



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TERMOPLASTİK KOMPOZİT YAPILARIN TERMAL VE RADYASYON KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ARZU AYTİMUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Polimer Bilimi Teknolojisi
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN

EŞ-DANIŞMAN
Prof. Dr. Ali Durmuş

İSTANBUL, 2024

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca anlayışı, tecrübesi, derin bilgi ve birikimi ile bana her konuda ve koşulda destek olup yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Memet Vezir KAHRAMAN'a en büyük ve en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitim dönemimde çalışmalarımı yönlendiren, bütün aşamalarda her türlü imkanı sunarak engin bilgileri ile bana destek olan ve yol gösteren saygıdeğer eş danışman hocam Prof. Dr. Ali DURMUŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarım süresince sonsuz desteği ile yanımda olan sevgili arkadaşım Dr. Begüm ALANALP'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez yazma sürecimde hem manevi hem teknik olarak beni her zaman destekleyen çok kıymetli arkadaşım Burak GÜLEŞ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren, tüm hayatım boyunca yanımda olan, haklarını asla ödeyemeyeceğim canım annem Sevgül AYTİMUR'a ve canım babam Mehmet AYTİMUR'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Tüm süreçlerimde destekleri ve sonsuz sevgileri ile yanımda olan değerli kardeşlerim Nuriye AYTİMUR, Neslişah AYTİMUR ve Ahmet AYTİMUR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Arzu AYTİMUR

Ağustos, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	2
ÖZET.....	iii
TERMOPLASTİK KOMPOZİT YAPILARIN TERMAL VE RADYASYON KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SEMBOLLER.....	v
KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Radyasyon ve Radyoaktivite.....	5
2.1.1. Radyasyon Türleri ve Sınıflandırılması.....	5
2.1.2. Radyasyonun Biyolojik Etkileri.....	10
2.1.3. Radyasyondan Korunma Yöntemleri.....	11
2.2. Termoplastik Polimerler.....	12
2.3. Kompozit Malzemeler.....	13
2.4. Etilen Vinil Asetat(EVA).....	13
2.5. Katkılar/Dolgular.....	16
2.5.1. Baryum Sülfat(Barit), Baryum Karbonat.....	16
2.5.2. Tungsten, Tungsten Karbür Kobalt, Nikel Tungsten Oksit.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Kullanılan Kimyasallar.....	19
3.2. Numunelerin Hazırlanması.....	21
3.2.1. Numune Bileşenlerinin ve Oranlarının Belirlenmesi.....	21
3.2.2. Eriyikte Karıştırma İle Numunelerin Hazırlanması.....	22
3.2.3. Test Parçalarının Ölçümler İçin Hazırlanması.....	22
3.3. Mekanik Testler.....	24
3.3.1. Çekme Testi.....	24
3.3.2. Shore A Sertlik Ölçümü.....	25
3.4. Termal Testler.....	26
3.4.1. DSC Analizi.....	26
3.5. Yoğunluk Ölçümleri.....	27

3.6.	Radyasyon Kalkanlama Testleri	27
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1.	Mekanik ve Fiziksel Özellikler	29
4.1.1.	Çekme Testi ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi	29
4.1.2.	Shore A Sertlik Ölçüm Sonuçları	41
4.1.3.	Yoğunluk Ölçümleri	42
4.2.	Termal Özellikler	42
4.2.1.	DSC Analiz Sonuçları	42
4.3.	Radyasyon Kalkanlama Özellikleri	44
5.	SONUÇ	48
6.	KAYNAKLAR	50



ÖZET

TERMOPLASTİK KOMPOZİT YAPILARIN TERMAL VE RADYASYON KALKANLAMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Gelişen teknoloji ile polimer malzemeler, günlük hayatta birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin işleme kolaylığı, birçok çeşidinin olması, kullanım alanlarına göre değiştirilebilir ve modifiye edilebilir olması, polimer malzemelerin kullanım oranının artmasına neden olmuştur. Polimer malzemelerin üstün özelliklerini bir araya getirmek veya yeni özellikler elde etmek amacıyla, genellikle mikro veya makro ölçekte dolgu malzemeleri ile polimer matrisler karıştırılır ve kompozit malzemeler oluşturulur. Kompozit malzemeler, sundukları faydalar ve geniş uygulama alanları sayesinde günümüz imalat sektöründe önemli bir konuma sahiptir. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında bu malzemeler üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. Kompozit malzemelerin kullanım alanları genişler ve istenen mühendislik özellikleri kazandırılabilir. Günümüzde malzemelere kazandırılması gereken önemli özelliklerden birisi ise radyasyon kalkanlama özelliğidir. Radyasyonun kullanımı ve etkileri, günlük yaşamımızda büyük bir öneme sahiptir. İyonlaştırıcı radyasyona maruz kalma, sağlık açısından ciddi bir tehlike oluşturabilir ve bu durum, radyasyonun zararlı etkilerinden korunma yöntemlerinin araştırılmasına yol açmıştır. Uzun zamandır radyasyonun etkilerinden korunmak için yüksek absorbe etme özelliğinden dolayı kurşun kullanılmaktadır. Ancak kurşun içerikli malzemelerin yoğunluğunun yüksek olması ve sağlık açısından toksik özellik göstermesi gibi olumsuzluklardan dolayı kalkanlama alanında farklı malzemeler araştırılmalıdır. Bu malzemelere örnek olarak barit, radyasyon tutma özelliği taşıyan baryum elementinin en yaygın minerali olarak bilinen baryum sülfattır. Bu çalışmada, etilen vinil asetat kopolimeri gibi bir termoplastik elastomer (TPE) polimeri kullanılarak farklı tipte ve oranlarda inorganik dolgu malzemeleri (barit, tungsten, tungsten karbür, nikel tungsten oksit) ile kurşuna ve kurşun dolgulu kompozitlere oranla çok daha hafif kompozit levhalar oluşturulmuştur. Eriyik harmanlama yöntemiyle hazırlanan bu kompozitlerin yoğunluk değerleri, termal ve mekanik özellikleri incelenmiş ve radyasyon kalkanlama özellikleri test edilmiştir. Yapılan çalışmalar, mineral dolgu malzemeleriyle birlikte fonksiyonel dolgu maddelerinin kullanımıyla yüksek radyasyon zırhlama performansına sahip, yüksek mekanik mukavemete sahip, esnek ve yumuşak kompozit malzemelerin elde edilebildiğini göstermiştir. Elde edilen kompozitler geri dönüştürülebilir, yeniden şekillendirilebilir özelliklere sahiptir.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THERMAL AND RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF THERMOPLASTIC COMPOSITES

