlerdir. 4, 8 ve 12 tabakalı karbon/ftalonitril prepregleri kullanılarak Al-Li levhaları ile kompozit örnekleri (elde yatırma tekniği ile) hazırlanmıştır. Örneklerin mukavemet özellikleri değerlendirilmiş tabaka sayısı arttıkça çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Sonraki aşamada ise, numunelere yüksek atom numaralı (high Z) toz takviye edilmiştir. 50 nm büyüklüğünde tungsten karbit (WC) %10 ve %20 ağırlık oranlarında kullanılarak, 12 tabakalı örneklerin gama ışınlarından koruma performansı 1,17 MeV enerji seviyesinde Co-60 kaynağı kullanılarak araştırılmıştır. WC miktarının %10'dan %20'ye çıkması ile, gama koruma performansında gelişme

görülmüştür. 16 mm kalınlıkta %10 WC içeren örnek için ekranlama oranı %40 değerinin altında iken, yine 16 mm kalınlıkta %20 WC içeren örnek için ekranlama oranı %40 değerinin üstünde olarak bulunmuştur.

Li ,Gu, Zhang ve diğer. (2017), çalışmalarında gama ve X ışınlarından koruyucu bir yapı geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla, mikron boyutlarında Er_2O_3 (erbiyum oksit) partikülleri içeren, basalt lifi takviyeli epoksi kompozitler üretmişlerdir. Basalt fiber prepregleri (%65 lif hacim oranında) ve basalt fiber/ Er_2O_3 prepregleri (%59 lif hacim oranında), tek yönlü $[0^\circ]_{16}$ ve yarı izotropik $[0^\circ/90^\circ/+45^\circ/-45^\circ]_{2s}$ olmak üzere iki farklı tip tabaka sıralaması ile üretilmiştir. Örnekler, ^{137}Cs , ^{241}Am ve ^{133}Ba kaynakları kullanılarak, 31 keV ve 662 keV enerji aralıklarında ki ışınlara maruz bırakılmış ve koruma performansları değerlendirilmiştir. Er_2O_3 partikülleri koruma performansı üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. Kütle atenüasyon katsayısı değerleri; Er_2O_3 partikülleri içeren örnekler için 31 keV enerjisinde yaklaşık $1.5 \text{ cm}^2/\text{g}$, 662 keV enerjisinde yaklaşık $0,10 \text{ cm}^2/\text{g}$ değerindedir. Tabaka sıralamasının ise koruma performansı üzerinde herhangi bir etkisi olmamıştır.

Li, Gu, Yang ve diğer. (2017), çalışmalarında yeni radyasyondan koruyucu kompozit malzeme geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu kapsamda, tek yönlü basalt matları (300 g/m^2), epoksi reçine, farklı oranlarda tungsten partikülleri ile erbiyum oksit partikülleri kullanmışlar ve 7 tabakalı kompozit lamine yapıları üretmişlerdir. Sonraki adımda kompozitlerin koruma özelliklerini ^{133}Ba ve ^{137}Cs kaynağı kullanarak değerlendirmişlerdir. Sonuçlarda; tungsten ve erbiyum oksit partiküllerinin ilavesi ile kütle atenüasyon katsayısı artarken, tungsten ilavesi daha güçlü bir etki yaratmıştır. Kompozitlerin 356 keV enerji seviyelerinde, 662 keV enerji seviyesine göre daha iyi koruma sağladığı belirtilmiştir. Kütle atenüasyon katsayısı değeri tungsten içeren örnek için 356 keV enerjide 0,1396, 662 keV enerjide 0,0782 olarak bulunmuştur.

Qu ve diğer. (2014), rejenere lif çekimi prosesinde, büyüklükleri 1-3 mikron arasında olan BaSO₄ partiküllerini farklı ağırlık yüzdelerinde (%0, %10, %20, %25 oranlarında) kullanarak rejenere selüloz (viskoz) lifleri üretmişlerdir. Üretilen lifler ile, viskoz/BaSO₄ kompozit lifleri (blok yapıda) ve (örme) kumaş yapısı oluşturmuşlardır. Kompozit lifler, yıkama dayanımı, mukavemet ve kopma uzaması performansları açısından test edilmiştir. Kompozit liflerde BaSO₄ partikül miktarı arttıkça, kuru ve yaş kopma uzaması değeri azalmıştır. Mekanik özellikler inorganik partiküllerin eklenmesi ile kademeli olarak azalmıştır. Ayrıca, X ışınlarının etkisini değerlendirmek amacı ile yeni bir metot kullanılmıştır. Dijital X ışınları kullanılarak örneklerin görüntüleri 50, 80, 120 keV enerji seviyeleri için elde edilmiş ve değerlendirmede gri skala kullanılmıştır. Numunelerin X ışınlarından koruma özellikleri, baryum sülfat içeriğinin artması ile artmıştır.

Günther ve diğer. (2015), çalışmalarında Lyocell üretim prosesinde baryum sülfat, baryum titanat ve bizmut oksit inorganik partiküllerini (%20 ağırlık oranlarında) kullanarak, yüksek X ışını emme özelliği olan kompozit yapıları geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla multi filament ve şapel olarak organik-inorganik kompozit lifleri üretilmiş ardından, multi filamentler dokuma kumaş üretimi için direkt atkı ipliği olarak kullanılmıştır. Şapel lifler ise, farklı iplik numaralarında atkı ipliği olarak kullanılmış ve düz, dimi, saten örgü tiplerinde dokuma kumaşlar geliştirilmiştir. Örneklerin ancak düşük enerji seviyelerindeki X ışınlarına karşı bir koruma sağladığı tespit edilmiştir. Bu korumanın 20 keV enerji seviyesinde yaklaşık %70 civarında olduğu bulunmuştur.

Mahltig ve diğer. (2017), geleneksel tekstil üretimini kullanarak X ışınlarından koruyucu bir giysi üretmeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla ilk olarak, lyocell prosesi ile iki tip lif üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu liflerden birinci %77,2 selüloz %19 baryum sülfat %3,8 grafit, ikincisi %67 selüloz, %30 baryum sülfat %3 grafit içermektedir. Üretilen 2 tip liften rotor eğirme yöntemi kullanılarak iplikler hazırlanmıştır. Sonraki aşamada ise örme kumaş üretimi gerçekleştirilmiştir. Örme kumaştan (poliester iplik ile dikilerek) bir eldiven yapılmıştır. 11–40 keV enerji

seviyelerinde X ışınları iletimi testi gerçekleştirilmiştir. Foton enerjisi 20 keV seviyesinden daha düşük olduğunda, ışınların transmisyonu %25' in altında, daha yüksek foton enerji seviyelerinde ise (yaklaşık 40 keV) transmisyonun yaklaşık %60 civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Mirzaei, Zarrebini, Shirani, Shanbeh ve Borhani (2019), X ışınlarından koruyucu tekstil esaslı yeni bir malzeme geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu kapsamda, farklı ağırlık oranında kurşun ve kalay parçacıkları kullanarak eriyikten lif çekim yöntemi ile polipropilen (PP) monofilament iplikler üretmişlerdir. Özlü monofilament iplikleri kullanarak dokuma kumaş örnekleri hazırlamışlardır. Sonraki adımda, Ba-133 kaynağı ile (0,35,53, ve 80 keV enerjilerinde) örneklerin radyasyondan koruma performansları ölçülmüştür. Metal parçacık konsantrasyonunun artması ile X ışını zayıflama seviyesinin arttığı görülmüştür. Atenüasyon katsayı değerinin 30 keV enerji seviyesinde 14,35 değerlerinde olduğu görülmektedir.

Özdemir ve Camgöz (2018), çalışmalarında paslanmaz çelik ipliği içeren dokuma kumaşların yapısal parametrelerinin radyasyondan korunma üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yapısal parametreler kapsamında, kumaşların örgü yapısını, iletken atkı iplik sıklıklarını ve kumaş kalınlıklarını incelemişlerdir. Poliester ve paslanmaz çelik özlü pamuk iplikleri kullanılarak iki tip örgü yapısında ve farklı yapılarda kumaş örnekleri üretilmiş sonraki adımda, Am-241 gama kaynağı kullanılarak kumaşların absorpsiyon özellikleri (X ışınları enerji seviyelerinde) değerlendirilmiştir. Sonuçlarda materyallerin %30 seviyelerinde bir koruma sağladığı görülmüştür.

BÖLÜM İKİ

MATERYAL VE METOD

Çalışma kapsamında cam ve bakır filament iplikleri kullanılarak farklı yapılarda ve içeriklerde elde edilen örme kumaşlar takviye yapısı olarak kullanılarak kompozit malzemeler elde edilmiş, kompozit malzemelerin mekanik ve iyonlaştırıcı radyasyon zayıflatma özellikleri incelenmiştir.

2.1 Materyal

Kompozit üretiminde kullanılmak üzere takviye kumaş olarak örme kumaşlar Tekstil Mühendisliği Örme Atölyesinde bulunan 7 incelikte düz el örme makinesi kullanılarak kumaş çekim gerginliği ayarı aynı tutularak aynı sıklıkta olmak üzere iki farklı yapıda üretilmiştir. Örme işlemi gerçekleştirilirken uzun ve kısa ayaklı iğneler, örme tarağı ve kumaş çekim ağırlıkları gibi örme elemanları kullanılarak toplam kırk sekiz adet örme kumaş elde edilmiştir; üretilen kumaşların fiziksel özellikleri Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3’ de verilmiştir. Kumaşların örme yapıları Şekil 2.1’de, üretilmiş kumaş görüntüleri ise Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilmiştir.

Üretilen örme kumaş numuneleri cam multifilament iplik ile üretilen kumaşlar G(glass) harfi ile, bakır mono filament iplik ile üretilen kumaşlar C(Copper) harfi ve cam ile bakır ipliklerin tek bir iplik gibi birlikte beslenmesi ile üretilen kumaşlar ise GC harfleri ile olmak üzere kullanılan elyaf temelinde kodlanmıştır.

Tablo 2.1 Cam örme kumaşların fiziksel özellikleri

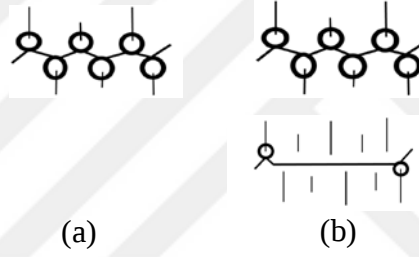
Kumaş kodu	Örme yapısı	Ham madde	İplik numarası	Çubuk sıklığı (cm)	Sıra sıklığı (cm)	Gramaj (g/m ²)
G1	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	684,68
G2	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	687,46
G5	Ribana	E -Cam	136 tex	4	8	663,43
G6	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	681,23
G9	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	665,77
G11	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	668,78
G12	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	682,01
G14	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	678,62
G15	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	668,51
G19	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	679,70
G20	Ribana	E -Cam	136 tex	3	9	665,07
G22	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	660,69
G25	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	712,95
G26	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	712,28
G27	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	758,44
G28	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	717,22
G29	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	771,77
G30	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	752,24
G31	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	707,87
G32	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	716,36
G33	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	733,92
G34	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	712,75
G35	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	719,09
G36	Ribana	E -Cam	136 tex	4	9	716,37

Tablo 2.2 Bakır örme kumaşların fiziksel özellikleri

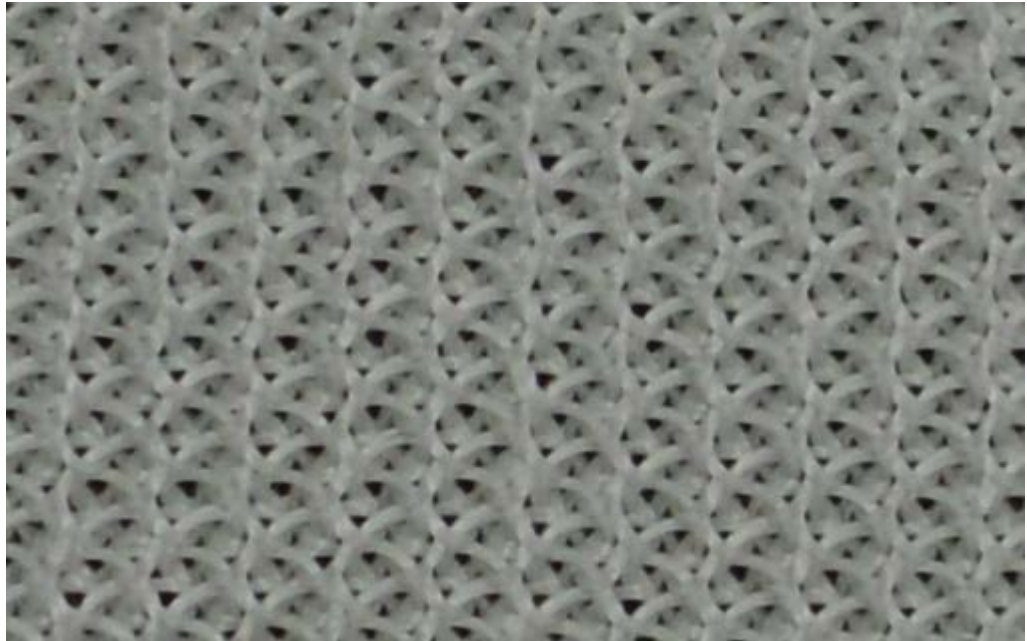
Kumaş kodu	Örme yapısı	Ham madde	İplik numarası	Çubuk sıklığı (cm)	Sıra sıklığı (cm)	Gramaj (g/m ²)
C1	Ribana	Bakır	175 tex	3	6	415,20
C2	Ribana	Bakır	175 tex	3	6	363,17
C3	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	367,43
C4	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	366,09
C5	Ribana	Bakır	175 tex	3	6	376,82
C6	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	359,95
C7	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	357,68
C8	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	366,94
C9	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	359,07
C10	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	361,05
C11	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	364,65
C12	Ribana	Bakır	175 tex	3	5	351,98

Tablo 2.3 Cam ve bakır birlikte beslenerek üretilen örme kumaşların fiziksel özellikleri

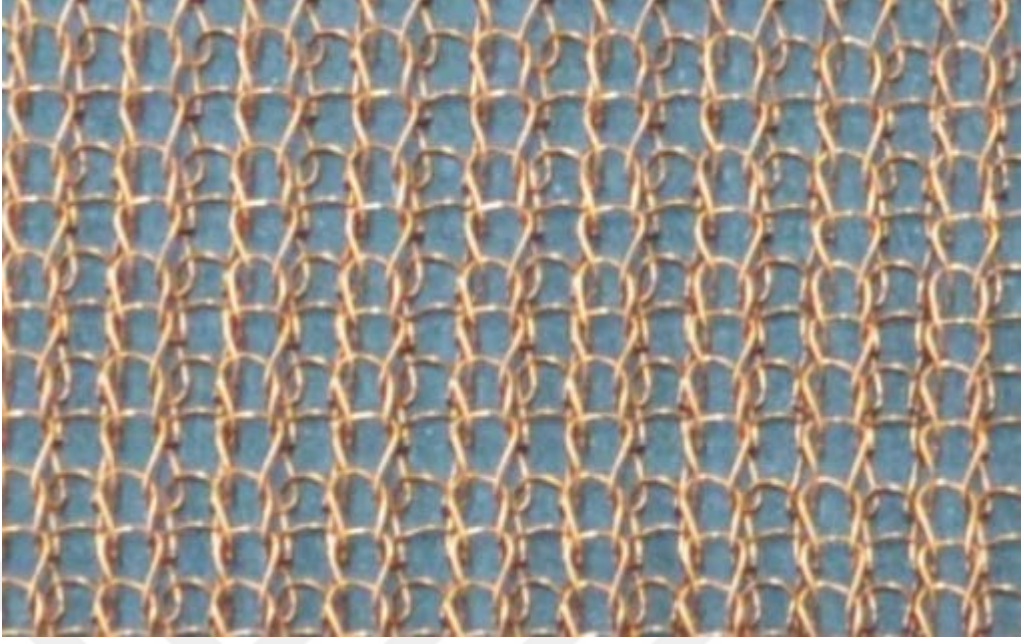
Kumaş kodu	Örme yapısı	Ham madde	İplik numarası	Çubuk sıklığı (cm)	Sıra sıklığı (cm)	Gramaj (g/m ²)
GCRI3	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	6	957,40
GCRI4	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	7	959,08
GCRI6	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	7	952,94
GCRI11	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	6	917,92
GCRI13	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	6	934,64
GCRI15	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	7	923,89
GCRI17	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	6	947,72
GCRI18	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	7	961,07
GCRI19	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	6	935,45
GCRI20	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	6	970,79
GCRI25	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	6	947,76
GCRI26	Yatırımlı ribana	E Cam/Bakır	136tex/175 tex	3	6	940,51



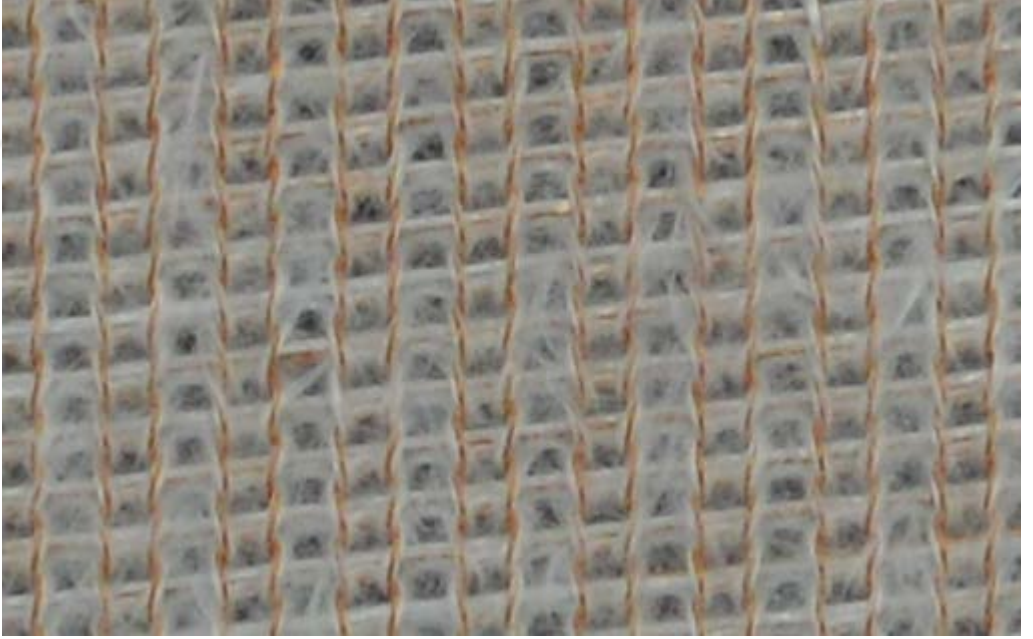
Şekil 2.1 Örme yapıları (a) ribana, (b) yatırımlı ribana



Şekil 2.2 %100 Cam içeren ribana yapıda üretilmiş kumaş (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 2.3 %100 Bakır içeren ribana yapıda üretilmiş kumaş (Kişisel arşiv, 2019)



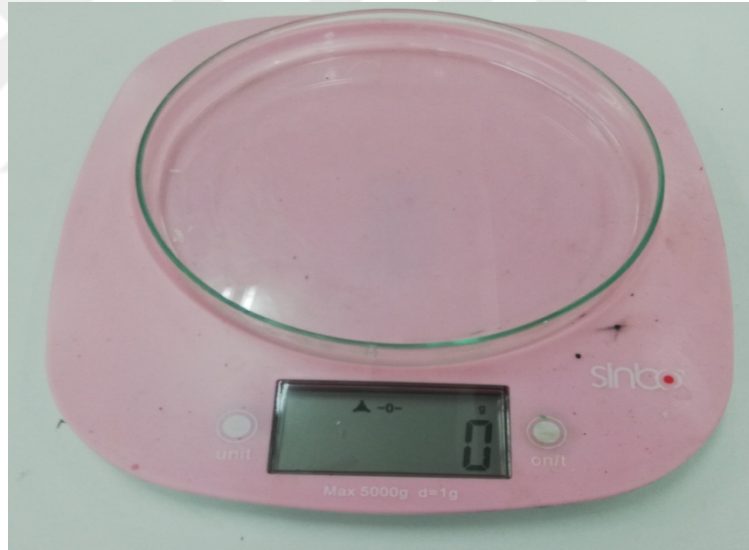
Şekil 2.4 Cam ve bakır iplikler birlikte tek iplik olarak beslenerek üretilmiş yatırımlı ribana yapısında kumaş (Kişisel arşiv, 2019)

2.2 Method

2.2.1 Örme Kumaşların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

El örme makinasında üretilmiş kumaşlar düz bir zeminde kondisyonlanmış, ardından kumaşlar analiz edilerek, kumaş yapıları ile ilgili parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler; kumaş eni, kumaş boyu, kumaş alanı, kumaş ağırlıkları ve kumaş gramajı, kumaşlarda ki çubuk ve sıra sıklıklarıdır.