With the developing technology, polymer materials have started to be used in many areas of daily life. The ease of processing of these materials, their many types, and the fact that they can be changed and modified according to their areas of use have led to an increase in the use of polymer materials. In order to combine the superior properties of polymer materials or to obtain new properties, polymer matrices are generally mixed with fillers on a micro or macro scale and composite materials are formed. Composite materials have an important position in today's manufacturing sector thanks to the benefits they offer and their wide application areas. Important studies have been carried out on these materials especially in the second half of the 20th century. The areas of use of composite materials are wide and the desired engineering properties can be gained. One of the important properties that should be gained in materials today is radiation shielding. The use and effects of radiation are of great importance in our daily lives. Exposure to ionizing radiation can pose a serious health hazard and this has led to the research of methods of protection from the harmful effects of radiation. Lead has been used for a long time to protect against the effects of radiation due to its high absorption feature. However, due to the negativities such as the high density of lead-containing materials and their toxicity in terms of health, different materials should be investigated in the field of shielding. An example of these materials is barite, barium sulfate, which is known as the most common mineral of the barium element that has radiation retention properties. In this study, much lighter composite sheets were created compared to lead and lead-filled composites with different types and ratios of inorganic fillers (barite, tungsten, tungsten carbide, nickel tungsten oxide) using a thermoplastic elastomer (TPE) polymer such as ethylene vinyl acetate copolymer. The density values, thermal and mechanical properties of these composites prepared by the melt blending method were examined and their radiation shielding properties were tested. Studies have shown that flexible and soft composite materials with high radiation shielding performance, high mechanical strength can be obtained with the use of functional fillers together with mineral fillers. The composites obtained have recyclable and reshapeable properties.

SEMBOLLER

σ : Gerilme

ϵ :Birim şekil değıştirme

σ_a : Akma dayanımı

E: Elastisite modülü

L_0 : Malzemenin başlangıçtaki uzunluğu,

ΔL : Malzemenin son uzunluğu-malzemenin başlangıç uzunluğu

F : Kuvvet



KISALTMALAR

BaSO₄	: Baryum Sülfat
BaCO₃	: Baryum Karbonat
EVA	: Etilen Vinil Asetat
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
HVL	: Yarı Değer Kalınlığı
Ni-WO₄	: Nikel Tungsten Oksit
RPE	: Radiation Protection Efficiency
TPE	: Termoplastik Elastomer
TVL	: Onuncu Değer Kalınlığı
VA	: Vinil Asetat
WC:Co	: Tungsten Karbür Kobalt
W	: Tungsten

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Radyasyonun iyonlaştırıcı özelliğine göre sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.2. Radyasyonun dalga ve parçacık özelliğine göre sınıflandırılması.....	6
Şekil 2.3. Farklı radyasyon tipleri için giricilik mesafeleri [22]	7
Şekil 2.4. Elektromanyetik dalga spektrumu [23].....	8
Şekil 2.5. Radyasyon kaynakları ve yüzdeleri[23].....	9
Şekil 2.6. Dış radyasyondan korunmanın temel prensipleri [23]	12
Şekil 2.7. Dış radyasyondan korunmanın ana bileşenleri [23].....	12
Şekil 2.8. Etilen vinil asetat kopolimerinin molekül yapısı.	14
Şekil 2.9. EVA granülleri.....	15
Şekil 3.1. Etilen vinil asetat kopolimeri	19
Şekil 3.2. Polimer ve dolguların karıştırma öncesi görüntüsü	21
Şekil 3.3. Kap tipi eriyik karıştırıcı	22
Şekil 3.4. Şekillendirme işleminin yapıldığı sıcak ve soğuk pres	23
Şekil 3.5. Disk şeklinde hazırlanan test parçaları.....	23
Şekil 3.6. Çekme testi için hazırlanan numuneler	24
Şekil 3.7. TX-700 Texture Analysis cihazı.....	25
Şekil 3.8. Shore Durametresi.....	25
Şekil 3.9. DSC Cihazı	26
Şekil 3.10. Density Determination KIT 85 ve terazi	27
Şekil 4.1. Çekme testi için hazırlanan numuneler	29
Şekil 4.2. Plastik ve elastik bölgelerinde malzemenin gerilme ve gerinim ilişkisi.....	30
Şekil 4.3. Malzemenin plastik ve elastik bölgelerinde gerilme ve gerinim ilişkisi ve elastisite modül hesabı	32
Şekil 4.4. Farklı oranlarda BaSO ₄ dolgusu içeren numunelerin gerilim-gerinim eğrileri.....	33
Şekil 4.5. Farklı oranlarda BaSO ₄ dolgusu içeren numunelerin görüntüsü.....	35
Şekil 4.6. %70 dolgu içeren numunelerin gerilim-gerinim eğrileri	36
Şekil 4.7. %70 dolgu içeren numunelerin görüntüsü	37
Şekil 4.8. Farklı oranlarda tungsten tozu–barit dolgusu içeren %80 dolgulu numunelerin gerilim-gerinim eğrileri	38
Şekil 4.9. Farklı oranlarda tungsten tozu–barit dolgusu içeren %80 dolgulu numunelerin görüntüsü.....	39

Şekil 4.10. Farklı tür metalik bileşen içeren %80 dolgulu numunelerin gerilim-gerinim eğrileri	40
Şekil 4.11. Farklı tür metalik bileşen içeren %80 dolgulu numunelerin görüntüsü	40
Şekil 4.12. %70 oranında farklı dolgu içeren numunelerin kristallenme pikleri	43
Şekil 4.13. 20 kV’de numunelerin zırhlama performansı	44
Şekil 4.14. 30 kV’de numunelerin zırhlama performansı	45
Şekil 4.15. 40 kV’de numunelerin zırhlama performansı	45
Şekil 4.16. 48 kV’de numunelerin zırhlama performansı	45
Şekil 4.17. Am241 radyoizotopu radyasyon zırhlama performansı	46
Şekil 4.18. Yüksek enerjilerde (Cs137) radyasyon zırhlama performansı	46
Şekil 4.19. Farklı ışın kaynakları ve radyoizotoplar için özet RPE grafiği	47