48 adet kumaş için, kumaş enleri ve kumaş boyları mezura yardımı ile düz bir zemin üzerinde ölçülmüştür. Sonraki adımda bu iki verinin çarpılması ile kumaş alanları hesaplanmıştır. Kumaş ağırlıklarını belirlemek için Şekil 2.5’de gösterilen terazi kullanılmıştır.

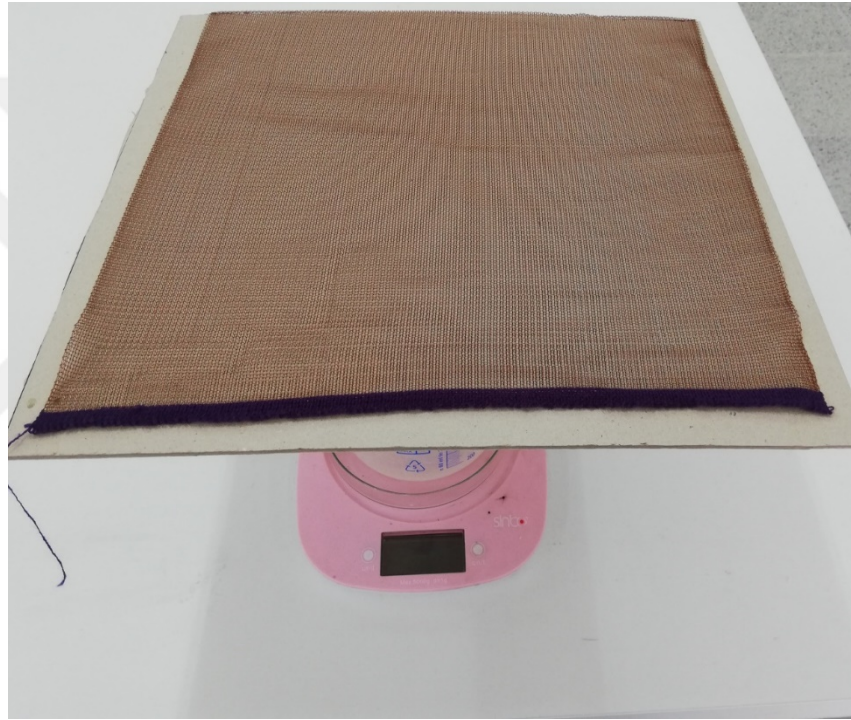


Şekil 2.5 Terazi (Kişisel arşiv, 2019)

Terazide ölçüm yapabilmek için mukavvadan bir ölçüm düzeneği tasarlanmış ve ölçümler Şekil 2.6’da gösterilen mukavva üzerine kumaşların konulması ile gerçekleştirilmiştir. Tartım işlemi kumaş uçlarında ki akrilik kısımlar ile birlikte yapılmıştır. Makinede; örme kumaş oluşturma işlemine başlarken ve bu işlemi sonlandırırken, yüksek performanslı iplikler yerine klasik iplik yani akrilik iplik kullanılmıştır. Nihai olarak elde edilmiş olan kumaşların uç kısımlarında bu akrilik

ipliklerden bulunmuş ve çalışmada bu iplikler sökölmemiştir. Çünkü iplikler sökölündüğünde yüksek performanslı ipliklerden oluşan (cam ve bakır iplikler) yapıdaki ilmeklerin sökölündüğü ve kumaş yapısının bozulduğı görölümüştür.

Akrilik ipliklerin ağırlıklarını belirlemek için, 21 sıra akrilik iplik ile örme işlemi gerçekleştirilmiş yirmi bir sıranın ağırlığı üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Sonraki adımda akrilik ipliklerin ağırlıkları tartılan toplam kumaş ağırlığından çıkarılmıştır.



Şekil 2.6 Terazi ile ölçümlerin gerçekleştirilmesi (Kişisel arşiv, 2019)

Kumaş alanları ve kumaş ağırlıklarının verileri kullanılarak (kumaş ağırlığı kumaş alanına bölünerek) kumaş gramajları belirlenmiştir. Kumaş gramajını belirleme işlemi standarda uygun yapılamamıştır. Çünkü cam kumaş ve bakır kumaşlar kesilince ilmekler yürüyüp kaçmıştır ve kumaş özelliğı yitirilmiştir.

Kumaşların sıra ve çubuk sıklıkları ASTM D8007'ye göre üç farklı yerden lup yardımıyla görünür ilmekler sayılarak yapılmıştır.

Kullanılan cam multifilament ve bakır monofilament ipliklerin numaraları ASTM D1059'a göre ölçülmüştür. Bu amaçla iplik bobinlerinden onar adet bir metre uzunluğunda iplik kesilerek hassas terazide tartılmıştır ve iplik numaraları belirlenmiştir.

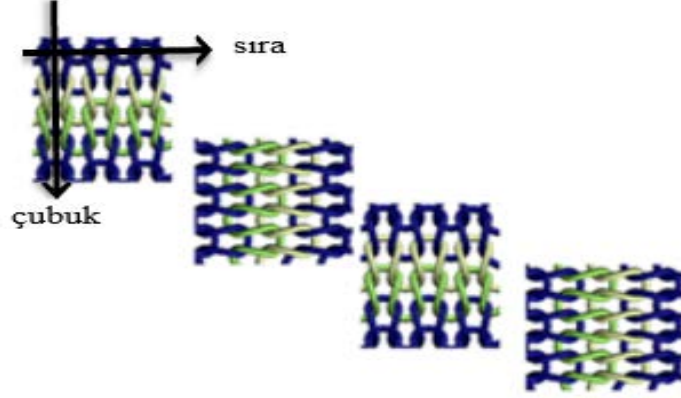
2.2.2 Kompozit Malzeme Üretimi

Üretilmiş olan örme kumaşların takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla vakum infüzyon metodu ile örme kumaş takviyeli kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Kompozit malzeme üretiminde üç farklı takviye malzemesi kullanıldı; kullanılan takviye malzemelerinin yapısı ve hammaddesi farklıdır ve böylece farklı 3 tip kompozit elde edildi. Birinci tür kompozitin takviye malzemesi % 100 cam ipliğinden ribana örme yapısındaki kumaşlardır; bu kumaşların dört kat üstüste yerleşimi ile elde edilen bu kompozit GR koduyla ifade edilmektedir. İkinci tür kompozitin takviye malzemesi % 100 cam ipliğinden ribana yapısındaki kumaşların ve % 100 bakır ipliğinden ribana yapısındaki kumaşların üst üste sırasıyla serilmesi ile yani sandviç yapıda kullanılması elde edilmektedir. Bu kompozitin takviye kumaş yerleşiminde bir kat % 100 cam ipliğinden ribana yapısındaki kumaş, üstüne bir kat 100 bakır ipliğinden ribana yapısındaki kumaş serilip bu işlem 4 kez tekrarlanmaktadır ve elde edilen kompozit GCR koduyla ifade edilmektedir. Üçüncü tür ise cam ve bakır ipliğin tek iplik gibi birlikte beslenmesi örülmüş yatırımlı ribana örme yapısındaki kumaşların takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla oluşmaktadır ve GCRI koduyla ifade edilmektedir.

GR ve GCRI kompozit türünde dört adet kumaş tabakası, GCR kompozit türünde ise sekiz adet kumaşın bir adet cam kumaş üzerine bir adet bakır kumaş olmak üzere bu iki kumaş katı bir tabaka olarak planlanıp bu şekilde dört tabaka üst üste yerleştirilerek 4 kumaş tabakası bulunmaktadır. Tüm kompozit tiplerinde bulunan dört kumaş tabakası bütün türlerde birinci tabaka 0°, ikinci tabaka 90°, üçüncü tabaka 0° ve dördüncü tabaka 90° olacak şekilde 0°/90°/0°/90° yerleşim yönünde üst

üste dizilerek kullanılmıştır. Kumaşların yerleşim yönünün şematik gösterimi Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Kompozitlerin takviye kumaş yerleşimleri Tablo 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.7 Kumaşların 0°/90°/0°/90° yerleşim yönünün şematik gösterimi

Tablo 2.4 Kompozitlerin özellikleri

Kompozit Kodu	Ham madde	Örgü yapısı	Yerleşim yönü	Tabaka sayısı
GR	cam	ribana	0°/90°/0°/90°	4
GCR	cam ve bakır	ribana	0°/90°/0°/90°	8
GCRI	Cam +bakır	yatırımlı ribana	0°/90°/0°/90°	4

Kompozit malzeme üretimi vakum destekli reçine infüzyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Vakum infüzyon yönteminde takviye kumaşların üst üste yerleştirilmesinden vakum altında reçine beslenmektedir. Tabakalı takviye kumaşların vakum torbasına alınması Şekil 2.8’de görülmektedir. Kompozit malzeme üretiminde; vakum infüzyon yöntemine uyumlu olarak Araldite LY1568 ve sertleştirici Aradur 3489 epoksi reçine sistemi kullanılmıştır. Üretimde reçine ve sertleştirici 3:1 ağırlık oranlarında kullanılmıştır.



Şekil 2.8 Tabakalı takviye kumaşların vakum torbasına alınması (Kişisel arşiv, 2019)

Vakum torbalama işlemi tamamlandıktan sonra vakum pompası vasıtasıyla hava çekilirken reçinenin sisteme girişi sağlanır; takviye kumaşların tamamının reçine tarafından ıslanması göz ile takip edilir ve bu süre boyunca Şekil 2.9’da gösterildiği gibi takviye kumaşlar vakum altında tutulur.



Şekil 2.9 Kompozit üretimi (Kişisel arşiv, 2019)

Vakum infüzyon işleminde her bir kompozit tipine göre miktarı hesaplanmış reçine ve sertleştirici, plastik bir kapta mekanik bir karıştırıcı yardımı ile homojen olana kadar karıştırılmış ve vakum altındaki sisteme verilmiştir. Tüm kumaş tabakalarının ıslanması sağlandıktan sonra vakum işlemi sonlandırılmıştır ve reçinenin kürlenmesi için reçine sisteminin teknik raporunda belirtilen değerler göz önüne alınarak kürlenme adımı 50°C de 8 saat olarak uygulanmıştır.

2.2.3 Kompozit Malzemelerin Lif Hacim Oranlarının Belirlenmesi

Kompozitlerin içerisindeki lif hacminin kompozit hacmine oranı lif hacim oranıdır ve lif hacim oranları kompozit özellikleri ile mekanik özellikleri direkt olarak etkilediğinden dolayı bu oranın belirlenmesi önemlidir.

Çalışma kapsamında üretilmiş olan GR kompozitlerin lif hacim oranlarının hesaplanmasında Denklem 2.1 ile verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$V_i = \frac{m_f}{\rho_f} \quad (2.1)$$

Bu denklemde m_f kompozit içerisindeki lif ağırlığı (gram), ρ_f ise lif yoğunluğudur (g/cm^3).

Kompozit içerisinde lif ağırlığı (m_f) hesaplamasında kompozit üretiminde kullanılan dört tabaka kumaşın g/cm^2 olarak gramajları (W) ve kompozitin cm olarak en (b) ile boyunun (L) çarpılması ile elde edilen kompozit ebatı Denklem 2.2'deki forüle göre hesaplanmıştır. GR kodlu kompozitler sadece cam örme takviye kumaşları (G kodlu) kullanılarak üretildiği için hesaplamalarda kompozitler içerisindeki cam lifi ağırlığı ve cam lifi yoğunluğu kullanılmıştır.

Tüm hesaplamalarda cam lifi yoğunluğu $2,5 \text{ g/cm}^3$ alınmıştır (Morton, 1993).

$$m_f = 4 \times W \times L \times b \quad (2.2)$$

GCR kodlu kompozitlerin üretiminde ise hem cam filament ipliklerinden üretilmiş örme kumaşlar (G kodlu) hem de bakır mono filament iplikten üretilmiş örme kumaşlar (C kodlu) takviye malzemesi olarak kullanıldığı için her iki takviye kumaşın lif miktarları göz önüne alınarak nihai kompozitlerin lif hacim oranlarının hesaplanmasında Denklem 2.3 ile verilen eşitlik kullanılmıştır.

$$V_i = V_g + V_c \quad (2.3)$$

Bu denklemde V_g , cam örme takviye kumaşların kompozit içerisindeki lif hacim oranı ve V_c , bakır örme kumaşların kompozit içerisindeki lif hacim oranlarıdır; her ikisinin hesaplanmasında Denklem 2.1 ve 2.2 kullanılmıştır.

Tüm hesaplamalarda bakır yoğunluğu $8,9 \text{ g/cm}^3$ alınmıştır (Akkaş, 2011).

GCRI kodlu kompozitlerin üretiminde cam filament iplik ile bakır filament iplik, tek iplik gibi birlikte beslenerek yatırımlı ribana yapısında üretilen örme kumaşlar (GC kodlu) kullanılmıştır; dolayısıyla GCRI kompozitlerin üretiminde kullanılan takviye kumaşın içerisinde hem cam hem de bakır lifi bulunmaktadır. Lif hacim oranı hesabı için yoğunluklarındaki farklılık dolayısıyla ayrı ayrı cam ve bakır lifi miktarlarına ihtiyaç bulunmaktadır ancak cam ve bakır kısımlarının ağırlıklarının ayrı ayrı tartılması mümkün değildir. Bu sebeple kompozit içerisindeki GC kodlu kumaşları oluşturan cam ve bakır kısımlar için G ve C kodlu örme kumaş gramaj değerleri kullanılarak ve kumaş eni boyunca yatırım ipliği miktarı kadar ağırlık ilave edilerek ayrı ayrı kumaş gramajları hesaplanmıştır; cam yatırımlı ribana yapısındaki kumaş kısmı için hesaplanan gramaj W_{HG} ve bakır yatırımlı ribana kumaş kısmı için hesaplanan gramaj W_{HC} olarak ifade edilmiştir. Ayrı olarak hesaplanan bu gramajların toplamı ile GC kodlu kumaş gramajları (W_{GC}) değerlerinin birbirine oranı alınarak (denklem 4) bir sapma katsayısı (h) hesaplanmıştır; böylece deneysel olarak ölçülen ile hesaplanan arasında bir ilişki tanımlanmıştır. Bu katsayı kullanılarak W_{HG} ve W_{HC} değerleri deneysel verilere göre düzeltilerek denklem 2.2 kullanılarak önce m_f kompozit içerisindeki lif ağırlığı (gram) hem cam hem de bakır elyafı için hesaplanmıştır, bulunan değerlerin sırasıyla denklem 2.1 ve denklem 2.3’de kullanılmasıyla da GCRI kodlu kompozitlerin lif hacim oranları hesaplanmıştır.

Kompozit malzemelerin kalınlıkları dijital kumpas ile ölçülmüştür Ağırlıkları ise dijital terazi kullanılarak ölçülmüştür. Bu değerler Tablo 2.5’de verilmiştir.

Tablo 2.5 Kompozitlerin kalınlık ve ağırlık değerleri

Kompozit Kodu	Takviye kumaş yapısı	Kalınlık (mm)	Ağırlık(g)
GR	ribana	5,39	100,32
GCR	ribana	7,72	155,28
GCRI	yatırımlı ribana	6,89	136,3

2.2.4 Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

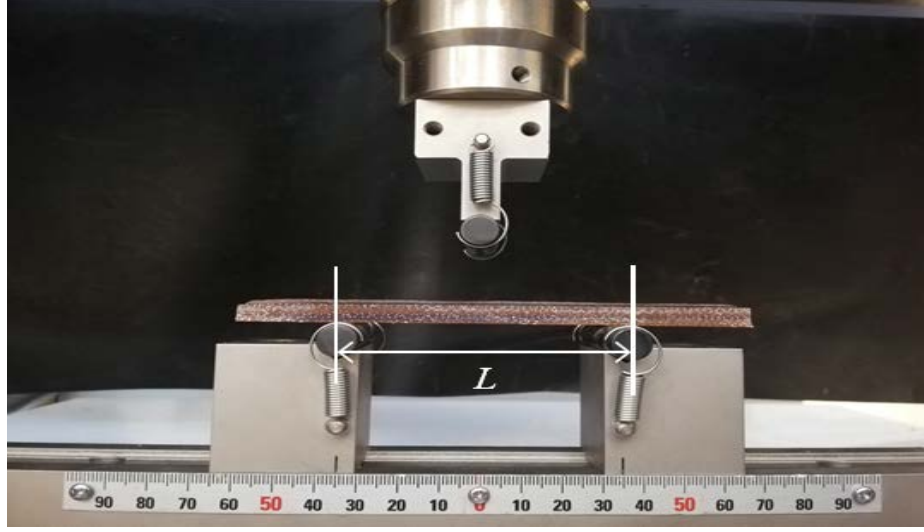
Mekanik özelliklerin bulunması için tüm kompozitlere düşürme (darbe) testleri ve üç nokta eğilme testleri uygulanmıştır.

2.2.4.1 Eğilme Testi

Kompozitlere uygulanan üç nokta eğilme testleri Shimadzu AG-X test cihazında (100 kN kapasiteli), ASTM D7264M standardına göre 4 mm/dakika hızda gerçekleştirilmiştir. Testte, her bir numune tipi için üçer ölçüm(tekerrar) olacak şekilde ve kompozit takviye kumaş tabakalarının en üstündeki takviye kumaşa göre sıra ve çubuk doğrultuları için yapılmıştır. Numunelerin mesnetler arası (span) uzunlukları standartta belirtilen denklem 2.4’de verilen eşitliğe göre belirlenmiştir

$$20 = L/t \quad (2.4)$$

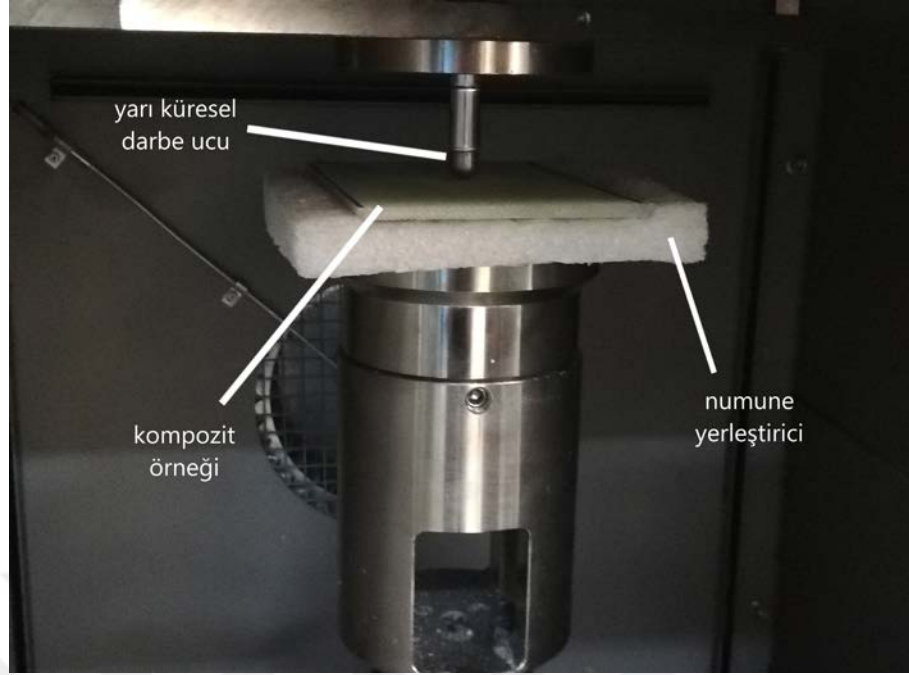
Burada; L numunenin mesnetler arasında kanalan boyu (Şekil 2.10) ve t numunenin kalınlığıdır. Şekil 2.10’da eğilme testi cihazına numunelerin yerleşimi ile testin gerçekleşmesi gösterilmiştir. Eğilme test cihazından; temas kuvveti, deformasyon (sehim) verileri elde edilmiştir.



Şekil 2.10 Eğilme testinde numunenin test cihazına yerleştirilmesi (Kişisel arşiv, 2019)

2.2.4.2 Darbe Testi

Kompozit numunelerin darbe testleri DEU Makina Mühendisliği bölümü Kompozit Üretim Laboratuvarında Fractovis Plus darbe test cihazı ile oda sıcaklığında yarıküresel (hemispherical) 12,7 mm çapında darbe ucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testler, ASTM D7136M standardına göre her numune tipi için 3 er tekrarlı olarak yapılmıştır. Şekil 2.11’de numunelerin cihazın içerisine yerleşimi görülmektedir. Darbe enerjileri, malzeme türüne bağlı olarak 30J, 45J, 60J ve 75J şeklinde belirlenmiştir. 30J ve 45J enerji seviyesinde; gama radyasyonuna maruz kalmadan önce ve gama radyasyonuna maruz bırakıldıktan sonra olmak üzere darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda; temas kuvveti ve deformasyon(sehim) verileri elde edilmiştir.



Şekil 2.11 Darbe test cihazına numunelerin yerleşimi (Kişisel arşiv, 2019)

2.2.5 Kompozit Malzemelerin Gama Radyasyon Zırhlama Performansının Belirlenmesi

2.2.5.1 Araştırmada Kullanılan HPGe Gama Spektrometre Sistemi

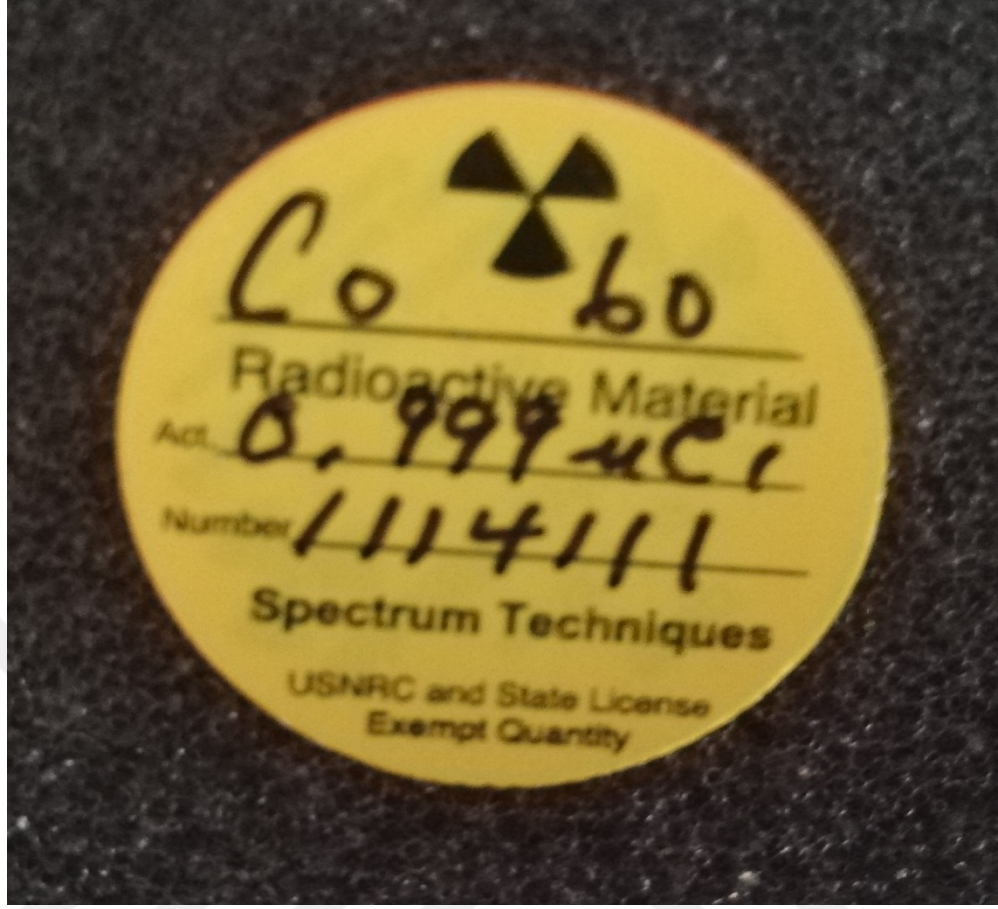
Çalışmada radyasyon testleri, DEU Fizik bölümünde Gama Spektroskopi Ölçüm Laboratuvarında bulunan HPGe gama ışını spektrometre sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Bu sistem aktif hacmi 197 cm^3 olan koaksiyel p-tipi HPGe (AMETEC-ORTEC GEM40P4) dedektör ve elektronik ekipmandan (ORTEC, Model 672 spektroskopi amplifikatörü ve ASPEC-927 model 16 K MCA) oluşmaktadır. Dedektör kaçak akımları ve yük taşıyıcılarının mobilitelerini azaltmak için sıvı nitrojen sıcaklığında tutulmaktadır. Kozmik ve karasal orjinli fotonları zırlamak için dedektör 10 cm kalınlığında, %99,9 saflıkta silindirik kurşun zırh ile çevrelenmiş, zırhın çevresi 9,5 mm kalınlığında karbon-çelik alaşımıyla kaplanmıştır. Zırhın iç yüzeyi kurşunun karakteristik X-ışını radyasyonunu önlemek için 1,5 mm kalay ve 1,6 mm kalınlığında bakır tabaka ile kaplanmıştır. Şekil 2.12’de kullanılan gama spektrometre sistemi görülmektedir.



Şekil 2.12 Gama spektrometre sistemi (Kişisel arşiv, 2019)

2.2.5.2 Araştırmada Kullanılan Sertifikalı Referans Standart Kaynak

Kompozit materyallerin gama radyasyonuna karşı koruma performansının incelenmesinin hedeflendiği bu çalışmada gama kaynağı olarak, Şekil 2.13 de gösterilen sertifikalı ^{60}Co nokta kaynağı kullanılmıştır.



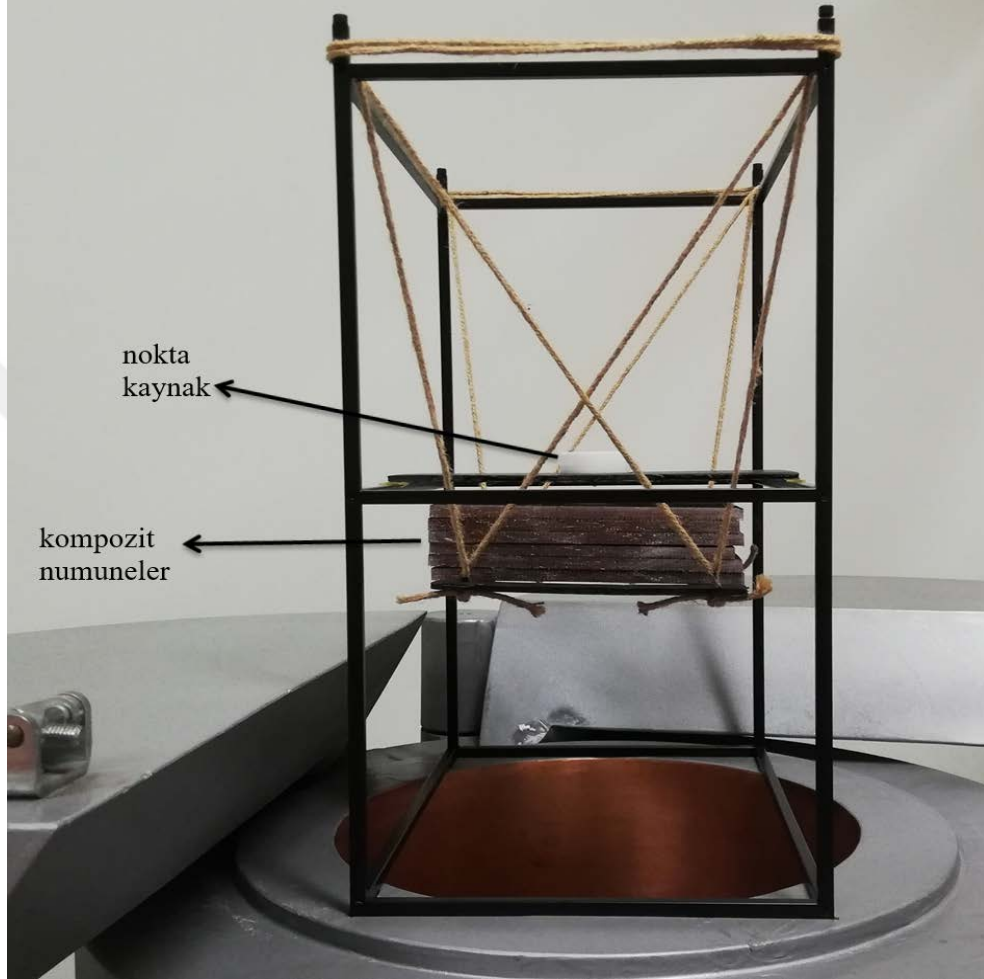
Şekil 2.13 Co-60 nokta kaynağı (Kişisel arşiv, 2019)

Co-60 kaynağının yarı ömürü 5,27 yıl olup aktivite değeri 1 μCi dir. Bu kaynağın yayınladığı gama radyasyon enerji seviyeleri 1173,2 keV ve 1332,5 keV 'dir. Emisyon olasılık değerleri ise 1173,2 keV enerji seviyesi için %99,97 ve 1332,5 keV enerji seviyesi için %99,99'dur. Orijin/referans tarihi Spectrum Techniques/14 Kasım 2011'dir

2.2.5.3 Enerji Spektrum Analizi

Üç farklı tipte kompozit malzeme, kaynak ve dedektör arasına bir düzenek yardımı ile yerleştirilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin ve nokta kaynağın konulması için tasarlanmış olan düzenek Şekil 2.14'de verilmiştir. Bu düzende; kompozit malzemeler ile nokta kaynak arasındaki mesafenin; her ölçümünde 15 mm olması sağlanmıştır; böylece her ölçümde kompozit malzeme ve kaynak arasındaki mesafe eşit tutulmuştur. Farklı enerjilerdeki fotonların koinsidans

sayımları, pile-up etkisi, ölü zaman etkisinden kaçınmak ve dar demet geometrisi elde etmek amacıyla, ^{60}Co kaynağı için gama ışınlarının puls yükseklik spektrumları geniş (25 cm) dedektör-kaynak mesafesinde alınmıştır.

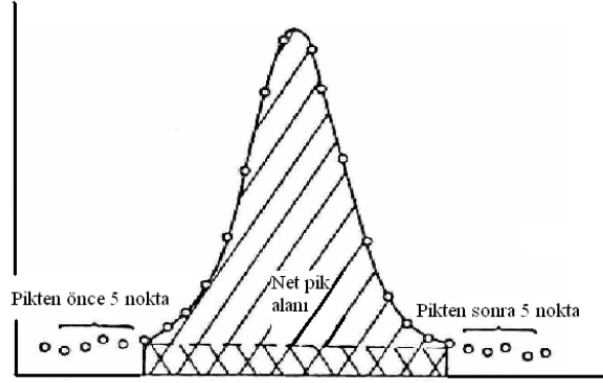


Şekil 2.14 Ölçümler için tasarlanan deneysel düzenek (Kişisel arşiv, 2019)

Sayım süreleri, ilgilenilen pik alanlarındaki istatistiksel belirsizlik %1'den küçük olacak şekilde tutulmuş ve süre 3000 saniye olarak belirlenmiştir. Ölçümler her bir kalınlıktaki kompozit materyaller için üçer kez tekrarlanmıştır. Üç farklı tipteki kompozit malzemeler için; altı farklı kalınlık değeri için ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Gama Spektrum analizlerinde, verileri elde etme amacı ile Maestro-32 çok kanallı analizör yazılım programı kullanılmıştır. Elde edilen spektrumlarda incelenen pik

alanları Maestro programı ile hesaplanmıştır. Alan hesaplamaları, hatayı en aza indirmek için, piklerin sağ ve sol yamaçlarında on kanal ortalamasına eşit background noktaları esas alınarak yapılmıştır. Şekil 2.15 de bir fotopikin net sayımının bulunabilmesi işlemi ifade edilmiştir (Belgin, 2010)



Şekil 2.15 Net pik alanı bulunması (Belgin, 2010)

2.2.5.4 Kompozit Malzemelerin Farklı Gama-Işın Enerjilerine Karşılık Gelen Lineer ve Kütle Atenüasyon Katsayılarının Saptanması

İzotropik bir nokta kaynaktan yayınlanan gama ışınları, materyal içinden geçerken fotoelektrik olay, compton saçılması ve çift oluşumu etkileşimleri ile atenüasyona uğrar. Gama ışın şiddetinin materyal kalınlığına bağlı exponansiyel azalmasını ifade eden matematiksel eşitlik Denklem 2.5’de verilmiştir

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.5)$$

Bu ifadede; I_0 ; orijinal gama ışın şiddeti, I ; x kalınlığındaki malzemeden geçen gama ışın şiddeti μ ; malzemenin lineer atenüasyon katsayısıdır.

Lineer atenüasyon katsayısı, örnek materyalin yoğunluğuna büyük ölçüde bağlıdır. Şöyle ki, fotonlar yoğunluğu yüksek materyaller içinde yol alırlarken, daha fazla ve daha ağır atomlar ile karşılaşmakta ve birim yol başına daha fazla etkileşime girmektedirler. Böylece lineer atenüasyon katsayısı, sıcaklık ve faz durumuna (katı, sıvı ya da gaz) bağlı olarak aynı materyal için farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu

nedenle, Denklem 2.6'da görülen μ_m ile verilmiş bir kütle atenüasyon katsayısı tanımlamak daha uygun olmaktadır.

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.6)$$

Burada ρ materyalin yoğunluğudur. Bu tanım yoğunluktan bağımsızdır ve materyalin sıcaklık veya fazı ne olursa olsun kütle atenüasyon katsayısı aynıdır.

Araştırmada, üretilmiş olan kompozit materyallerin lineer atenüasyon katsayı μ (cm^{-1}) ve kütle atenüasyon katsayıları μ/ρ (cm^2/g), belirli materyal kalınlıklarından geçen gama ışın şiddetlerinin ölçülmesi ile saptanmıştır. Buna göre yukarıda anlatılan deneysel düzenek ve yöntem kullanılarak, belirli gama ışını enerjisindeki kütle atenüasyon katsayıları μ/ρ (cm^2/g) Denklem 2.7 'de verilen eşitlik ile hesaplanmıştır

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{1}{x} \ln \left[\frac{I_0}{I} \right] \quad (2.7)$$

Burada, x kompozit materyalin yüzeyce yoğunluğu (g/cm^2), I_0 ve I dedektörde soğurucu materyal yokken ve varken ilgilenilen enerji piki altındaki sayım sayılarıdır. Testlerde ayrıca background (kompozit malzeme bulunmadan/boş) ölçümleri de gerçekleştirilmiş, ancak ilgilenilen enerji aralığında net sayım alınamadığından ihmal edilmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması kapsamında kompozit malzemelerle yapılan analizler ve testler sonucu elde edilen veriler ile bunların değerlendirmeleri aşağıdaki kısımlarda derlemiştir.

3.1 Kompozit Malzemelerin Lif Hacim Oranları

Üç farklı yapıdaki kompozitler için hesaplanan lif hacim oranları Tablo 3.1’de verilmiştir.

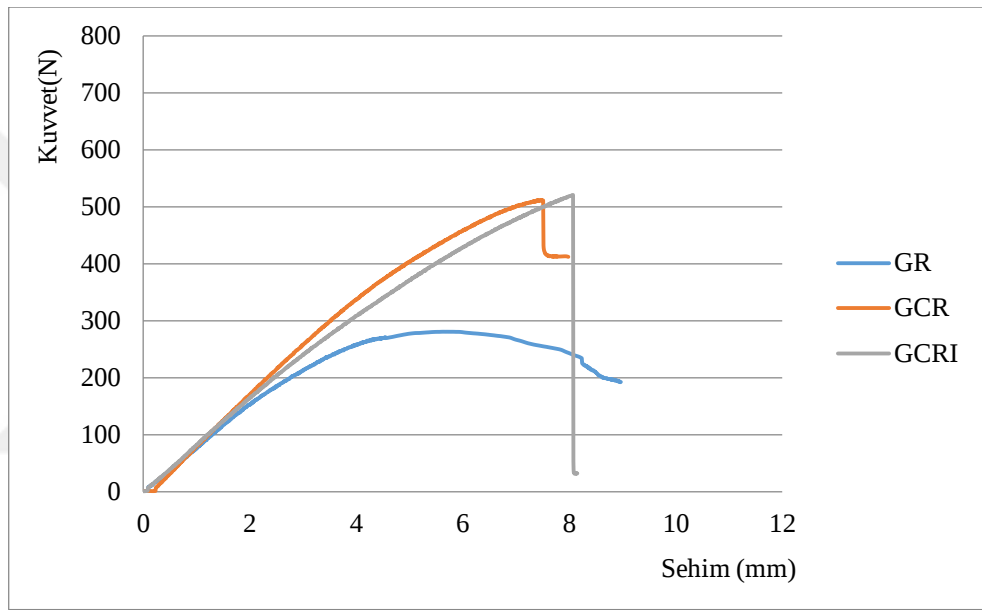
Tablo 3.1 Kompozitlerin lif hacim oranları

Kompozitler	% Lif hacim oranları	Ort. Standart Sapma
GR	% 19,75	1,18
GCR	% 16,89	0,71
GCRI	% 15,92	1

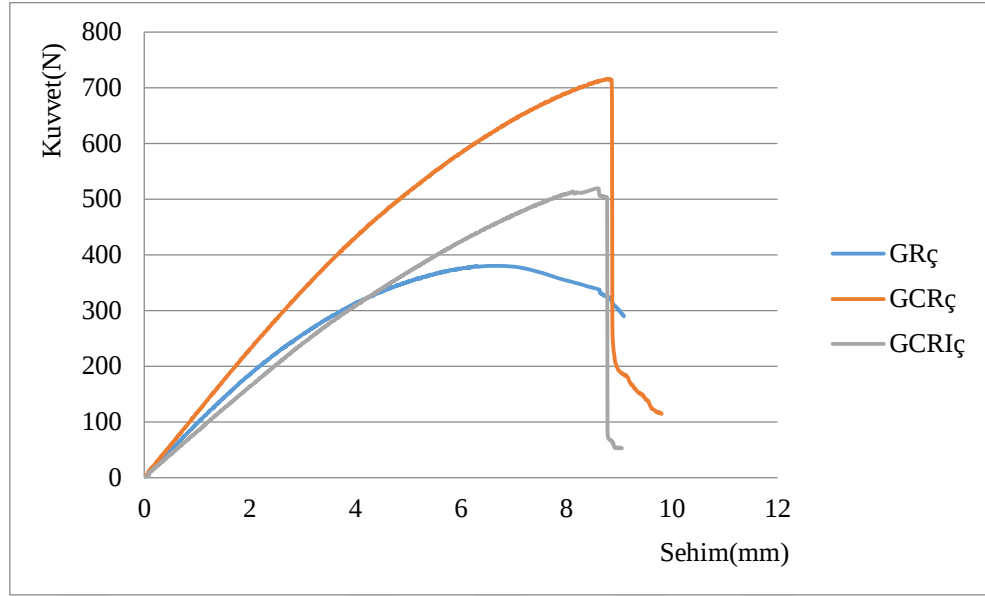
GR, GCR ve GCRI kodlu kompozitler için Tablo 3.1’de belirtilen lif hacim oranları incelendiğinde, GR kodlu kompozitlerin daha yüksek lif hacim oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. GCR ve GCRI kodlu kompozitlerin lif hacim oranları ise birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Sonuçların bu şekilde çıkmasında etken olarak GCR ve GCRI kompozitlerinin içeriğindeki bakır göze çarpmaktadır. Kompozit kalınlıkları göz önüne alındığında (Tablo 2.5) aynı şartlarda vakum infüzyona işlemi uygulanmasına rağmen bakır içeren kompozitlerin kalınlıklarının daha fazla olduğu görülebilmektedir. Ağırlıkça en az takviye malzemesi kullanılmış olan GR kodlu kompozitlerde en yüksek lif hacim oranı elde edilmiştir. Her ne kadar bütün numunelerin kompozit üretimi eşit şartlar altında olsa da hem GR kodlu kompozitlere kıyasla daha fazla takviye malzemesi içermesi hem de metal olması sebebiyle bakır takviye malzemesi içeren kompozitlerin vakum altında daha az sıkıştırılabilir olması sebebiyle lif hacim oranlarında bu farklılıkların oluştuğu düşünülmektedir.