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. EVA kopolimeri mekanik ve fiziksel özellikler	19
Tablo 3.2. İnorganik dolgu minerallerinin özellikleri	20
Tablo 3.3. Metalik katkı toz malzemelerinin özellikleri	20
Tablo 3.4. Numune bileşimleri	21
Tablo 4.1. Farklı oranlarda BaSO ₄ dolgusu içeren numunelerin çekme testi sonuçları	34
Tablo 4.2. %70 dolgu içeren numunelerin çekme testi sonuçlar.....	35
Tablo 4.3. Farklı oranlarda tungsten–barit dolgusu içeren %80 dolgulu numunelerin çekme testi sonuçları.....	38
Tablo 4.4. Farklı Oranlarda Metalik Bileşen İçeren %80 Dalgulu Kompozitler	39
Tablo 4.5. Tüm kompozitlerin sertlik ölçüm sonuçları	41
Tablo 4.6. Tüm kompozitlerin yoğunluk değerleri.....	42
Tablo 4.7. Radyasyon zırlama testlerine gönderilen numune bileşimleri ve kodları	44

1. GİRİŞ

Radyasyonun kullanımı ve etkileri, günlük hayatımızda büyük bir öneme sahiptir. Tıp, endüstri, tarım, iletişim ve temel bilim araştırmaları gibi birçok farklı alanda çeşitli amaçlar için kullanılan radyasyona maruz kalınmaktadır. Radyasyona maruz kalma miktarı, süresi ve çeşidi kişinin bulunduğu ortama, kullanılan teknolojiye ve korunma önlemlerine göre değişir. Radyasyondan korunma, üç temel ilkeye dayanır: zaman, mesafe ve zırhlama. Bir radyoaktif kaynak veya radyasyon üreten cihazın bulunduğu ortamda geçirilen süre ne kadar kısa olursa, o kadar az radyasyona maruz kalınır. Kaynağa olan mesafe arttıkça, ışınlamadan kaynaklı radyasyon dozu azalır. Ayrıca, radyasyon kaynağı ile insan arasında uygun bir bariyer olduğunda da maruz kalınan radyasyon miktarı azalır, bu da zırhlamanın etkisini gösterir.

Gerekli önlemler alınmadığında radyasyona maruziyet biyolojik olarak ölümcül risk ve etkilere sebep olabilir. Bu nedenle radyasyonun insan ve doğaya olan zarar verici etkilerinden korunmak için çeşitli önlemler alınarak radyasyonun etkilerinin azaltılması gerekmektedir. Uzun zamandır radyasyonun etkilerinden korunmak için yüksek absorbe etme özelliğinden dolayı kurşun kullanılmaktadır. Ancak kurşun içerikli malzemelerin yoğunluğunun yüksek olması ve sağlık açısından toksik özellik göstermesi gibi olumsuzluklardan dolayı kalkanlama alanında farklı malzemeler araştırılmalıdır. Kurşun, hem hayvanlar hem de insanlar için zehirleyici olup, maruz kalma seviyesine bağlı olarak toksisite gösterir. Bu toksik etkiler, yüksek maruziyet seviyelerinde akut ve belirgin zehirlenmeden, daha düşük maruziyet seviyelerinde klinik belirti göstermeyen fakat hala tehlikeli olan zehirlenmeye kadar değişir. Kurşun zehirlenmesi, neredeyse tüm organları etkiler ancak en çok kardiyovasküler, sinir, sindirim, hematolojik, endokrin ve böbrek sistemleri üzerinde etkilidir. Ayrıca, kurşunun ağır olması, yüzeyinde kurşun tozu biriktirme eğilimi ve bakteriyel kirlenme gibi dezavantajları da bulunmaktadır [1,2].

Geçmişten günümüze radyasyon kalkanlamasında kullanılacak ve kurşuna alternatif malzemeler ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır;

Soylu (2014) tarafından yapılan çalışmada, etilen vinil asetat kopolimeri ve tungsten karbür kullanılarak çapları 50 mm olan ve kalınlıkları 1 ile 2 mm arasında değişen diskler üretilmiştir. Bu diskler, 241Am, 137Cs ve 131I gibi gama kaynaklarıyla test edilerek radyasyon zırhlama özellikleri değerlendirilmiştir [3].

Kılınçarslan ve ekibi (2011) çalışmalarında, çeşitli enerji seviyelerinde radyasyon zırhlama için gereken standart betonlar ile barit agregalı betonlar üzerine odaklanmıştır. Barit agregalı

betonun yüksek radyasyon tutma kapasitesine sahip olduğu ve zırlama amaçlı olarak kullanılmasının avantajlı olabileceği öne sürölmüştür [4].

Akkurt ve çalışma arkadaşları (2011), beton içine eklenen barit oranlarının değışiminin etkilerini radyasyon soğurma özelliklerini belirlemek amacıyla incelemiştir. Yaptıkları çalışmada, barit içeriğinin artmasıyla betonun radyasyon soğurma özelliğinin arttığını belirtmişlerdir [5].

Pulford ve Fergusson (2016), tekstil yüzeylerini baryum sülfat ($BaSO_4$), bizmut oksit (Bi_2O_3) ve sodyum tungstat (Na_2WO_4) ile kaplayarak kumaşların radyasyon koruma özelliklerini incelemiştir [6].

Akkurt ve diğeri araştırmacılar (2013), penye ve alpaka kumaşları üzerinde çalışmışlar ve bu kumaşları çeşitli oranlarda (%70-%30, %80-%20, %60-%40) barit ve bor ile kaplamışlardır. Yaptıkları deneylerde, bor oranının artmasıyla kumaşların nötron zırlama özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir [7].

Büyük (2013), tungsten, titanyum ve bor içeren kompozit malzemeleri $Cs137$ ve $Co60$ radyoizotop kaynaklarıyla gama ışınına ve Pu-Be nötron Howitzer nötron kaynağı ile nötron radyasyonuna maruz bırakmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda radyasyon zırh malzemesi olarak tungsten borürün etkin bir zırh malzemesi olarak kullanılabileceğı görölmüştür [8].

Kobayashi ve meslektaşları (1997), zırlama malzemesi olarak tungsten metalinin kullanıldığı bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, tungsten içeren alaşımın radyasyon zırlama malzemesi olarak oldukça başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Tungsten, yüksek yoğunluğu sayesinde yüksek enerjili gama ışınlarını etkin bir şekilde tutar. Ayrıca toksik olmaması ve üstün mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle kurşuna kıyasla önemli avantajlara sahiptir [9].

Tuğrul ve Büyük (2014) tarafından yapılan çalışmada, saf tungsten ve tungsten karbür-kobalt malzemelerinin gama ışınlarına maruz bırakılması sonucunda zayıflatma katsayıları belirlenmiştir. Bu çalışmada $Cs-137$ ve $Co-60$ radyoizotopları kullanılmış ve elde edilen sonuçlar kurşun ile karşılaştırılmıştır. WC-Co kompozit malzemenin, radyasyon zırlamalarında yaygın olarak kullanılan kurşun ile neredeyse eşdeğer lineer zayıflatma katsayısına sahip olduğı ifade edilmiştir [10].