3.2 Eğilme Testi Verileri ve Değerlendirmeler

Üç nokta eğilme testinden elde edilen verilerden, öncelikle kompozit numunelerin 0° (sıra) doğrultusunda ve 90° (çubuk) doğrultusu için kuvvet (N) ve sehim(mm) grafikleri çizilmiştir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiş olan grafiklerde üç farklı yapıda ki malzemelerin davranışları görülmektedir. Kuvvet sehim grafiklerinde sonuçlar, temsili olarak seçilen bir örnek için gösterilmiştir. Ek 1’de gerçekleştirilen tüm testlerin sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.1 Sıra doğrultusu için kuvvet sehim grafiği



Şekil 3.2 Çubuk doğrultusu için kuvvet-sehim grafiği

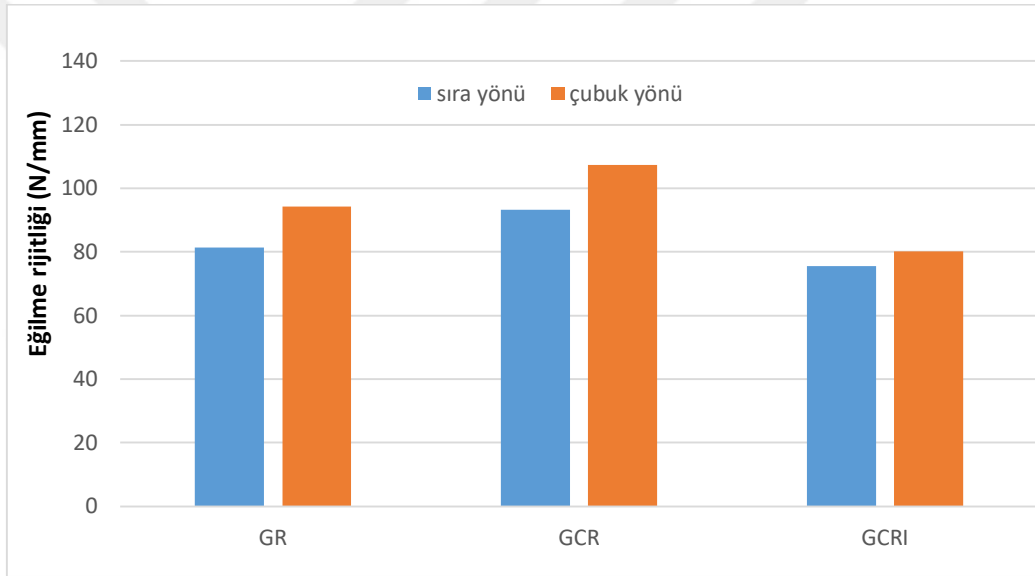
Şekil 3.1'de sıra doğrultusu için verilmiş olan kuvvet sehim grafiği incelendiğinde; GR kodlu kompozitin yalnızca cam elyaf içerdiği ve bu yüzden ayrıca bakır elyaf içeren GCR ve GCRI kompozitlerinden farklı davranış sergilediği görülmektedir. Maksimum eğilme kuvvetleri incelendiğinde ise, GR kodlu kompozitin (281 N) eğilme kuvvet değerinin, GCR ve GCRI kompozitlerine kıyasla (482 ile 509) daha düşük bir değerde olduğu söylenilebilir.

Şekil 3.2'de verilen çubuk doğrultusu için kuvvet-sehim grafiğinde; yine GR kodlu kompozitin yalnızca cam elyaf içerdiği ve bu yüzden bakır elyaf içeren GCR ve GCRI kompozitlerinden farklı davranış sergilediği görülmektedir. Maksimum eğilme kuvvetleri incelendiğinde ise, GR kodlu kompozitin (380 N) eğilme kuvvet değerinin, GCR ve GCRI kompozitlerine kıyasla (703 ile 512 N) daha düşük bir değerde olduğu söylenilebilir.

Lif oryantasyonu açısından; bir karşılaştırma yapılacak olunursa; yatırımlı ribana yapısındaki kompozit numunelerin (GCRI) eğilme kuvvetlerine karşı çubuk ve sıra yönünün birbirine benzer davrandığı görülür Bunun nedeni örme kumaş üretimi esnasında enine yönde yerleştirilmiş olan yatırım iplikleridir; örme kumaşlar çubuk yönünde daha yüksek lif oryantasyonuna sahiptir ve sıra yönünde yapılan yatırım

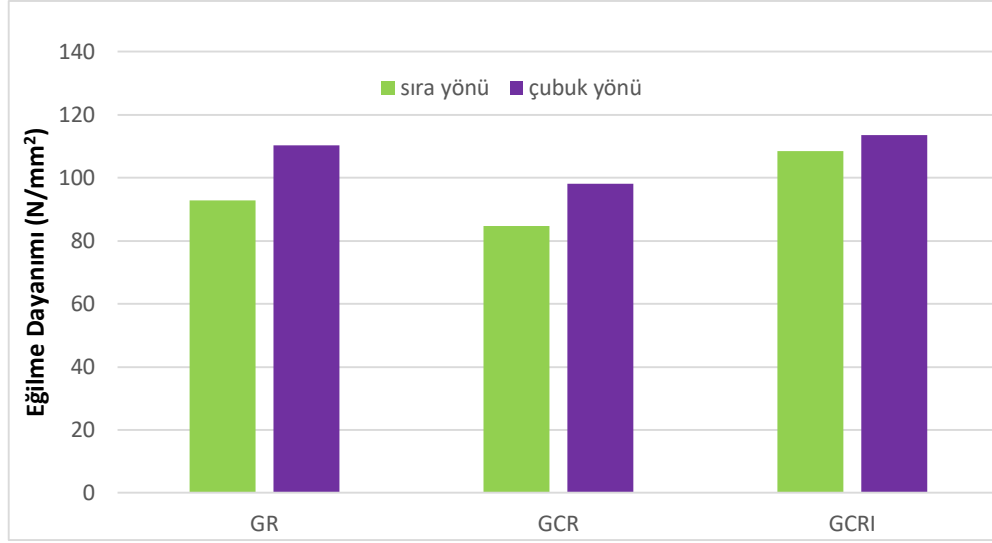
iplikleri ile sıra ve çubuk yönünde lif osyantasyonlarının birbirine yakın değerlere ulaştığı; dolayısıyla da kompozitin sıra ve çubuk doğrultularında eğilme kuvvetine karşı benzer davranışlar sergilediği düşünülmektedir. Ribana yapısında olan GR ve GCR kompozitleri ise çubuk ve sıra doğrultusu için farklı davranışlar sergilemiştir. Sıra ve çubuk yönündeki davranışlar malzemenin izotropik malzeme özelliği göstermesi açısından önemli olduğundan, bu iki yöndeki davranışların bir birbirine benzer olması kullanılacak uygulama alanlarına göre istenilen bir durumdur.

Üç farklı tipteki kompozitler için, sıra ve çubuk yönünde eğilme rijitliği (N/mm) değerleri hesaplanmış ve Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 Kompozitlerin sıra ve çubuk yönleri için eğilme rijitliği değerleri (N/mm)

Eğilme rijitliği değerleri incelendiğinde; çubuk yönü için bu değerlerin daha yüksek çıktığı görülmüştür. Lif oryantasyonu açısından inceleme yapılacak olursa; yatırımlı kumaş yapısı ile ribana yapı göz önüne alındığında yatırımlı yapının (GCRI) çubuk ve sıra yönleri için neredeyse benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Ribana yapıda ise, çubuk ve sıra yönleri için eğilme rijitliği değerleri arasındaki fark daha fazladır.



Şekil 3.4 Kompozitlerin sıra ve çubuk yönleri için eğilme dayanımı değerleri (N/mm²)

Şekil 3.4’de kompozitlerin eğilme dayanımları sıra ve çubuk yönleri için verilmiştir. Bu değerlerde GR ve GCR kodlu ribana yapısında takviye kumaşa sahip kompozitlerin çubuk yönü için dayanımların sıra yönüne göre yüksek olduğu görülmektedir. GCRI kodlu yatırlı ribana yapısında kumaş takviyeli kompozit malzemenin çubuk ve sıra yönleri için birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

3.3 Darbe Testi Verileri ve Değerlendirmeler

GR, GCR ve GCRI kompozitleri için gerçekleştirilen darbe testleri sonucunda elde edilen verilerden kuvvet ve sehim grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımı ile, kompozitlerin 30, 45, 60 ve 75 J arasında değişen darbe enerjilerine karşı gösterdikleri davranışları yorumlamak mümkündür. Darbe testi grafiklerinde sonuçlar yalnızca temsili olarak seçilen örnek için gösterilmiştir. Ek 2’de gerçekleştirilen tüm testlerin sonuçları verilmiştir.

Yük sehim grafiklerini değerlendirirken, malzemelerin darbe ucu ile etkileşimi sırasında ki üç olası durum göz önüne alınmıştır. Bu durumlar; uç sekmesi, saplanma ve delinme durumudur.

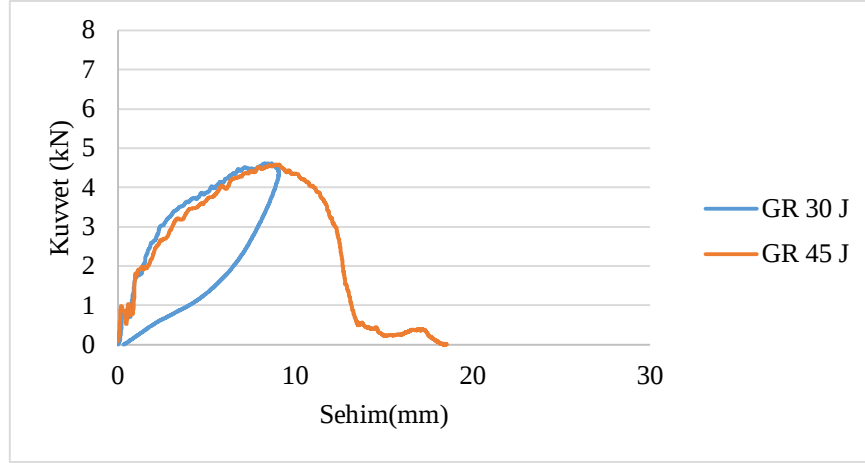
Şekil 3.5’de GR kodlu örnek için 30 ve 45 J darbe enerjilerinde verilmiş olan kuvvet sehim grafiğinde; 30 J enerjide uç sekmesi durumu görülmektedir. Uç sekmesi

durumunda kuvvet sehim grafiğinde oluşan kapalı bir eğri göze çarpmaktadır. Aynı malzeme için 45 J darbe enerjisindeki grafik incelendiğinde ise, delip geçme durumu görülür. Darbe ucunun malzemeyi delip geçmesi; malzemede kalıcı bir hasara yol açmaktadır.

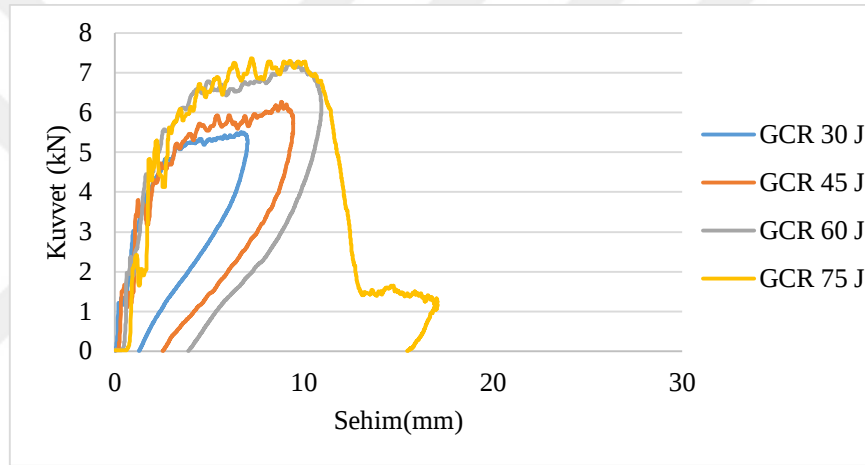
Şekil 3.6’da GCR kodlu örnek için 30, 45, 60 ve 75 J darbe enerjilerinde verilmiş olan kuvvet sehim grafiğinde; 30, 45, ve 60 J enerjilerinde darbe ucunun malzemeye saplanma durumu söz konusudur. Bu durumda malzemede hasar oluşmaktadır ancak delinme gerçekleşmemiştir. 75 J enerjide grafik incelendiğinde; darbe ucunun malzemeyi delip geçmesi durumu görülür. GCR kodlu kompozitlerin GR kompozitlerine kıyasla darbe dayanımları daha yüksek olduğu görülebilmektedir. GR kodlu kompozitler yalnızca cam lifi içeriyorken, GCR kodlu kompozitler cam lifinin yanında bakır liflerini de içermektedir.

Şekil 3.7’de GCRI kodlu örnekler için verilen kuvvet sehim grafiği incelendiğinde, 45 J için saplanma, 60 J için delip geçme durumu olduğu bulunmuştur. 45 ve 60 J darbe enerjisi için GCR kodlu kompozitlerin GCRI kodlu kompozitlere kıyasla daha yüksek darbe dayanımlarına sahip olduğu belirlenmiştir. 60 J enerjide GCR kodlu kompozitler delinmemiş iken GCRI kodlu kompozitler delinmiş ve hasara uğramıştır. Ayrıca GCR ile GCRI kodlu kompozitler için aynı darbe enerjisinde lif oryantasyonu açısından bir karşılaştırma yapmak gerekirse, yatırımlı ribana kumaş yapısının ribana kumaş yapısına göre darbe dayanımları açısından olumlu bir etki yarattığı görülmemiştir.

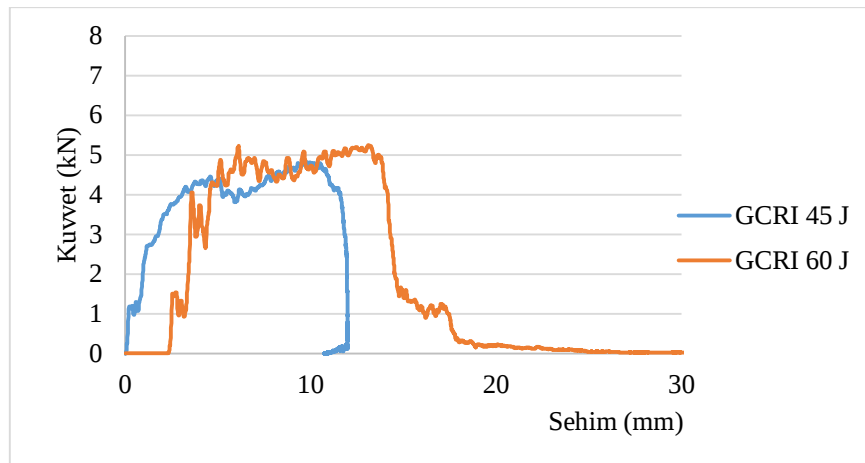
Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10’da ise darbe testi sonrasında kompozitlerin ön (ucun vurduğu yüz) ve arka yüz görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerde grafikler ile yorumlanmış olan uç sekmesi, saplanma ve delip geçme durumları görülmektedir. Kompozitlerde meydana gelmiş olan hasarlar incelendiğinde, hafif hasarlar ile kalıcı hasarlar şekiller yardımı ile görülmektedir.



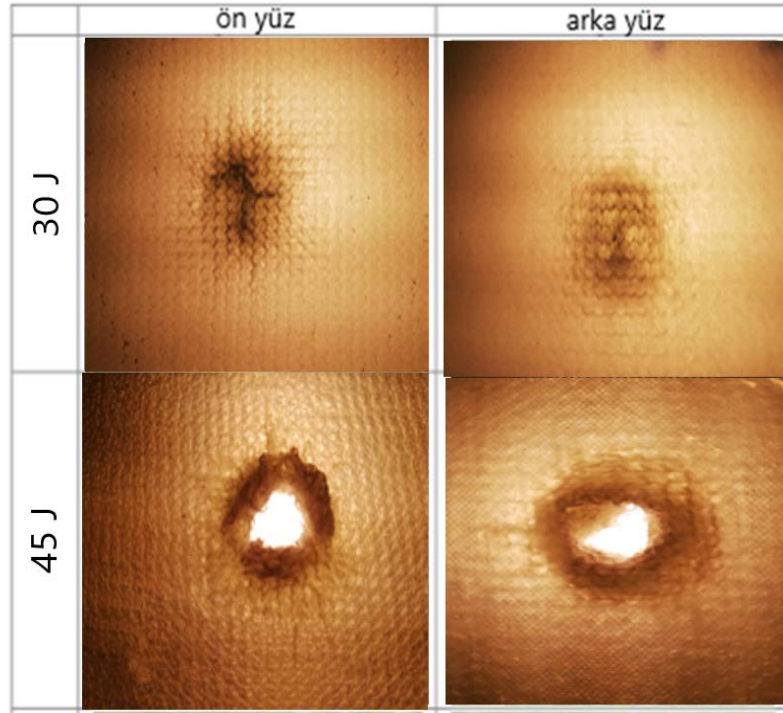
Şekil 3.5 GR kodlu örnekler için kuvvet sehim grafiği



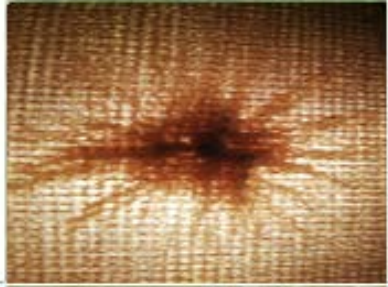
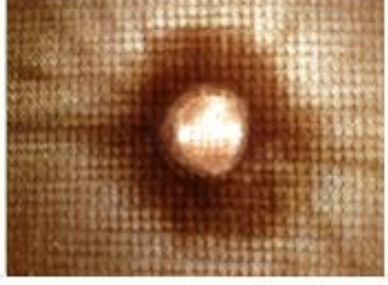
Şekil 3.6 GCR kodlu örnekler için kuvvet sehim grafiği



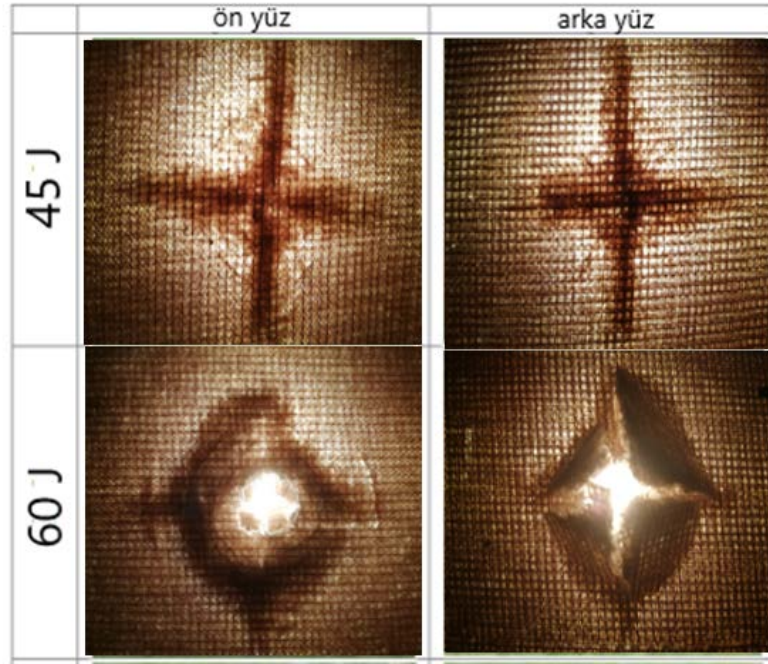
Şekil 3.7 GCRI kodlu örnekler için kuvvet sehim grafiği