Aral (2016), bizmut, kalay, baryum sülfat, bakır, tungsten gibi farklı katkı malzemelerinin silikon kauçuk içerisine ekleyerek bu bileşimin kumaş yüzeylerine kaplamıştır. Bu katkı maddelerinin türlerinin ve oranlarının kumaşların radyasyon zayıflatma oranları üzerindeki etkilerini incelemiştir [11].

Yoonkwan Kim ve arkadaşları çok katmanlı yapıların X ışını kalkanlama üzerindeki etkilerini incelemek üzere tungsten ve sendust metal tozlarını içeren kompozit polimer filmleri hazırlamış ve kurşunsuz metal-polimer kompozitin X ışını koruması için kurşun yerine güvenilir bir malzeme olarak uygulanabileceğini belirtmişlerdir [12].

Yue ve ekibi (2009), yaptıkları çalışmada kurşun yerine tungsten ve hidrojenize edilmiş (stiren-bütadien-stiren) SBS kopolimeri kullanarak yeni bir malzeme geliştirmişlerdir. Monte Carlo yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen bu teorik çalışmada, tungsten ve polimerlerin karıştırılmasıyla hazırlanan kompozitlerin istenilen zırhlama malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır [13].

Nadin JamalAbualroos ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, tungsten karbür bazlı epoksi reçine ve tungsten karbür kobalt bazlı epoksi reçinenin gama ışınlarına karşı etkinliği kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Farklı epoksi reçine ağırlık hazırlanan kompozitlerin, NaI (Tl) gama ışını spektrometresi kullanılarak doğrusal ve kütle zayıflatma katsayıları, yarı değer katmanı ve ortalama serbest yol özellikleri araştırmışlardır. Yüksek dolgu yüklemeleri (90% dolgu/10% epoksi) mükemmel gama zırhlama özellikleri sergilemiştir. Fesem/Edx analizleri, tungsten karbür ve kobalt partiküllerinin polimer matris içine başarıyla entegre edilerek kompozit yoğunluğunu ve radyasyon zayıflatma kapasitesini artırdığını ortaya koymuştur [14].

Sayyed ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, magnezyum alaşımlarında magnezyumun nikel ile değiştirilmesinin fiziksel özellikler ve γ -ışını kalkanlama kapasitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Nikel içeriği %26.7'den %54.8'e yükseltirken, magnezyum oranı %72.6'dan %44.2'ye düşmüştür. Monte Carlo simülasyon kodu kullanılarak yapılan incelemeler, magnezyumun nikel ile değiştirilmesinin γ -ışını kalkanlama kapasitesini artırdığını ortaya koymuştur. İncelenen alaşımlarda, nikel içeriği %26.7'den %54.8'e yükseltildiğinde, 0.662 MeV, 1.252 MeV ve 1.408 MeV γ -ışını enerjilerinde lineer zayıflama katsayısı sırasıyla %53.22, %52.45 ve %52.52 oranında artmıştır. Bu sonuçlar, magnezyumun nikel ile değiştirilmesinin magnezyum alaşımlarının radyasyon kalkanlama kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir [15].

Seenappa ve arkadaşları(2017) yaptıkları çalışmada farklı baryum bileşiklerinin radyasyon kalkanlama özelliklerini incelemişlerdir . Bu çalışmada, X-ışınları (32 keV, 74 keV) ve gama (662 keV) fotonların soğurulmasını ölçmek için $BaCl_2$, $BaCO_3$, $Ba(NO_3)_2$ ve $BaSO_4$ gibi baryum bileşiklerinin kütle soğurulma katsayısı, lineer soğurulma katsayısı, Yarı Değer Kalınlığı (HVL) ve Onuncu Değer Kalınlığı (TVL) gibi kalkanlama parametrelerini belirlediler. Yaptıkları çalışmada Baryum bileşikleri arasında $BaCO_3$ 'ün X-ışını ve gama kalkanlaması için en etkili malzeme olduğunu belirlemişlerdir [16].

Kompozit malzemelerin kullanım alanları geniştir ve istenen mühendislik özellikleri kazandırılabilir. Günümüzde malzemelere kazandırılması gereken önemli özelliklerden birisi ise radyasyon kalkanlama özelliğidir. Kompozit malzeme için radyasyon tutucu özelliklere sahip dolgulara örnek olarak barit verilebilir. Barit radyasyon tutma özelliği taşıyan baryum elementinin en yaygın minerali olarak bilinen baryum sülfattır. Yüksek atom numaralı malzemeler, gama ışınları ve X-ışınları gibi yüksek enerjili radyasyonu daha iyi absorbe eder ve dağıtır. Baryum elementi içeren dolgular polimerler ile kullanılarak radyasyon tutma özelliğine sahip çeşitli kompozit malzeme üretiminde iyi sonuçlar verebilir.

Bu tez çalışmasında termoplastik özellikli etilen vinil asetat kopolimerinden yola çıkılarak, yerli olarak temin edilebilen yüksek yoğunluklu baryum karbonat ve baryum sülfat minerallerinin farklı oranlarda dolgu olarak eklenmesiyle kompozitler hazırlanmıştır. Hazırlanan termoplastik kompozitlerin radyasyon kalkanlama özelliklerine etkilerini görmek üzere tungsten, tungsten karbür kobalt ve nikel tungsten oksit bileşenleri eklenmiştir. İnorganik dolgular polimere %60,70,75,80 oranlarında karıştırılarak farklı oranlarda metalik katkılar ile güçlendirilmiştir. Termoplastik bir polimer olan etilen vinil asetat kopolimerinde yüksek dolgu oranlarına çıkılabildiği görülmüştür. Hazırlanan nihai kompozit ürünlerin termal, mekanik ve radyasyon tutma özellikleri yapılan testler ile karakterize edilmiştir. Hazırlanan tüm kompozit numunelerine çekme testi yapılmış ve dolgu oranlarına göre gruplandırılarak karşılaştırılmıştır. Tüm numunelerin Arşimet prensibi ile deneysel yoğunlukları ölçülmüş ve teorik yoğunluk hesaplanmıştır. %75 baryum sülfat içeren numuneler gruplandırılmış ve diferansiyel taramalı kalorimetre ile ısı analizleri gerçekleştirilerek karşılaştırılmıştır. Hazırlanan tüm kompozit numunelerinin radyasyon kalkanlama testleri yapılmıştır. Amptek Mini-X ray tüp ile 20, 30, 40, 48 kV' luk X-ışını enerjileri elde edilmiştir. Aynı zamanda hazırlanan numuneler Cs-137 ve Am-241 radyoaktif izotop ışınları ile analiz edilmiştir. Hazırlanan kompozitlerin en temel radyasyon geçirgenliği performansı belirteci olan radyasyon korunma etkinliği (radiation protection efficiency, RPE) yüzdesi belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radyasyon ve Radyoaktivite

Radyoaktif çekirdeklerin kararlı bir duruma geçebilmek için yaydığı hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalgalar şeklindeki fazla enerjiye "radyasyon" denir [17].