Şelik 3.8 Darbeye uğramış GR kodlu örnekler (Kişisel arşiv, 2019)

	ön yüz	arka yüz
30 J		
45 J		
60 J		
75 J		

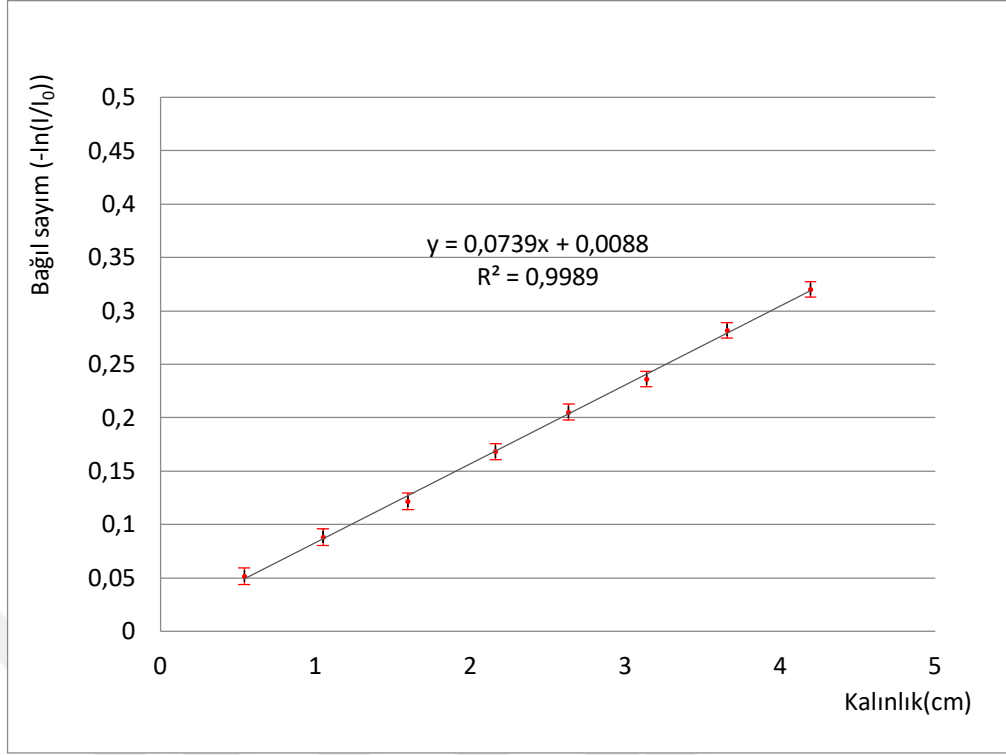
Şekil 3.9 Darbeye uğramış GCR kodlu örnekler (Kişisel arşiv, 2019)



Şekil 3.10 Darbeye uğramış GCRI kodlu örnekler (Kişisel arşiv, 2019)

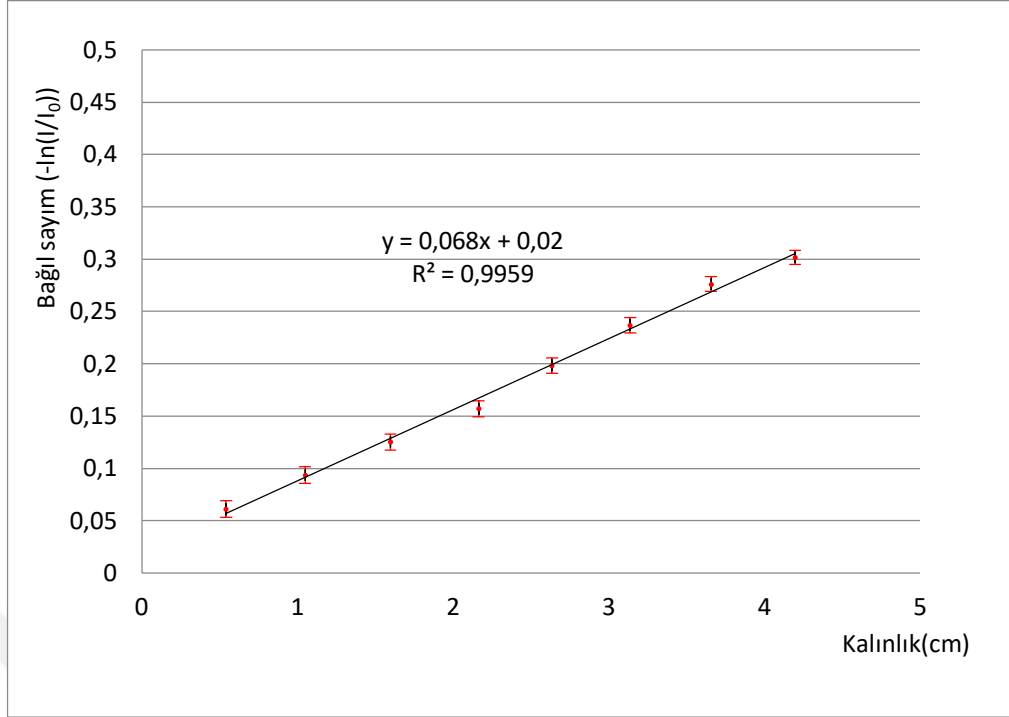
3.4 Gama Radyasyon Düşürme Testi Sonuçları ve Değerlendirmeler

Kalınlık-bağıl sayım grafiği; 1,17 MeV enerji seviyesinde GR kodlu kompozitler için Şekil 3.11’de verilmiştir. GR kodlu numuneler için kalınlık atenüasyon katsayısı değeri 1,17 MeV enerjisinde 0,0739’dur.



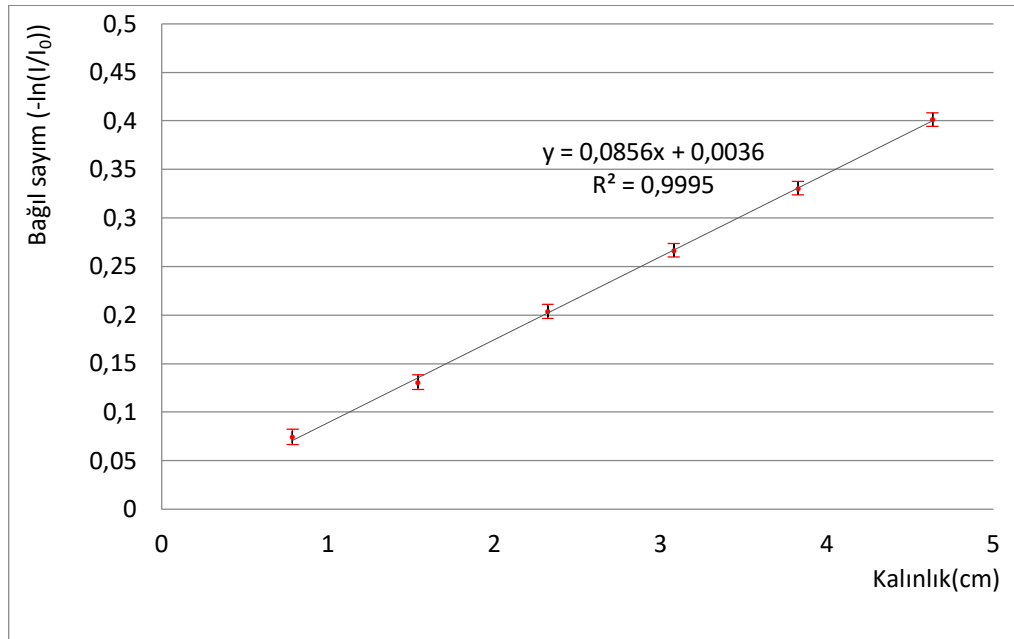
Şekil 3.11 GR kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği

Kalınlık-bağıl sayım grafiği; 1,33 MeV enerji seviyesinde GR kodlu kompozitler için Şekil 3.12’de verilmiştir. GR kodlu kompozitler için kalınlık atenüasyon katsayısı değeri 1,33 MeV enerjisinde 0,068’dir.



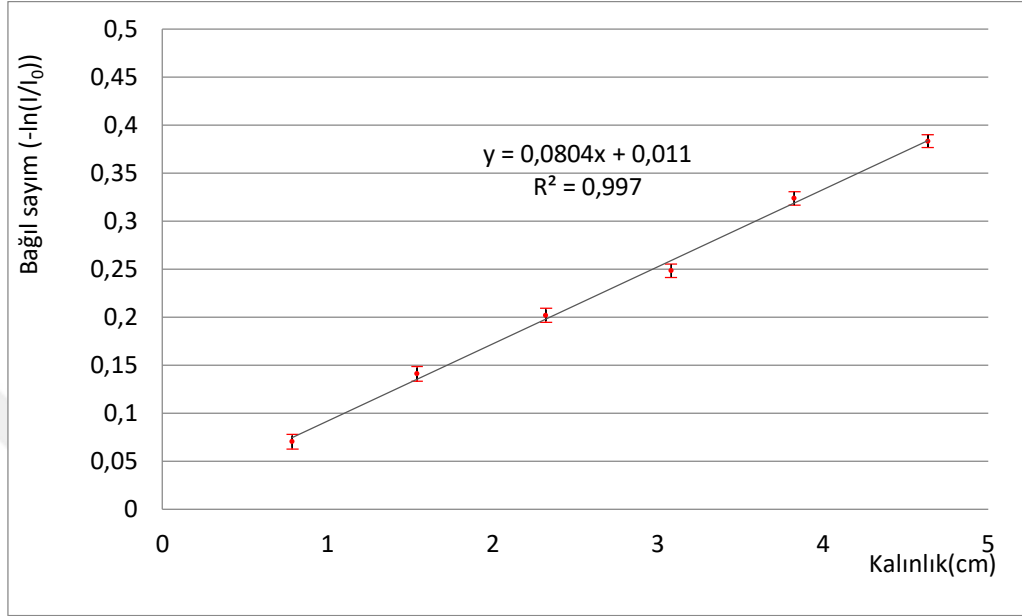
Şekil 3.12 GR kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği

Kalınlık-bağıl sayım grafiği; 1,17 MeV enerji seviyesinde GCR kodlu kompozitler için Şekil 3.13’de verilmiştir. GCR kodlu kompozitler için kalınlık atenüasyon katsayısı değeri 1,17 MeV enerjisiinde 0,0856’dır.



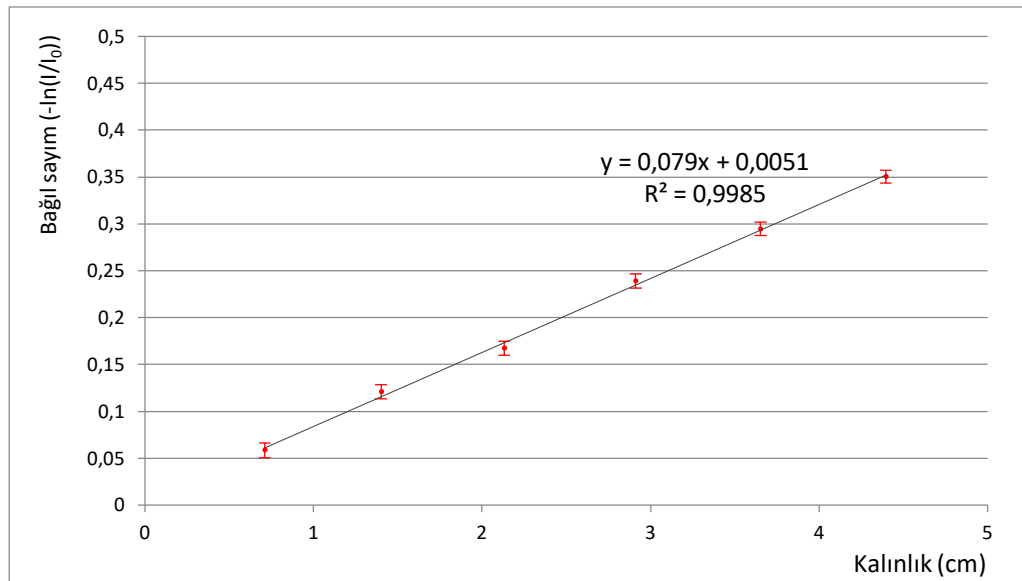
Şekil 3.13 GCR kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği

Kalınlık-bağıl sayım grafiği; 1,33 MeV enerji seviyesinde GCR kodlu kompozitler için Şekil 3.14’de verilmiştir. GCR kodlu kompozitler için kalınlık atenüasyon katsayısı değeri 1,33 MeV enerjisininde 0,0804’dür.



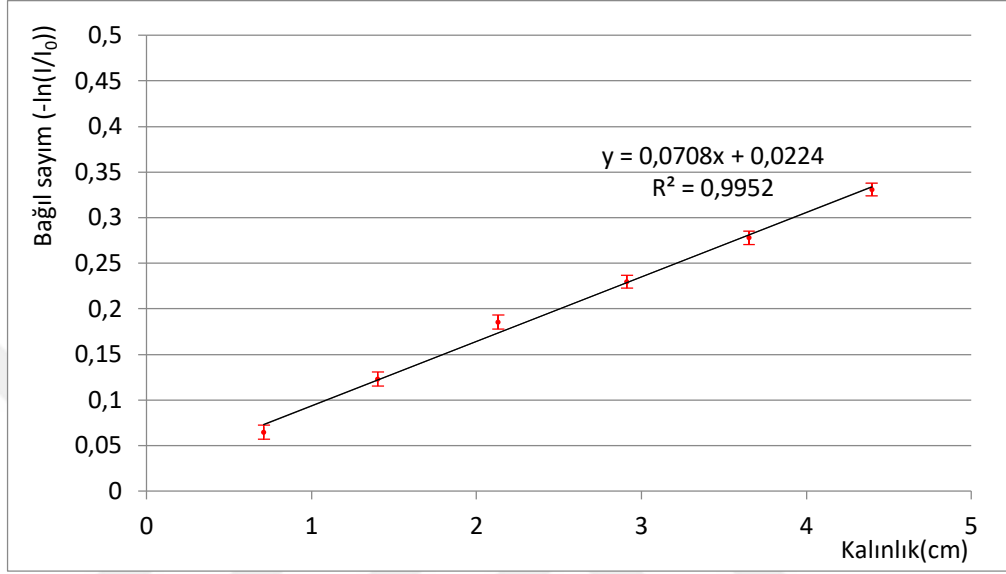
Şekil 3.14 GCR kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği

Kalınlık-bağıl sayım grafiği; 1,17 MeV enerji seviyesinde GCRI kodlu kompozitler için Şekil 3.15’de verilmiştir. GCRI kodlu kompozitler için kalınlık atenüasyon katsayısı değeri 1,17 MeV enerjisininde 0,079’dur.



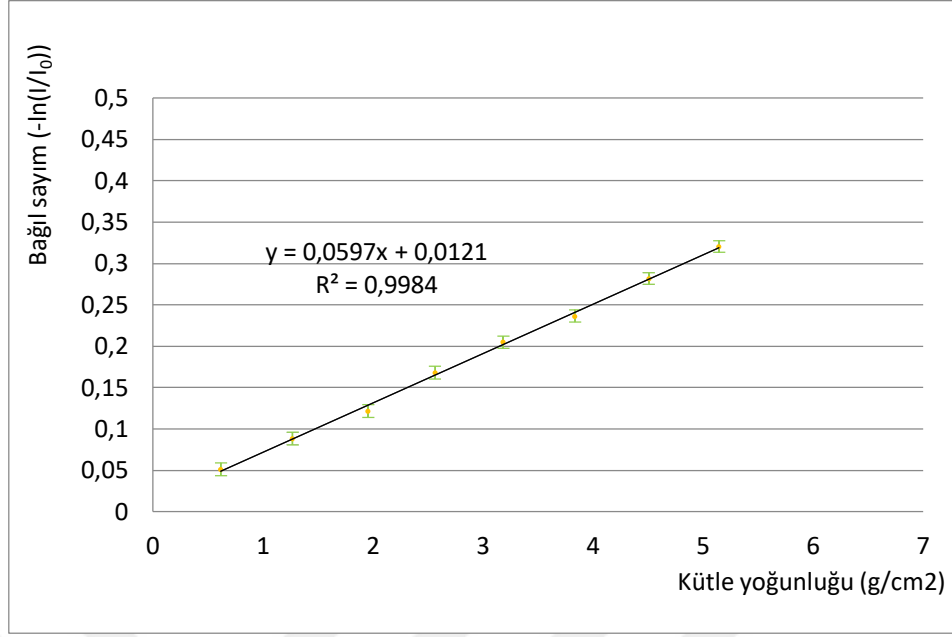
Şekil 3.15 GCRI kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği

Kalınlık-bağıl sayım grafiği; 1,33 MeV enerji seviyesinde GCRI kodlu numuneler için Şekil 3.16'da verilmiştir. GCRI kodlu kompozitler için kalınlık atenuasyon katsayısı değeri 1,33 MeV enerjisinde 0,0708'dir.



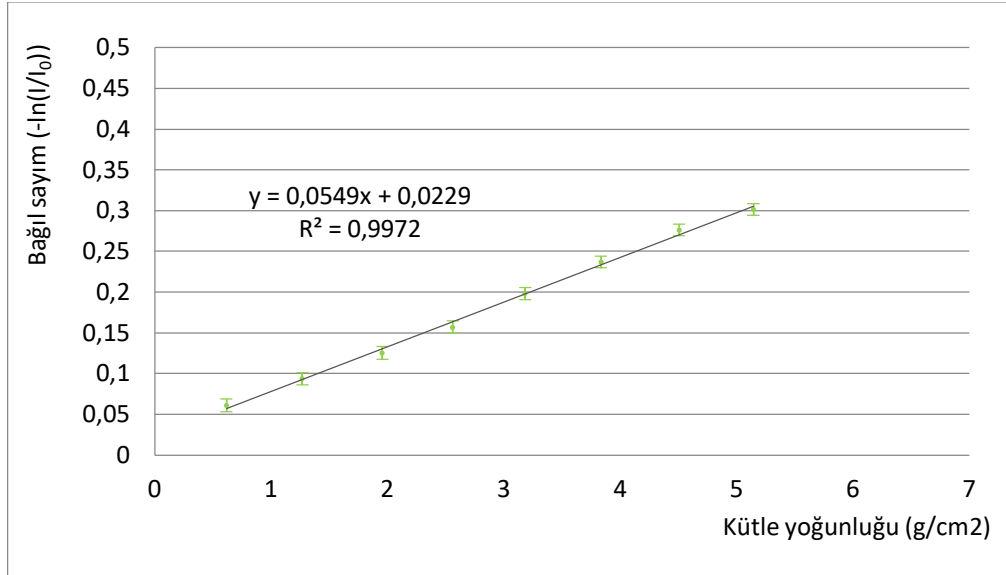
Şekil 3.16 GCRI kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kalınlık bağıl sayım grafiği

Kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği; 1,17 MeV enerji seviyesinde GR kodlu kompozitler için Şekil 3.17'de verilmiştir. GR kodlu kompozitler için kütle atenuasyon katsayısı değeri 1,17 MeV enerjisinde 0,0597'dir.



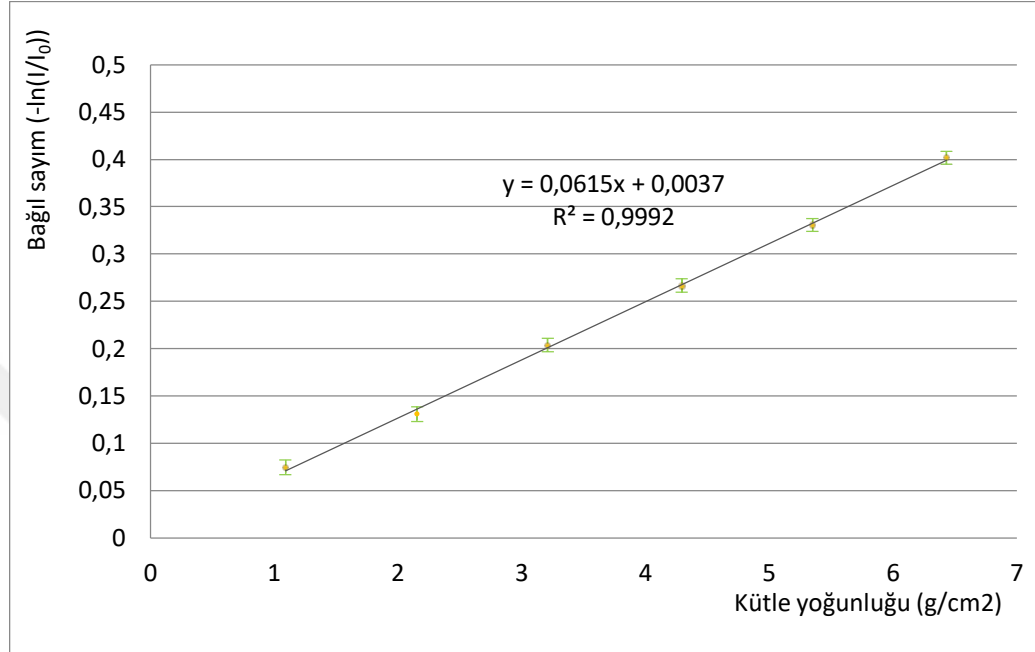
Şekil 3.17 GR kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği

Kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği; 1,33 MeV enerji seviyesinde GR kodlu kompozitler için Şekil 3.18’de verilmiştir GR kodlu kompozitler için kütle atenuasyon katsayısı değeri 1,33 MeV enerjisinde 0,0549’dur.



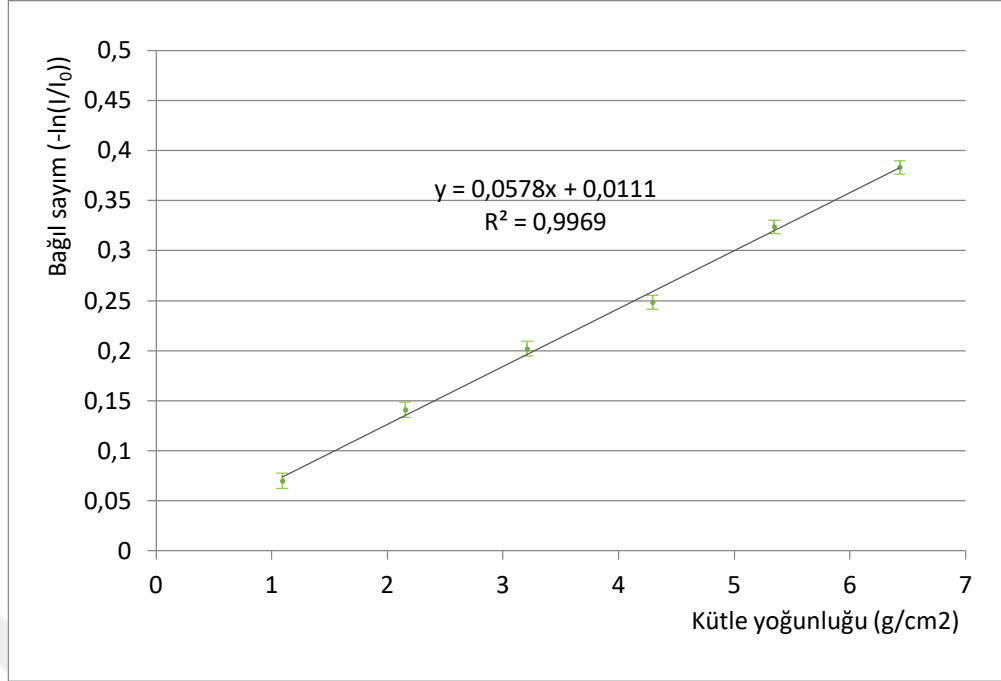
Şekil 3.18 GR kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği

Kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği; 1,17 MeV enerji seviyesinde GCR kodlu kompozitler için Şekil 3.19'da verilmiştir. GCR kodlu kompozitler için kütle atenüasyon katsayısı değeri 1,17 MeV enerjisinde 0,0615'dir.



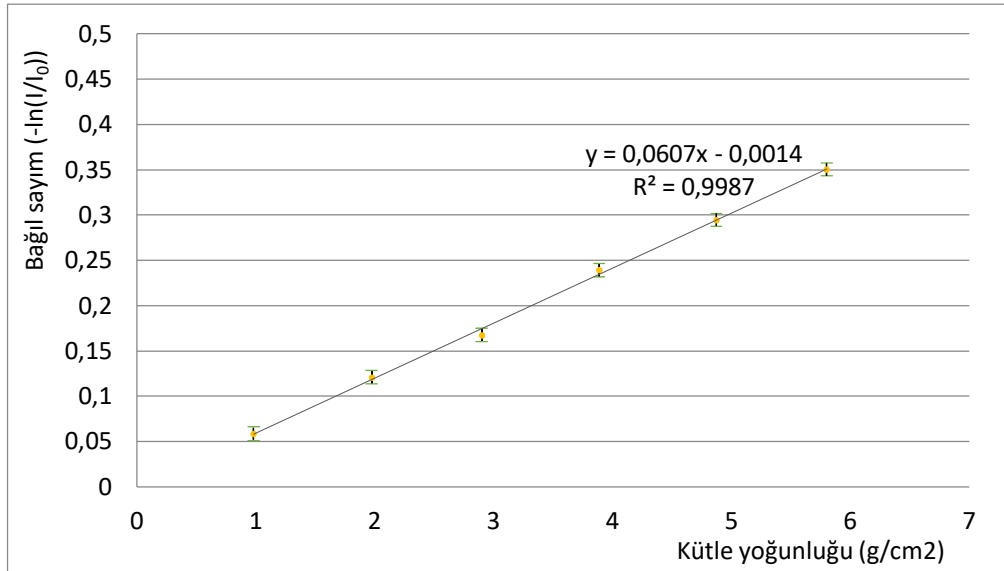
Şekil 3.19 GCR kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği

Kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği; 1,33 MeV enerji seviyesinde GCR kodlu kompozitler için Şekil 3.20'de verilmiştir. GCR kodlu numuneler için kütle atenüasyon katsayısı değeri 1,33 MeV enerjisinde 0,0578'dir.



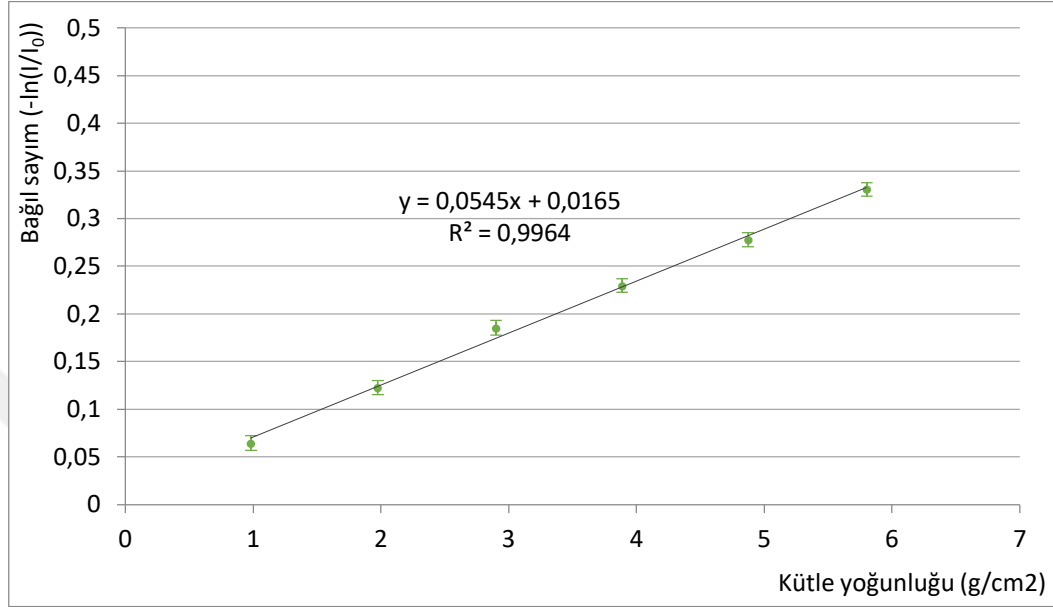
Şekil 3.20 GCR kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği

Kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği; 1,17 MeV enerji seviyesinde GCRI kodlu kompozitler için Şekil 3.21’de verilmiştir. GCRI kodlu kompozitler için kütle atenuasyon katsayısı değeri 1,17 MeV enerjisinde 0,0607’dir.



Şekil 3.21 GCRI kodlu kompozitler için 1,17 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği

Kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği; 1,33 MeV enerji seviyesinde GCRI kodlu kompozitler için Şekil 3.22’de verilmiştir. GCRI kodlu kompozitler için kütle atenüasyon katsayısı değeri 1,33 MeV enerjisinde 0,0545’dir.



Şekil 3.22 GCRI kodlu kompozitler için 1,33 MeV enerji seviyesinde kütle yoğunluğu-bağıl sayım grafiği

Üç farklı yapıdaki kompozitlerin koruma performansları incelendiğinde; 1,17 MeV ve 1,33 MeV enerji seviyeleri için GCR kodlu kompozit için lineer ve kütle atenüasyon katsayısı değerleri en yüksek yani gama ışınlarının atenüasyonu açısından en yüksek performansı göstermiştir.

Gelen radyasyonun yarı değerine düşürülebilen malzeme kalınlığı “yarı değer kalınlığı” (YDK) olarak tanımlanmaktadır. Malzemelerin yarı değer kalınlığı Denklem 3.1 ile hesaplanabilmektedir

$$L_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3.1)$$

Burada $L_{1/2}$ ile YDK ve μ ile atenüasyon katsayısı ifade edilmektedir. Kompozitler için YDK değerleri; sıra ile GR için 9,90 cm, GCR için 8,66 cm ve GCRI için 9,90 cm’dir. Bu durumda GCR kodlu kompozit YDK değeri açısından

daha iyi sonuç vermiştir; gama radyasyonu atenuasyon performansı daha yüksek olup daha düşük bir kalınlık değerinde bu performansı sağlayabilmektedir.

Lineer ve kütle atenuasyon katsayı değerleri malzemelere özgüdür ve bu değerlerin yüksek olması; o malzemelerin radyasyondan koruma performanslarının yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Tablo 3.2’de enerji kaynağı olarak ^{60}Co kullanarak daha önce yapılmış olan bazı çalışmalardan örnekler bulunmaktadır ve bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile bir karşılaştırma yapılacak olunursa; bu tez kapsamında bulunan atenuasyon katsayı değerleri ile benzer ya da daha düşük sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Karşılaştırma yapılırken; kullanılmış olan malzemeler farklılık gösterse de kütle atenuasyon katsayı değerleri karşılaştırma yapmak için uygun olmaktadır.

Tablo 3.2 Yapılmış bazı çalışmalarda elde edilen atenuasyon verileri

Çalışmalar	Kullanılan Materyaller	Lineer atenuasyon katsayı değerleri (cm^{-1})		Kütle atenuasyon katsayı değerleri($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	
		1,17 MeV	1,33 MeV	1,17 MeV	1,33 MeV
Mahmoud ve diğer.	PE + PbO nano partikül (%10 wt)	0,074	0,068	0,070	0,065
Yu ve diğer.	Epoksi + WO_3 nano partikül(35 g)	0,0824358	0,0880559	0,0359	0,0383

Bu tez kapsamında elde edilen kompozit malzemeler için hesaplanan YDK değerlerini değerlendirmek amacıyla; Tablo 3.3 verilmiştir. Kurşun çok ağır bir malzeme olduğu için YDK değeri düşüktür. Tablo 3.3’de belirtildiği gibi kurşun için YDK değerleri yaklaşık 1 cm iken, kompozit malzemeler de bu değer artmıştır.

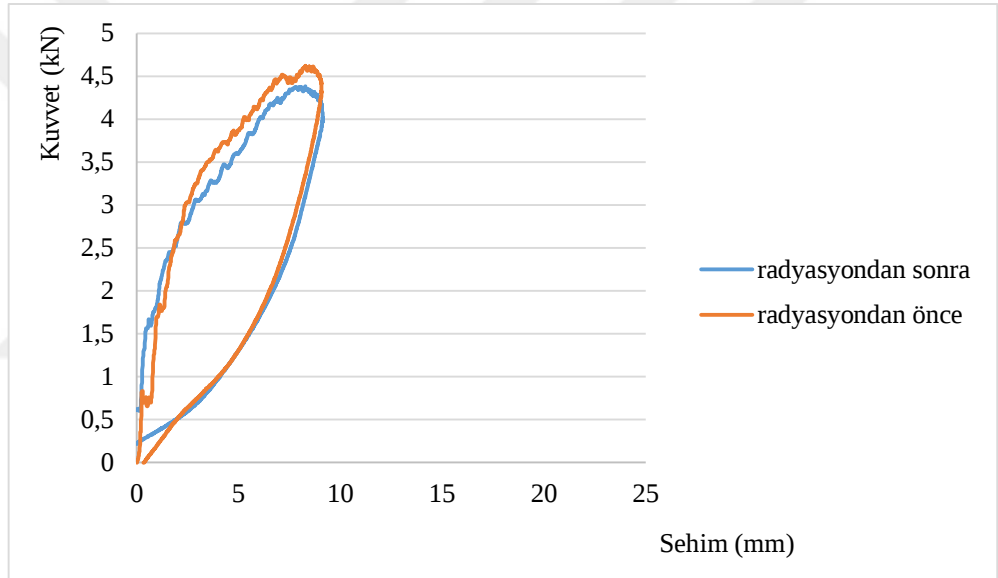
Tablo 3.3 Farklı materyaller için YDK değerleri

Daha önce yapılan çalışma	Materyal	YDK değeri	Kaynak
Harish, Nagaiah, Prabhu ve Varughese (2009)	(% 0, 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 ağırlık oranlarında) PbO+ izoftalat	6 ile 12 cm aralığında	Cs-137 (0,662 MeV)
Harish, Nagaiah, Prabhu ve Varughese (2009)	Kurşun	0,57 cm	Cs-137(0,662 MeV)
Bircan,Manisa.Atan ve Erdoğan (2017)	Kurşun	0,98 cm	Co-60 (1.17 MeV)
Bircan,Manisa.Atan ve Erdoğan (2017)	Kurşun	1,08 cm	Co-60 (1.33 MeV)

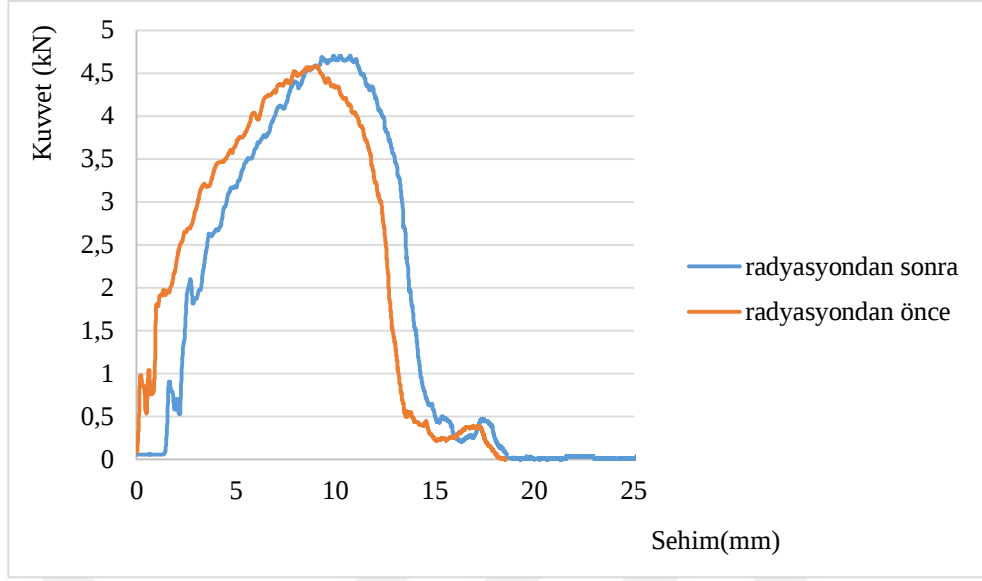
3.5 Gama Radyasyon Düşürme Testi Sonrası Darbe Testi Sonuçları

GR kodlu kompozitler için, darbe testleri, gama radyasyonuna maruz bırakıldıktan sonra da gerçekleştirilmiştir. Bu sayede kompozitlerin mekanik özelliklerinin radyasyona maruz kaldıktan sonra değişip değişmediği hakkında yorum yapılabilir.

Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'de 30 ve 45 J için GR kodlu örneklerin kuvvet sehim grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden; iyonize radyasyonun kompozitlerin darbe yükleri karşısında davranışlarını değiştirmedeği yorumu yapılabilir.



Şekil 3.23 GR kodlu örnekler için 30 J enerjide radyasyon öncesi ve sonrası kuvvet sehim grafiği



Şekil 3.24 GR kodlu örnekler için 45 Jenerjide radyasyon öncesi ve sonrası kuvvet sehim grafiği

BÖLÜM DÖRT

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tezi çalışması kapsamında, farklı hammaddelerden üretilmiş olan üç tipte kompozit malzemenin gama radyasyonuna karşı performansları ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında cam ve bakır liflerinden yararlanılarak ribana ve yatırımlı ribana olmak üzere iki farklı yapıda örme kumaşlar üretilmiş, üretilen örme kumaşlar takviye malzemesi olarak kullanılarak kompozit malzeme elde edilmiştir.

Örme kumaş takviyeli kompozit malzemeler gama kaynağı (^{60}Co) kullanılarak 1,17 ve 1,33 MeV enerji seviyesindeki gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Koruma performansı değerlendirme amacı ile; kompozitlerin lineer atenüasyon ve kütle atenüasyon katsayı değerleri ile yarı değer kalınlık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarda kompozitlerden gama radyasyonuna karşı en iyi koruma ribana yapısında cam filament ve bakır filament kullanılarak üretilmiş örme takviye kumaşların 0/90/0/90 diziliminde sırasıyla yerleştirilerek elde edildiği sandviç yapıdaki kompozit ile elde edilmiştir. Bakır filament kullanımı ile radyasyon atenüasyon performansı iyileşmiştir. Kullanılan takviye kumaş yapıları açısından sıra doğrultusunda her ne kadar yatırım ipliği yerleştirilerek bu doğrultuda lif oryantasyonu artırılmış olsa da radyasyon atenüasyon performansına bir katkıda bulunmamıştır. Örme kumaş üretimi göz önüne alındığında, yatırımlı yapıda kumaş üretiminin yavaş olması ve bazı makinalarda modifikasyona ihtiyaç duyulması sebebiyle ribana kumaş yapısının tercih edilmesi önerilmektedir.

Örme kumaş takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri değerlendirildiğinde darbe ve eğilme testleri performansları açısından ribana yapısında cam filament ve bakır filament kullanılarak üretilmiş örme takviye kumaşların 0/90/0/90 diziliminde sırasıyla yerleştirilerek elde edildiği sandviç yapıdaki kompozitlerin performansları daha yüksek bulunmuştur. Kullanılan takviye kumaş yapıları açısından sıra doğrultusunda yatırım içeren kumaş takviyeleri ile her ne kadar bu doğrultularda lif

oryantasyonunu arttırılsa da darbe ve eğilme performanslarına bir katkı sağlanmamıştır. Dolayısıyla ribana örme yapısının tercih edilmesi önerilir.

İyonlaştırıcı radyasyonun mekanik özellikler üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu incelemek için, ribana yapısında sadece cam filament kullanılarak üretilmiş kumaş takviyeli kompozitlerin radyasyona maruz kalmadan önce ve radyasyona maruz kaldıktan sonra darbe testleri uygulanmıştır; gama radyasyonunun darbe performansı üzerinde bir etki yarattığı görülmemiştir.

Bu çalışmada gama performansını arttırıcı özellik göstermesi bakımından örme kumaş parametrelerinin ve yapısının değiştirilerek bakır lif hacim oranının arttırılması ve bakır kullanımı yanında yüksek atom numarasına sahip metal toz kullanımı önerisi yapmak mümkündür. Bu kapsamda tungsten gibi yüksek yoğunluğa sahip tozlar kompozit malzeme üretiminde kumaş takviye yapısına ek olarak kullanılabilir. Sonuçta hem takviye kumaşlı hem toz katkılı bir malzeme üretimi gerçekleştirilerek daha yüksek bir koruma performansı sağlanılabilir.