Atom ve çekirdeğe dair fiziksel veriler, 1896'da Henri Becquerel'in radyoaktiviteyi keşfetmesiyle başlamıştır. Becquerel, bazı floresan tuzların güneş ışınlarıyla aktif hale geldikten sonra yaydığı radyasyonları incelerken radyoaktiviteyi tesadüfen keşfetmişlerdir. Deneylerini tekrarlayan Becquerel, fotoğraf plakalarını etkileyen bazı radyasyon türlerinin uranyum tuzundan geldiğini fark etmiştir. Ayrıca, bu radyasyonun havayı iyonize ettiğini de keşfetmiştir. Becquerel ışınları ismi verilen uranyum tuzunun yaydığı bu radyasyonun ismi daha sonra farklı maddelerden yayılan çeşitli radyasyon türlerini de kapsayacak şekilde değiştirildi.

Becquerel'in keşfinden sonra, çeşitli bazı maddelerin de radyasyon yaydığı gözlemlendi. Bilim insanları Marie Curie ve eşi Pierre Curie, "polonyum" ve "radyum" ve adını verdikleri iki radyoaktif elementi keşfettiler. Sonraki birkaç senede aktinyum, toryum ve farklı radyoaktif elementler de keşfedilmiştir. Bu keşiflerin ardından radyoaktif çekirdekler ve radyoaktivite hakkında temel bazı bilgiler edinildi [18].

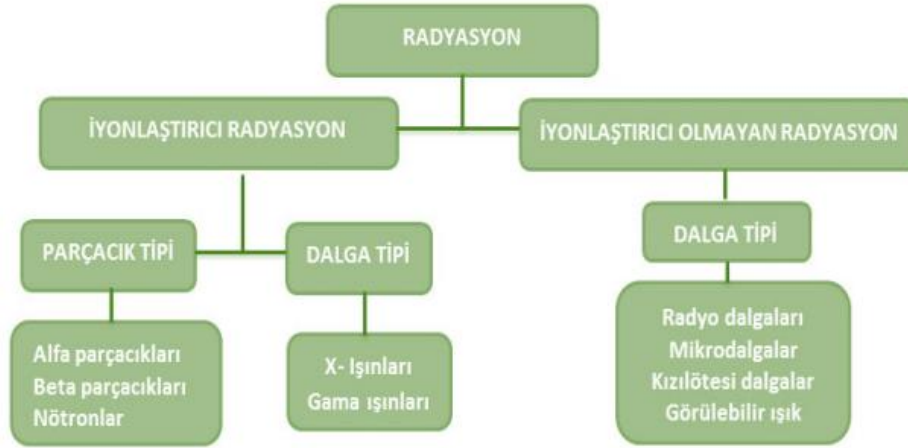
Doğada yer alan elementler, çeşitli atom türlerinden oluşur. Bu atomların çekirdekleri, protonlar ve nötronlar tarafından oluşturulur. Bazı atom çekirdekleri kararlı olup, uzun süre boyunca değişmeden kalabilen bir yapıya sahipken, diğerleri kararsızdır. Kararsızlık, yüksek enerjiye sahip ağır çekirdeklerden kaynaklanır. Bunlar, radyoaktif çekirdek veya radyoizotop olarak adlandırılır.

Radyoaktivite ya da radyoaktif bozunma radyoaktif çekirdeklerin fazla enerjilerini salarak kararlı hale geçme sürecidir. Radyasyon, iç dönüşüm geçiren atomlar tarafından yayılır ve boşlukta ya da maddede ilerleyebilir. Radyasyonun yayılması, parçacık, dalga veya foton adı verilen enerji paketleri şeklinde gerçekleşir. Bu enerji, yayıldığı kaynağın özelliklerine bağlı olarak parçacık türü ya da elektromanyetik dalga olarak taşınabilir

2.1.1. Radyasyon Türleri ve Sınıflandırılması

Radyasyon enerjilerine göre "iyonlaştırıcı" ve "iyonlaştırıcı olmayan" olarak iki grupta incelenir. İyonlaştırıcı radyasyon, temas ettiği maddede yüklü parçacıklar (iyonlar) oluşturabilen radyasyon türüdür. İyonizasyon, herhangi bir madde üzerinde olabileceği gibi,

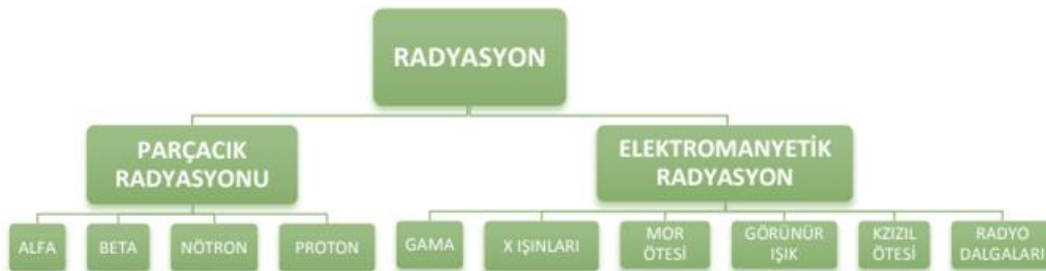
insanlar da dahil olmak üzere tüm canlılarda da gerçekleşebilir. Bu sebeple, önlem alınmazsa iyonlaştırıcı radyasyonlar tüm canlılar için zararlı olabilecek radyasyon çeşitleridir. Beş ana iyonlaştırıcı radyasyon türü bulunmaktadır: Alfa parçacıkları, X ışınları, Gama ışınları, Beta parçacıkları ve Nötronlar [19,20].