KAYNAKLAR

- Afshar, M., Morshedien, J., ve Ahmadi, S. (2019). Radiation attenuation capability and flow characteristics of HDPE composite loaded with W, MoS₂, and B₄C. *Polymer Composites*, 40(1), 149-158.
- Akkaş, C. (2011). *Oksitli bakır cevherlerinden bakır kazamımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Alpyıldız, T. (2010). *Tekstil kompozitleri üzerine bazı çalışmalar*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Aral, N., Nergis , F. B., ve Candan, C. (2016). An alternative x-ray shielding material based on coated textiles. *Textile Research Journal*, 86(8), 803-811.
- ASTM D7136M. (2015). Standard test method for measuring the damage resistance of a fiber-reinforced polymer matrix composite to a drop-weight impact event. ASTM, International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D7264M. (2015). Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials. ASTM, International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 8007. (2019). Standard test method for wale and course count of weft knitted fabric. ASTM, International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D1059. (2015) Standard test method for yarn number based on short-length specimens. ASTM, International, West Conshohocken, PA.
- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency*, (bt). 8 Ekim 2018, <https://www.arpsa.gov.au/>.
- Azman , N. Z., Siddiqui, S. A., Hart , R., ve Low, I. M. (2013a). Effect of particle size, filler loadings and x-ray tube voltage on the transmitted x-ray transmission in tungsten oxide—epoxy composites. *Applied Radiation and Isotopes*, 71(1), 62-67.

- Azman, N. Z., Siddiqui, S. A., ve Low, I. M. (2013). Characterisation of micro-sized and nano-sized tungsten oxide-epoxycomposites for radiation shielding of diagnostic x-rays. *Materials Science and Engineering C*, 33(8), 4952-4957.
- Azman, N. Z., Siddiqui, S. A., Hart, R., ve Low, I. M. (2013b). Microstructural design of lead oxide–epoxy composites for radiation shielding purposes. *Journal of Applied Polymer Science*, 128(5), 3213-3219.
- Belgin E. E. (2010). *Monte Carlo simülasyonu kullanarak kuyu tipi HPGe dedektörde yarı-ampirik verim kalibrasyonu eşitliğinin elde edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Muğla.
- Beyzadeoğlu, M., Özyığıt, G., ve Ebruli, C. (2010). *Basic radiation oncology*. Berlin: Springer.
- Bircan,H.,Manisa,K.,Atan,S.A. ve Erdoğan.M. (2017). Gama ve x ışını radyasyonu yarı değer kalınlık değerinin hesaplanması için yeni bir denklem. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, 12(1), 23-29.
- Chang , L., Zhang, Y., Liu, Y., Fang, J., Luan, W., Yang, X., ve Zhang, W. (2015). Preparation and characterization of tungsten/epoxy composites for gamma rays radiation shielding. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 356, 88-93.
- Cherry, S. R., Sorenson, J. A., ve Phelps, M. E. (2012). *Physics in nuclear medicine*. Çin: Elsevier.
- Çeken, F. (2008). *Örmecilik esasları*, (2. Baskı), İzmir: D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.
- Dong, M., Xue, X., Yang, H., Liu, D., Wang, C., ve Li, Z. (2016). A novel comprehensive utilization of vanadium slag: As gamma ray shielding material. *Journal of Hazardous Materials*, 318, 751-757.

- Erol, A., Pocan, I., Yanbay, E., Ersöz, O. A., ve Lambrecht, F. Y. (2016). Radiation shielding of polymer composite materials with wolfram carbide and boron carbide. *Radiation Protection and Environment*, 39(1), 3-6.
- Gavrish, V. M., Baranov, G. A., Chayka, T. V., Derbasova, N. M., Lvov, A. V., ve Matsuk, Y. M. (2016). Tungsten nanoparticles influence on radiation protection properties of polymers. *Materials Science and Engineering*, 110(1), 012028.
- Gong , P., Ni , M., Chai, H., Chen , F., ve Tang, X. (2018). Preparation and characteristics of a flexible neutron and gamma-ray shielding and radiation-resistant material reinforced by benzophenone. *Nuclear Engineering and Technology*, 50(3), 470-477.
- Gupta, T. K. (2013). *Radiation ionization and dedection in nuclear medicine*. USA: Springer.
- Günther , K., Giebing, C., Askani, A., Leisegang, T., Krieg, M., Kyosev, Y., ve Mahltig, B. (2015). Cellulose/inorganic-composite fibers for producing textile fabrics of high X-ray absorption properties. *Materials Chemistry and Physics*, 167, 125-135.
- Harish , V., Nagaiah, N., Prabhu, T. N., ve Varughese, K. T. (2009). Preparation and characterization of lead monoxide filled unsaturated polyester based polymer composites for gamma radiation shielding applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 112(3), 1503-1508.
- Hashemi, S. A., Mousavi, S. M., Faghihi, R., Arjmand, M., Sina, S., ve Amani, A. M. (2018). Lead oxide-decorated graphene oxide/epoxy composite towards X-ray radiation shielding. *Radiation Physics and Chemistry*, 146, 77-85.
- Hosseini, S. H., ve Soltanabadi, Z. (2016). Investigation of X-ray shielding properties of Au nano-composite-based polyaniline. *Materials Research Innovations* , 20(4), 300-306.

- Huang, W., Yang, W., Ma, Q., Wu, J., Fan, J., ve Zhang, K. (2016). Preparation and characterization of c-ray radiation shielding PbWO₄/EPDM composite. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 309(3), 1097-1103.
- International Agency for Research on Cancer (2010). *Ionizing Radiation, Part 1: X- and Gamma (γ)-Radiation, and Neutrons*. Fransa: World Health Organization
- International Agency for Research on Cancer . (2013). *Non Ionizing Radiation, Part 2:Radiofrequency Electromagnetic Fields*. Fransa: World Health Organization.
- Jones, R. M. (1999). *Mechanics of composite materials*. ABD: Taylor & Francis.
- Kaloshkin, S. D., Tcherdyntsev, V. V., Gorshenkov, M. V., Gulbin, V. N., ve Kuznetsov , S. A. (2012). Radiation-protective polymer-matrix nanostructured composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 536, S522–S526.
- Kelkar , A. D., Tian , Q., Yu , D., ve Zhang, L. (2016). Boron nitride nanoparticle enhanced prepregs: a novel route for manufacturing aerospace structural composite laminate. *Materials Chemistry and Physics*, 176, 136-142.
- Li , R., Gu, Y., Zhang, G., Yang, Z., Li, M., ve Zhang, Z. (2017). Radiation shielding property of structural polymer composite:Continuous basalt fiber reinforced epoxy matrix composite containing erbium oxide. *Composites Science and Technology*, 143, 67-74.
- Li, R., Gu, Y., Yang, Z., Li, M., Hou, Y., ve Zhang, Z. (2017). Gamma ray shielding property, shielding mechanism and predicting model of continuous basalt fiber reinforced polymer matrix composite containing functional filler. *Materials and Design*, 124, 121-130.
- Maghrabi, H. A., Vijayan , A., Deb, P., ve Wang, L. (2016). Bismuth oxide-coated fabrics for X- ray shielding. *Textile Research Journal*, 86(6), 649-658.
- Mahltig, B., Günther, K., Askani, A., Bohnet, F., Brinkert, N., Kyosev, Y., Weide, T., Krieg,M. Ve Leisegang, T. (2017). X-ray-protective organic/inorganic fiber –

- along the textile chain from fiber production to clothing application. *The Journal of The Textile Institute*, 108(11), 1975-1984.
- Mahmoud, M. E., El-Khatib, A. M., Badawi, M. S., Rashad, A. R., El-Sharkawy, R. M., ve Thabet, A. A. (2018). Fabrication, characterization and gamma rays shielding properties of nano and micro lead oxide-dispersed-high density polyethylene composites. *Radiation Physics and Chemistry*, 145, 160-173.
- Malekie , S., ve Hajiloo, N. (2017). Comparative study of micro and nano size WO₃/E44 epoxy composite as gamma radiation shielding using MCNP and experiment. *Chinese Physics Letters*, 34(10), 108102.
- Maqbool , M. (Ed.). (2018). *An introduction to medical physics*. USA: Springer.
- Mazumdar, S. K. (2002). *Composites manufacturing, materials, product and process engineering*. USA: CRC Press.
- McCaffrey, J. P., Shen, H., Downton, B., ve Mainegra-Hing, E. (2007). Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments. *Medical Physics*, 34(2), 530-537.
- Medjahed, A., Derradji, M., Zegaoui, A., Wu, R., Li, B., Wang, Y., Hou, L., Zhang, J. ve Zhang, M. (2018). Fabrication process, tensile, and gamma rays shielding properties of newly developed fiber metal laminates based on an Al–Li alloy and carbon fibers-tungsten carbide nanoparticles reinforced phthalonitrile resin composite. *Advanced Engineering Materials*, 22(1), 1800779.
- Mesbahi, A., ve Ghiasi, H. (2018). Shielding properties of the ordinary concrete loaded with micro- and nano-particles against neutron and gamma radiations. *Applied Radiation and Isotopes*, 136, 27-31.
- Mirzaei, M., Zarrebini, M., Shirani, A., Shanbeh, M., ve Borhani, S. (2019). X-ray shielding by a novel garment woven with melt-spun monofilament weft yarn containing lead and tin particles. *Textile Research Journal*. 89(1), 63-75.

- Morton, W. E. Ve Hearle, J.W.S. (1993) *Physical properties of textile fibres*, (3. Baskı), UK: The Textile Institute.
- Nambiar , S., Osei, E. K., ve Yeow, J. T. (2013). Polymer nano composite-based shielding against diagnostic x-rays. *Journal of Applied Polymer Science*, 127(6), 4939-4946.
- Özdemir, H., ve Camgöz, B. (2018). Gamma radiation shielding effectiveness of cellular woven fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 47(5), 712–726.
- Pulford , S., ve Fergusson, M. (2016). A textile platform for non-lead radiation shielding apparel. *The Journal of The Textile Institute*, 107(12), 1610-1616.
- Qu, L., Tian, M., Zhang, X., Guo, X., Zhu, S., Han, G., ve Li, C. (2015). Barium sulfate/regenerated cellulose composite fiber with x-ray radiation resistance. *Journal of Industrial Textiles*, 45(3), 352–367
- Sambhudevan, S., Shankar, B., Saritha, A., Joseph, K., Philip, J., ve Saravanan, T. (2017). Development of X-ray protective garments from rare earth-modified natural rubber composites. *Journal of Elastomers & Plastics*, 49(6), 527–544.
- Sherer, M. A., Visconti, P., Ritenour, E. R., ve Haynes, K. (2017). *Radiation protection in medical radiography* .(8.Baskı). Canada: Elsevier.
- Singh, D., ve Singh, N. (2017). Radiation protection: a review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 89-94.
- Soylu, H. M., Lambrecht, F. Y., ve Ersöz, O. A. (2015). Gamma radiation shielding efficiency of a new lead-free composite material. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* , 305(2), 529–534.
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. (2009). *Radyasyon, insan ve çevre*. Ankara.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). *Sources and effects of ionizing radiation*. New York. 4 Şubat 2018,

https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Report_Vol.I.pdf.

Wang, P., Tang, X., Chai, H., Chen, D., ve Qiu, Y. (2015). Design, fabrication, and properties of a continuous carbon-fiber reinforced Sm₂O₃/polyimide gamma ray/neutron shielding material. *Fusion Engineering and Design*, 101, 218-225.

Wood, A. M., ve Karipidis, K. (2017). *Non ionizing radiation protection summary of research and policy options*. USA: Wiley.

World Health Organization. (2016). *Communicating radiation risks in paediatric imaging*. Switzerland: World Health Organization.

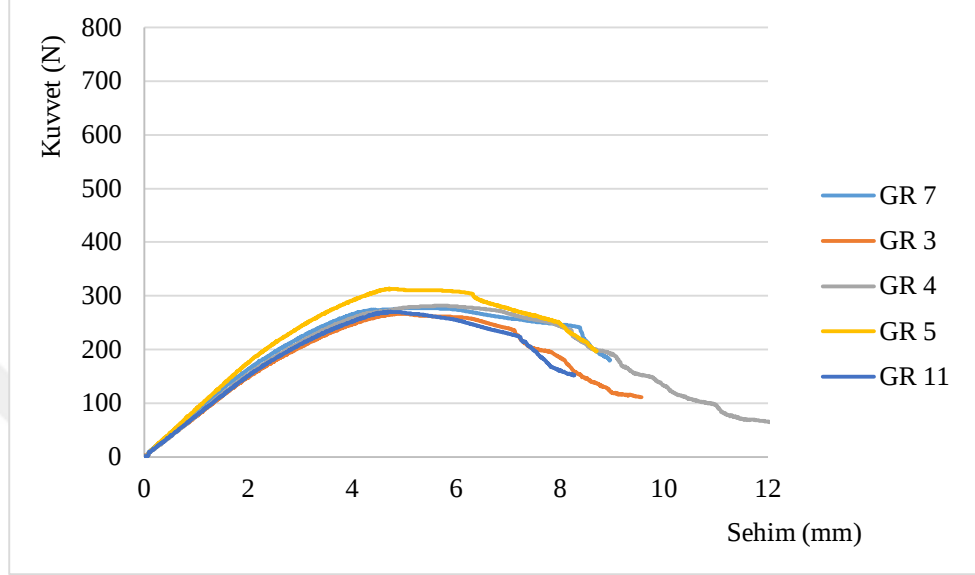
Wozniak, A. I., Ivanov, V. S., Zhdanovich, O. A., Nazarov, V. I., ve Yegorov, A. S. (2017). Modern approaches to polymer materials protecting from ionizing radiation. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(5), 2148-2163.

Yu , D., Shu-Quan, C., Hong-Xu, Z., Chao, R., Bin, K., Ming-Zhu, D., ve Yao-Dong, D. (2012). Effects of wo₃ particle size in wo₃/epoxy resin radiation shielding material. *Chinese Phycs Letters* , 29(10), 108-102.

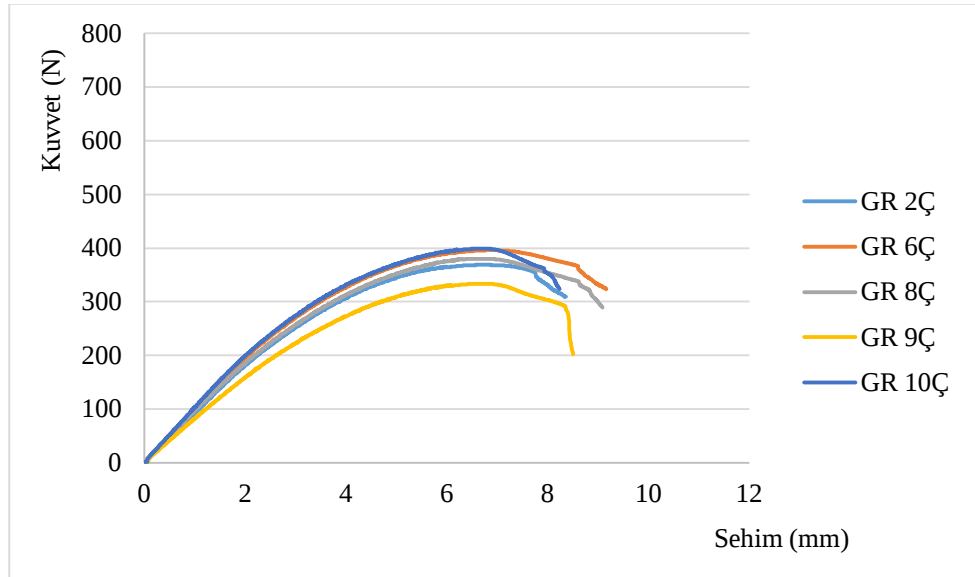
Yue, K., Luo, W., Dong, X., Wang, C., Wu, G., Jiang, M., ve Zha, Y. (2009). A new lead-free radiation shielding material for radiotherapy. *Radiation Protection Dosimetry*, 133(4), 256-260.

EKLER

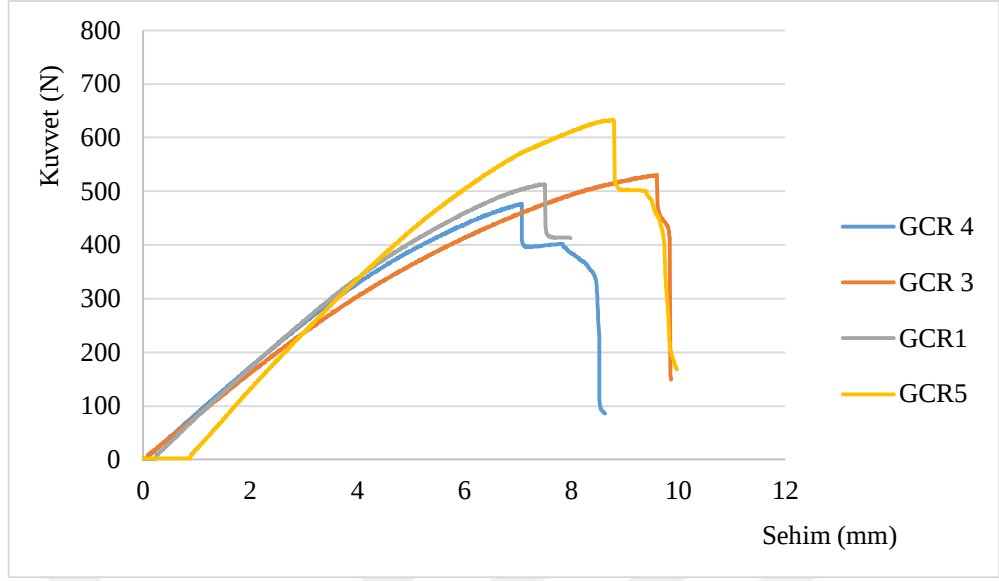
EK 1: Eğilme Testi Sonuçları



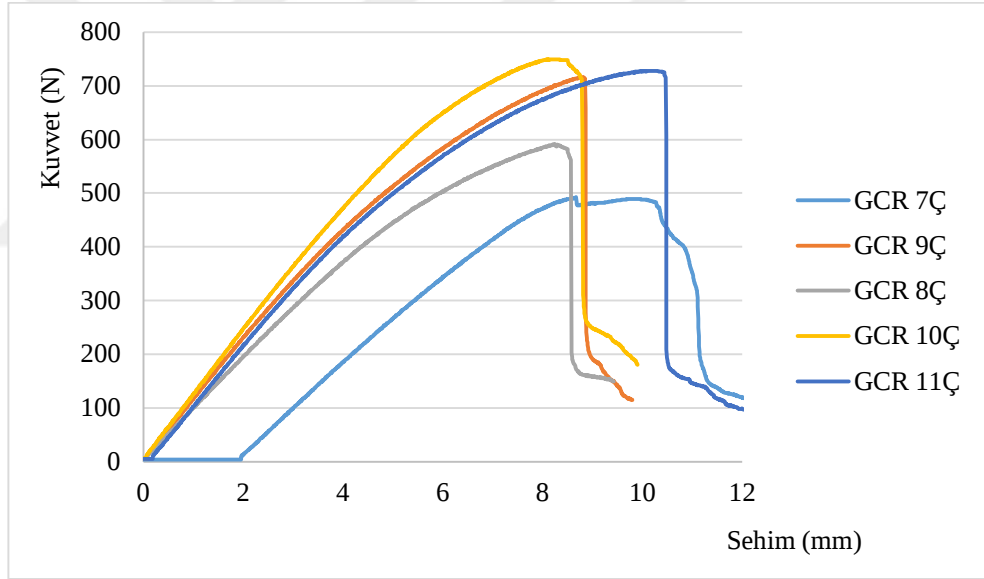
Şekil A. 1 GR kodlu örneklerin sıra doğrultusu için kuvvet sehim grafiği