Şekil 2.1. Radyasyonun iyonlaştırıcı özelliğine göre sınıflandırılması

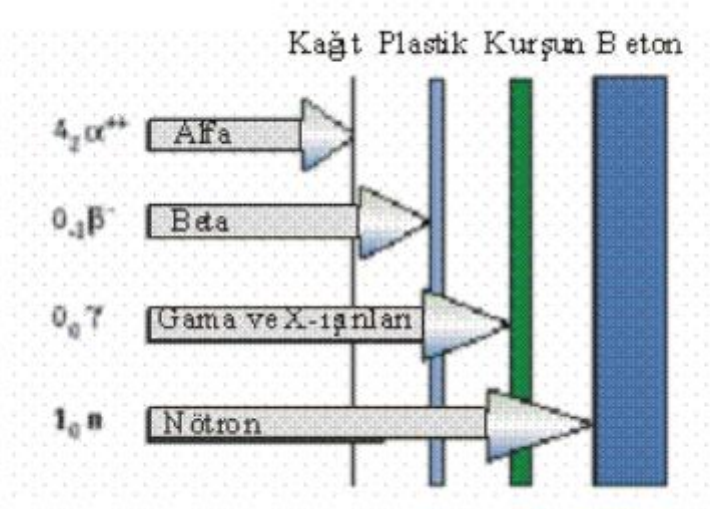
Radyasyon yapısına göre “parçacık tipi radyasyon” ve “dalga tipi radyasyon” şeklinde iki ayrı grup olarak sınıflandırılır.

Parçacık türü radyasyon; atomik düzeyde çok hızlı hareket eden belirli bir kütle ve enerjiye sahip parçacıkları ifade eder. Dalga tipi radyasyon ise kütsüz olup belirli bir enerjiye sahip ve ışık hızında hareket eden radyasyondur. Titreşim yoluyla ilerleyen, elektrik ve manyetik enerji dalgaları olarak tanımlanan elektromanyetik radyasyon ise dalga tipi radyasyondur [21].



Şekil 2.2. Radyasyonun dalga ve parçacık özelliğine göre sınıflandırılması

Her bir iyonlaştırıcı radyasyon türü, maddeyle veya insan vücuduyla farklı şekilde etkileşir ve her biri, farklı türde malzemeye etkili bir şekilde durdurulabilir. Şekil 2.3'te farklı radyasyon tipleri için giricilik mesafeleri verilmiştir [22].



Şekil 2.3. Farklı radyasyon tipleri için giricilik mesafeleri [22]

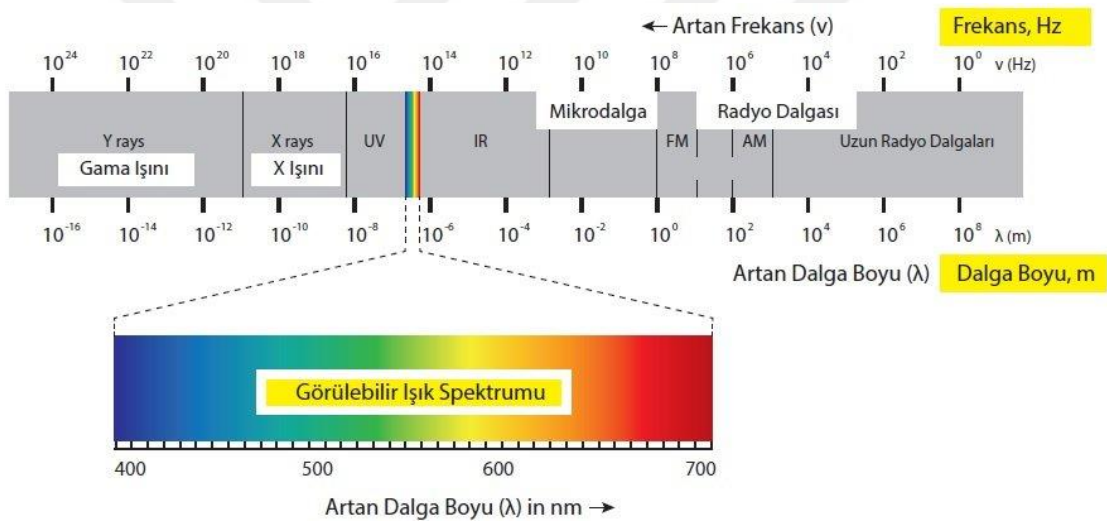
Alfa parçacıkları atom çekirdeğinden yayılır ve iki proton ile iki nötron barındırır. Bu parçacıklar, Helyum atomunun çekirdeği ile aynı yapıdadır ve +2 pozitif yüke sahiptirler. Ağırlıkları ve yükleri nedeniyle maddeler içinde enerjilerini hızla kaybederler. Alfa parçacıkları ince bir kağıt veya insan cildindeki ölü hücre tabakası ince maddelerle engellenebilir. Alfa parçacıkları sadece yutulduklarında veya solunduklarında insan sağlığı için tehlikeli olabilirler, çünkü doğrudan hassas hücrelerle temas edebilirler.

Beta parçacıkları, atom çekirdeğinden yayılan ve negatif yük taşıyan elektronlardır. Alfa parçacıklarına kıyasla maddelerle daha az etkileşimde bulunurlar ve bu nedenle maddede daha derinlere nüfuz edebilirler. İnce plastik veya metal tabakalarla durdurulabilirler. Beta parçacıkları yutulduğunda veya solunduğunda tehlikelidirler. Yüksek dozda maruz kalındığında deri üzerinde radyasyon hasarına neden olabilirler.

Nötronlar atom çekirdeğinde bulunur ve çarpışmalar veya fisyon olayları sonucu serbest kalırlar. Protonlarla benzer kütleye sahip olan bu parçacıklar, elektrik yükü taşımazlar. Yüksüz oldukları için maddelerle zayıf etkileşime girerler ve bu yüzden kolayca derinlere nüfuz edebilirler, bu da durdurulmalarını zorlaştırır. Kalın beton tabakaları veya hidrojen açısından zengin maddeler (su veya yağ gibi) ile durdurulabilirler.