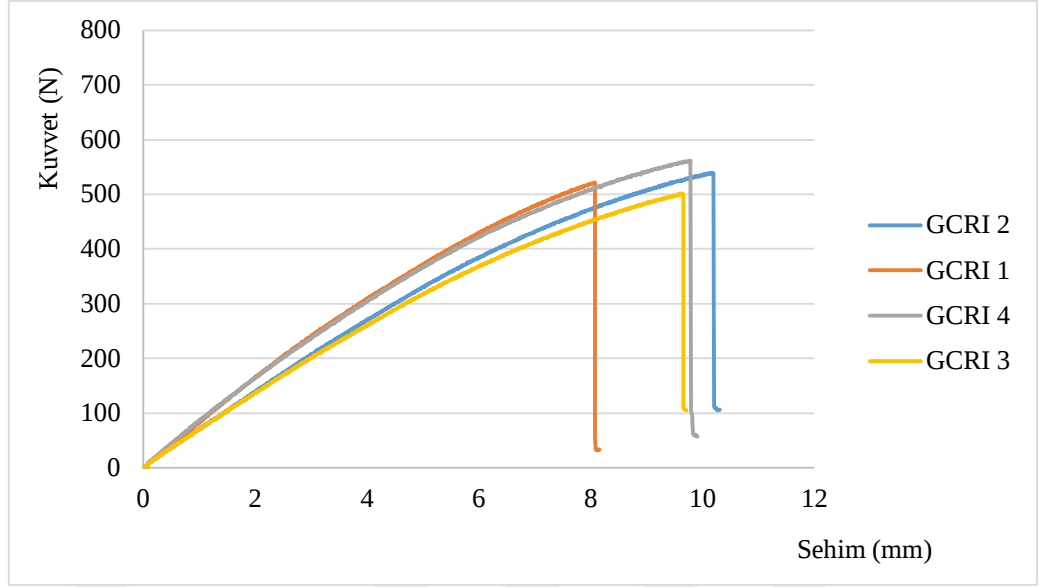
Şekil A. 2 GR kodlu örneklerin çubuk doğrultusu için kuvvet sehim grafiği



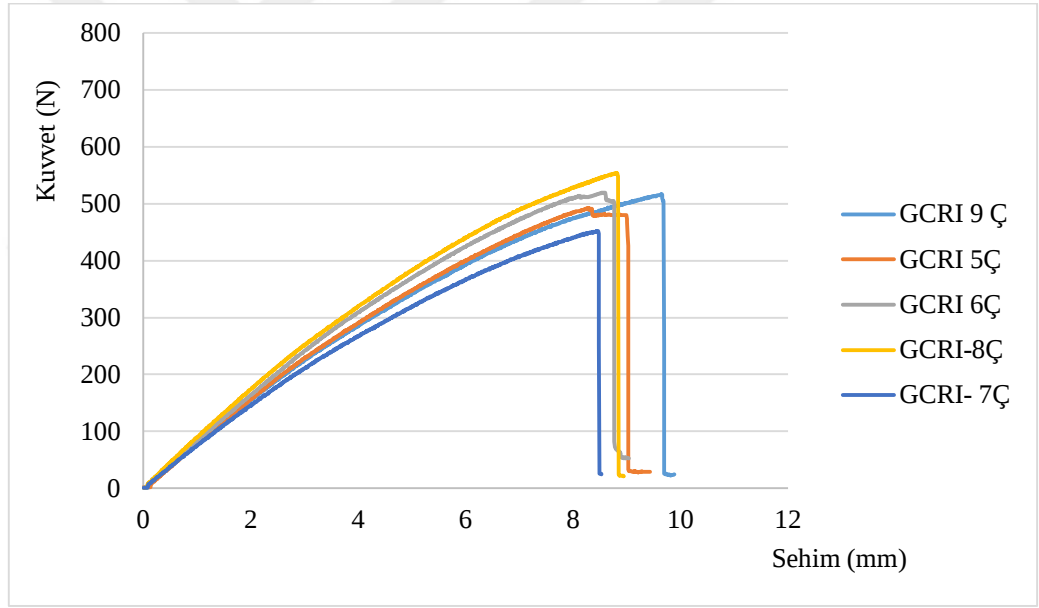
Şekil A. 3 GCR kodlu örneklerin sıra doğrultusu için kuvvet sehim grafiği



Şekil A. 4 GCR kodlu örneklerin çubuk doğrultusu için kuvvet sehim grafiği

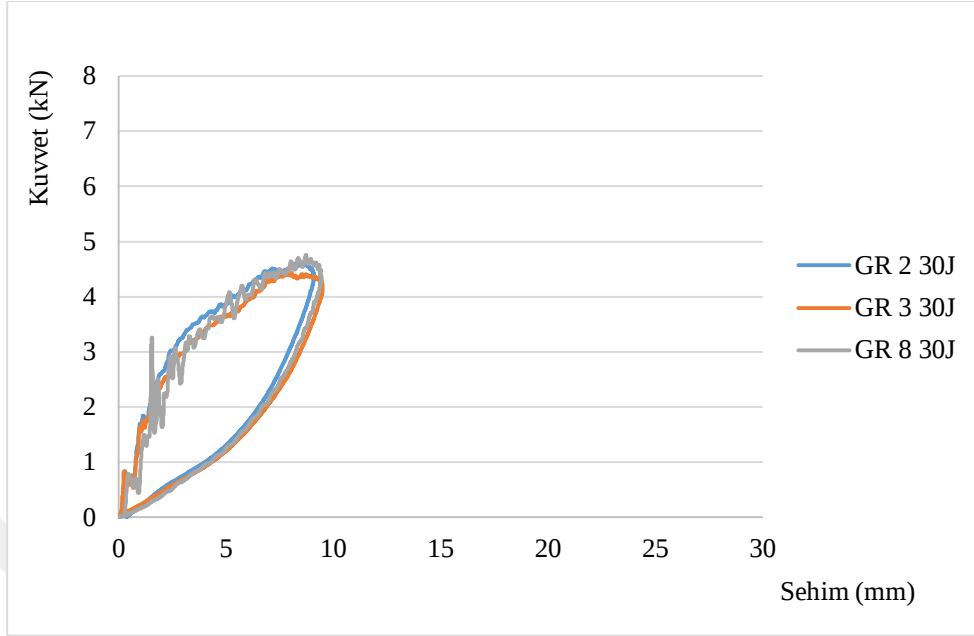


Şekil A. 5 GCRI kodlu örneklerin sıra doğrultusu için kuvvet sehim grafiği

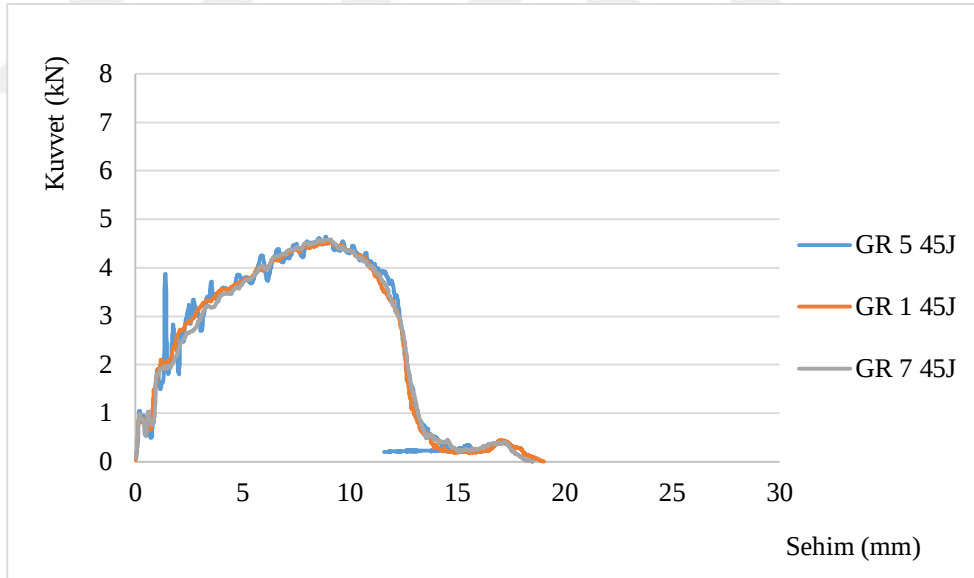


Şekil A. 6 GCRI kodlu örneklerin çubuk doğrultusu için kuvvet sehim grafiği

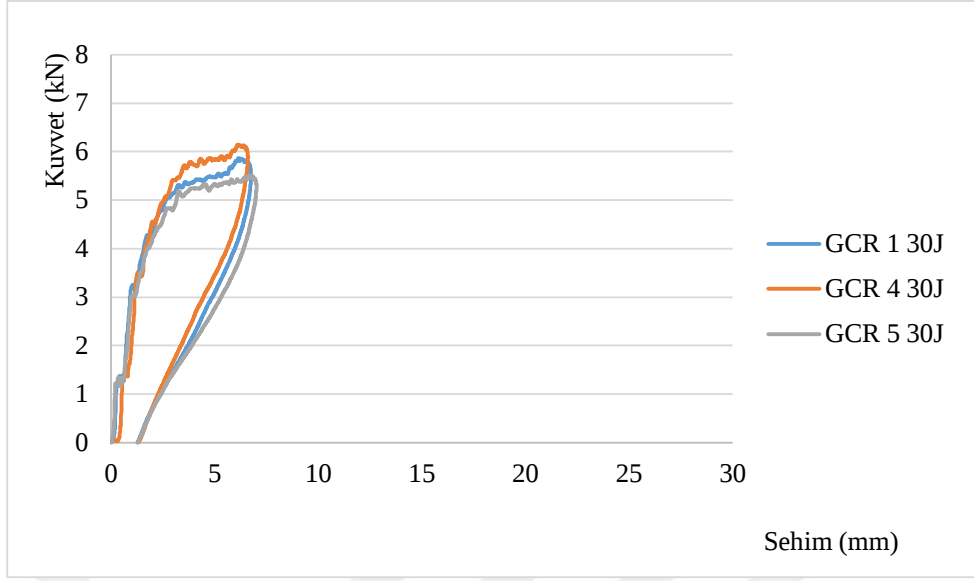
EK 2: Darbe Testi Sonuçları



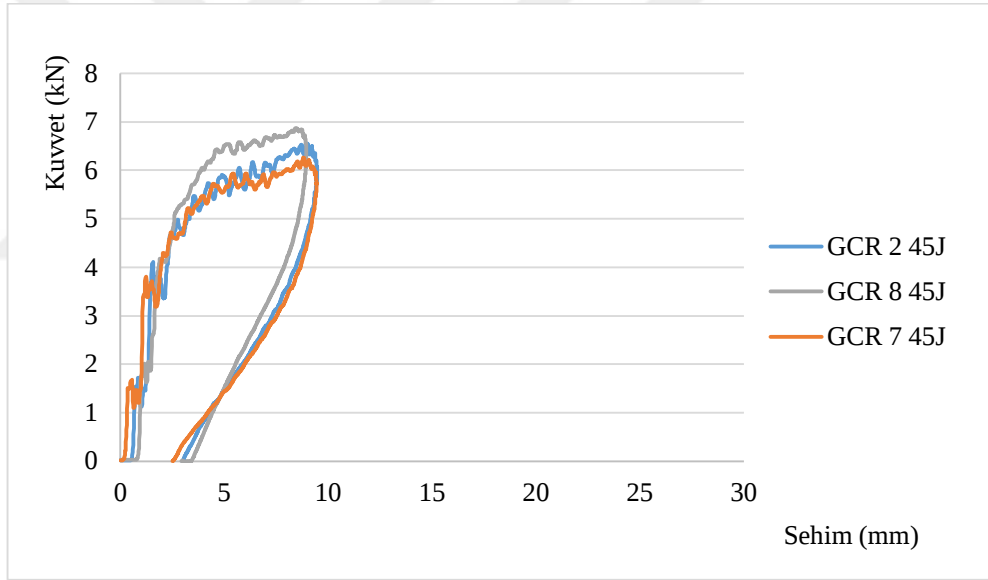
Şekil A. 7 GR kodlu örneklerin 30 J için kuvvet sehim grafiği



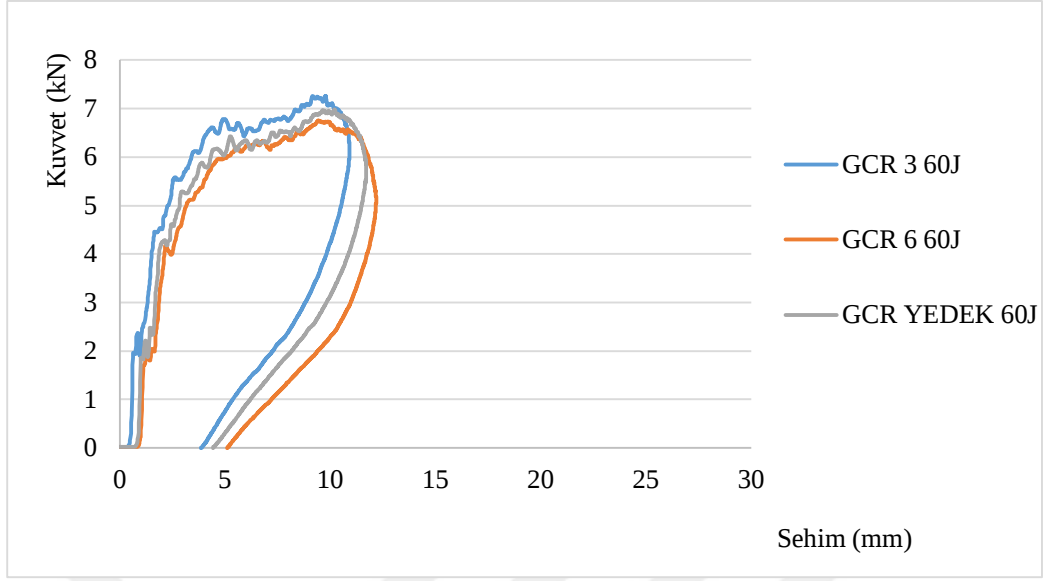
Şekil A. 8 GR kodlu örneklerin 45 J için kuvvet sehim grafiği



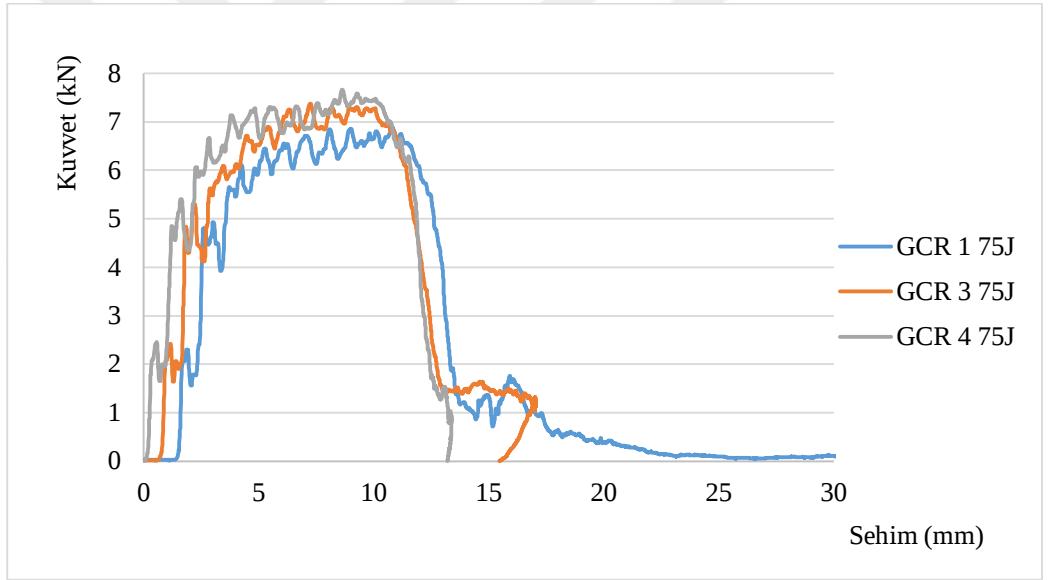
Şekil A. 9 GCR kodlu örneklerin 30 J için kuvvet sehim grafiği



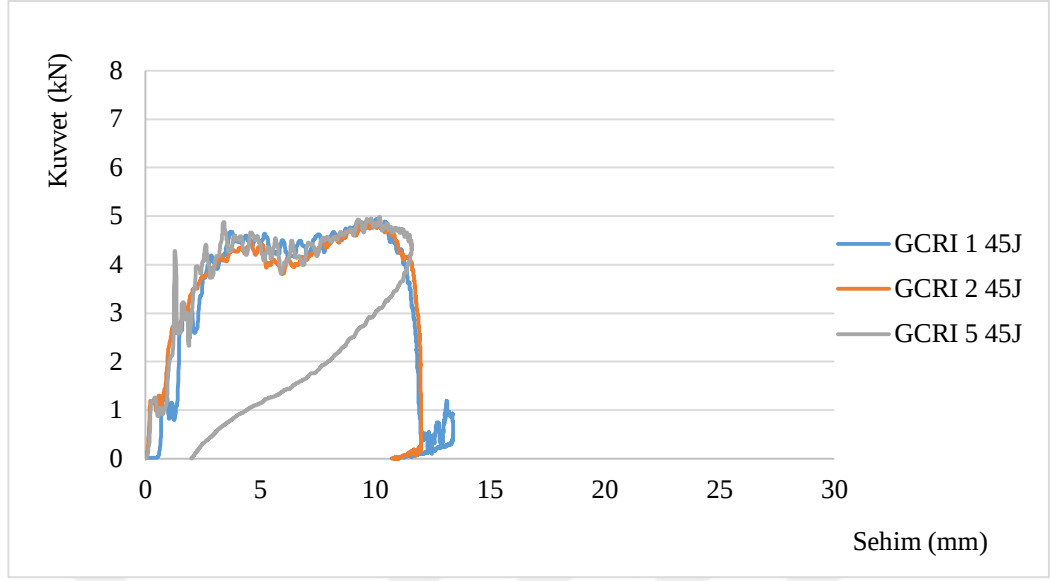
Şekil A. 10 GCR kodlu örneklerin 45 J için kuvvet sehim grafiği



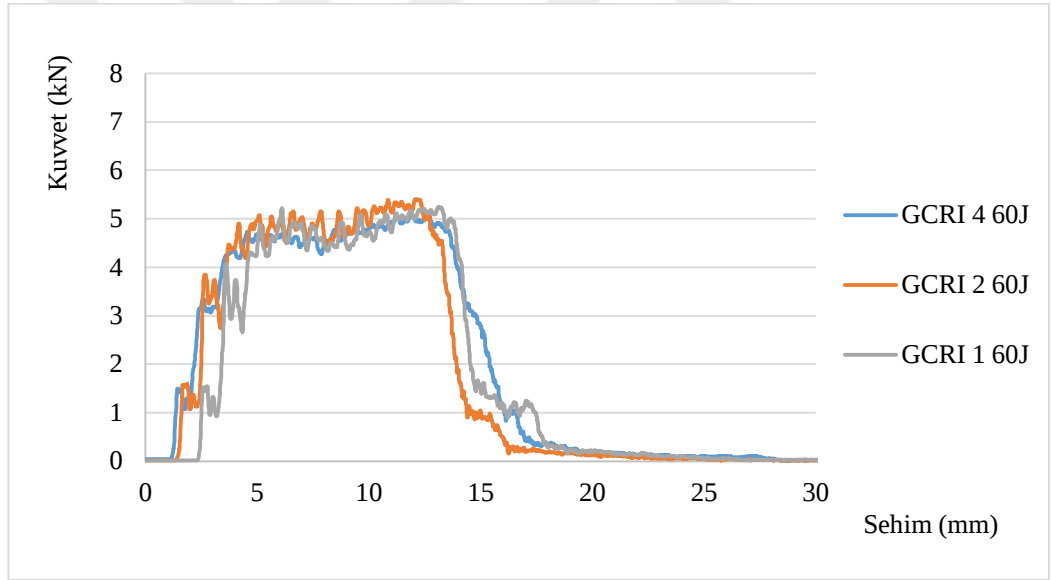
Şekil A. 11 GCR kodlu örneklerin 60 J için kuvvet sehim grafiği



Şekil A. 12 GCR kodlu örneklerin 75 J için kuvvet sehim grafiği



Şekil A. 13 GCRI kodlu örneklerin 45 J için kuvvet sehim grafiği



Şekil A. 14 GCRI kodlu örneklerin 60 J için kuvvet sehim grafiği