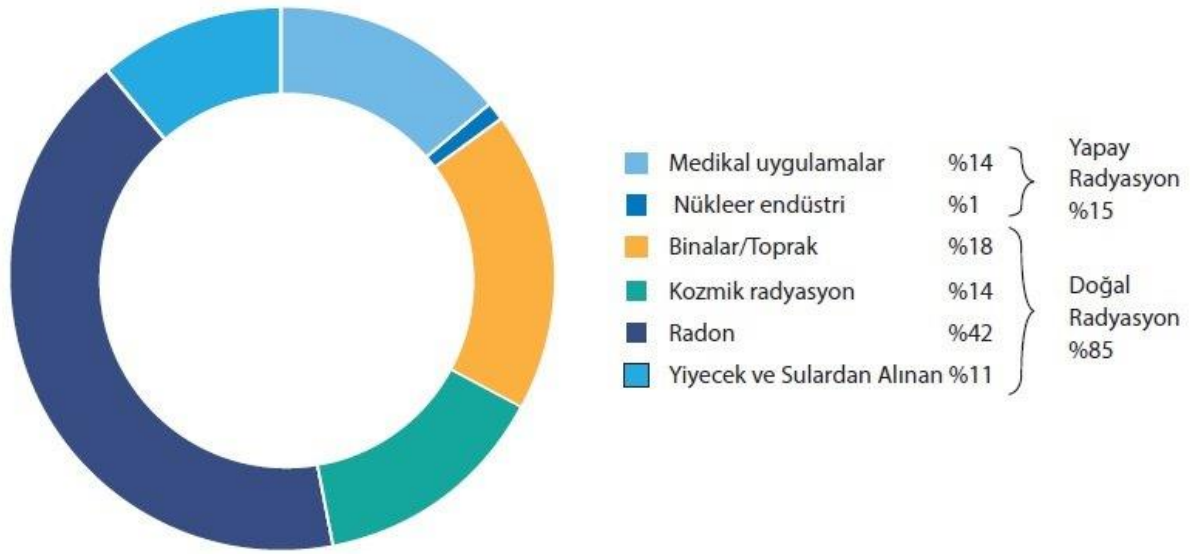
X-ışınları ve gama ışınları ve elektromanyetik dalgalarıdır. Kaynağı atom çekirdeği olan gama ışınları atomun elektron seviyelerindeki değişimleri sonucu oluşur. X-ışınları, görünür ışık ve morötesi ışınlar gibi dalgalar halinde yayılır. Bir atom yüksek enerjili elektronlarla çarpıştığında, atomun iç halkalarından elektronlar kopar. Kopan elektronun yerini daha yüksek seviyelerden gelen elektronlar doldurur ve bu süreçte açığa çıkan enerji, X-ışını olarak salınır. Hem gama ışınları hem de X-ışınları yüksek enerjili elektromanyetik radyasyon olduklarından maddelerle daha az etkileşime girerler ve genellikle kalın kurşun tabakaları veya yoğun malzemelerle durdurulabilirler.

Elektromanyetik spektrumda yer alan tüm radyasyonlar, kütsüz, yüksüz ve enerjili fotonlar tarafından taşınır. İyonize edici elektromanyetik radyasyon atomun yörüngesinden yayımlanıyorsa X-ışını, çekirdeğinden yayımlanıyorsa gama ışını olarak adlandırılır. Elektromanyetik spektrum Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Elektromanyetik dalga spektrumu [23]

Radyasyonu kaynağına göre sınıflandırdığımızda ise doğal radyasyon ve yapay radyasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 2.5. Radyasyon kaynakları ve yüzdeleri[23]

Uzaydan gelen kozmik ışınlar, doğal radyasyonun bir bölümünü oluşturur. Ayrıca, uzun yarı ömürlü radyoaktif elementler de doğal radyasyon kaynakları arasındadır. Fosil yakıtlar, bu uzun ömürlü ve doğal radyoaktif elementleri içerir. Bu elementler yakıtın içinde iken bir radyasyon tehlikesi yaratmaz, ancak yakıldıklarında atmosfere yayılırlar ve toprağa geri dönerek doğal radyasyon seviyesinde bir artışa yol açarlar. Gama ışınları doğada bulunan kısa ömürlü radyoaktif elementlerin yaydığı ışınlar olarak doğal radyasyon kaynaklarından biridir. Vücudumuzda bulunan Potasyum-40, Karbon-14 gibi radyoaktif elementler nedeniyle de belirli bir iç radyasyon dozundan etkileniriz. Doğal radyasyon seviyesini artıran en önemli faktörlerden biri, yer kabuğunda yaygın olarak bulunan ve radyoaktif olan radyum elementinin (Ra-226) bozunması esnasında salınan gradon gazıdır [22].

Canlılar doğal radyasyonun yanı sıra yapay radyasyona da maruz kalmaktadır. Yapay radyasyon kaynakları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Tıbbi (medikal) kaynaklar
- Kullanıcı ürünleri
 - Günlük kullanım ürünleri
 - Hayvancılıkta kullanılan kaynaklar
 - Tarımda kullanılan kaynaklar

- Araştırmada kullanılan kaynaklar
- Endüstride kullanılan kaynaklar

Yapay kaynaklardan alınan radyasyon dozu, kişinin günlük yaşam tarzına ve tıbbi prosedürler sırasında maruz kaldığı uygulamalara (teşhis ve tedavi) bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilir. Örneğin, radyoterapi alan bir hasta, tedavi süresince normal bir bireyin maruz kaldığından çok daha yüksek miktarda radyasyon alır. Ancak, radyasyon maruziyeti sadece tıbbi tedavilerle sınırlı değildir; kişinin çalışma ortamı da bu dozları önemli ölçüde etkileyebilir. Örneğin, hastanelerde nükleer tıp ilaçlarını hazırlayan ve bu ilaçları hastalara uygulayan sağlık çalışanları, günlük yaşamlarında karşılaşacaklarından daha yüksek düzeyde radyasyona maruz kalabilirler. Bu durum, iş ortamlarında alınan önlemler ve kullanılan koruyucu ekipmanların önemini vurgulamaktadır. Bu çalışanlar, radyasyon maruziyetini en aza indirmek için özel eğitim almaktadır.

2.1.2. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Yoğun miktarda uygulanan radyasyon, insanlar, hayvanlar, bitkiler ve bazı mikroorganizmalar için çeşitli zararlı sonuçlara neden olabilir. İyonlaştırıcı radyasyon türleri, çevresiyle etkileşime girdiğinde atomları iyonlaştırarak oldukça riskli hale gelirler. Bu tür radyasyonlar bir dokuya girdiğinde, hücrelerdeki su moleküllerini iyonlaştırır ve serbest radikallerin oluşmasına yol açar, bu da hücre bölünmesini bozar ve kontrol mekanizmalarını etkiler.

Radyasyonun biyolojik etkileri, belirgin ve rastlantısal etkiler olarak sınıflandırılabilir. Belirgin etkiler, yüksek dozda radyasyona maruz kalındığında kısa sürede ortaya çıkan ve ciddi sonuçlara yol açabilen etkilerdir. Ani ve yoğun radyasyon maruziyeti ciltte yanıklara ve kızarıklıklara, üreme organlarında ise kısırlığa neden olabilir. Radyasyonun etkilerinin şiddeti, alınan radyasyonun dozuna ve maruz kalma hızına bağlıdır. Radyasyona maruz kaldıktan kısa bir süre sonra bulantı, kusma, iştahsızlık, kaşıntı, ateş, baş ağrısı ve tansiyon düşüklüğü gibi erken dönem belirtiler ortaya çıkabilir. Uzun vadeli etkiler ise çok uzun bir süre sonra bile görülebilir. Radyasyon, hücrelere zarar vererek kanser oluşumuna neden olabilir ve hücrelerin kendini yenileme kapasitesini düşürebilir. Çekirdek kaynaklı radyasyonlar DNA'da mutasyonlara yol açabilir ve bu mutasyonlar nesiller boyunca aktarılabilir. Bu sebeple, bu tür radyasyonlar son derece tehlikelidir [19,20].

Alfa ve beta parçacıkları yüklü oldukları için doğrudan iyonize edici radyasyon olarak kabul edilirler ve bu nedenle cilt yanıkları gibi gözle görülür etkiler oluşturabilecek şekilde üst dokuyla etkileşime girebilirler. Gama ışınları ve nötronlar ise yüksüz olduklarından dolayı dokunun derinliklerine nüfuz edebilirler ve kalıcı genetik bozukluklara yol açabilirler [19,20].

2.1.3. Radyasyondan Korunma Yöntemleri

Uluslararası Radyasyondan Korunma Komisyonu'nun (ICRP) radyasyondan korunmada belirlediği 3 temel prensip belirlemiştir. Bu prensipler; Gerekçelendirme (“Justification”), Optimizasyon (ALARA) ve Doz Sınırlamaları (“Limitations”)’dır [23].

Gerekçelendirme prensibi için her radyasyon uygulamasının, olası zararları ve faydaları dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kabul edilebilirlik, uygulamanın gerçekten gerekliliği ve potansiyel riskleri ile faydalarının karşılaştırılmasıyla belirlenmelidir. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkilerini minimize etmek için gerekli tedbirler alınmalı ve uygulamalar sürekli olarak izlenmelidir.

Optimizasyon ilkesi, radyasyon uygulamalarında en düşük dozun alınmasını hedefler. Bu yaklaşım, radyasyonun insan sağlığına etkilerini en aza indirirken toplumsal gereksinimleri de göz önünde bulundurur. Bu sayede radyasyonun etkileri kontrol altına alınır ve toplumun refahı gözetilir.

Doz sınırlamaları prensibi, bir kişinin maruz kaldığı doz eşdeğerinin belirlenen bir sınırın üzerine çıkmamasını ifade eder. Bu ilke, bir bireyin alabileceği etkin eşdeğer dozun net bir şekilde kısıtlanmasını gerektirir. Bu sınırlamalar, kanser gibi potansiyel etkilerin kontrol altında tutulmasını ve gelecek nesillerin kabul edilemez bir riskle karşı karşıya kalmasını önler. Böylece, bireylerin ve gelecekteki kuşakların sağlığı güvence altına alınmış olur.

Dış radyasyon kaynaklarından gelen dozu kontrol altında tutmak için üç temel koruma yöntemi kullanılır. Bunlar uzaklık, zaman ve zırhlama'dır. Bu yöntemler, radyasyon maruziyetini en aza indirerek olumsuz etkilerini azaltmayı amaçlar.



Şekil 2.6. Dış radyasyondan korunmanın temel prensipleri [23]



Şekil 2.7. Dış radyasyondan korunmanın ana bileşenleri [23]

Uzaklık, radyasyon kaynağından mümkün olduğunca uzakta durmayı içerirken, zaman, maruz kalma süresini sınırlamayı hedefler. Zırhlama ise radyasyon kaynağına karşı koruyucu bir bariyer sağlayarak maruziyeti azaltır. Zırhlama, radyasyona maruz kalan alanlarda alınan dozu en aza indirmeye yardımcı olur. Ancak, radyasyonun türüne ve kaynağına bağlı olarak, zırhlama gereksinimleri de değişebilir. Farklı radyasyon tipleri, farklı kalınlık ve malzeme gereksinimleriyle birlikte gelir, bu nedenle uygun zırhlama stratejileri, spesifik radyasyon türleri ve kaynakları göz önüne alınarak belirlenmelidir. Bu, etkili bir koruma sağlamak ve maruziyeti minimum seviyeye indirmek için önemlidir. Bu yöntemler, radyasyon koruma standartlarını karşılayarak insan sağlığını korumak için önemlidir.

2.2. Termoplastik Polimerler

Termoplastik polimerler, ısıtıldıklarında eriyen ve yeniden şekillendirilebilen polimer çeşitleridir. Bu polimerler, camsı geçiş sıcaklığı olarak adlandırılan belirli bir noktanın üzerinde ısı ve basınçla oluşturulmuş uzun zincirli veya dallı moleküllerdir [24]. Polimer zincirleri, polar etkileşimler, London kuvvetleri ve hidrojen bağları gibi çeşitli etkileşimlerle bir arada tutulur. Moleküller arasında kalıcı fiziksel bağlar bulunmaz; sadece zayıf elektrostatik çekim

kuvvetleriyle birbirlerine bağlanırlar. Bu moleküller arası çekim, zincirlerin birbirlerine göre hareketlerini sınırlandıran ve ısıya karşı hassas bir etki yaratır. Bu nedenle, lineer zincirlerden oluşan bir termoplastik ısıtıldığında, moleküller arasındaki kuvvetler zayıflar, zincirler sıvıların gerçekleştirdiği gibi serbestçe hareket eder ve böylelikle malzeme bir kalıp içinde kolayca yeniden şekillendirilebilir. Malzeme soğutulduğunda, moleküller arası kuvvetler yeniden artar ve zincirlerin yeni bir şekilde sabitlenmesini sağlar. Termoplastik malzemeler bir kez eritildikten sonra, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama gibi yaygın kullanılan tekniklerle neredeyse her türlü şekil verilebilirler [25].

Termoplastik malzemeler, uzun raf ömürleriyle bilinirler. Oda sıcaklığında katı haldedirler ve sertleşmeleri için termoset malzemelerde olduğu gibi katalizör veya sertleştiriciye ihtiyaç duymazlar. Geri dönüşüm yetenekleri sayesinde tekrar şekillendirilebilirler. İyi bir elektrik yalıtkanı olan bu malzemeler, yüksek kırılma tokluğuna, darbe dayanımına ve esnekliğe sahiptirler [26].

2.3. Kompozit Malzemeler

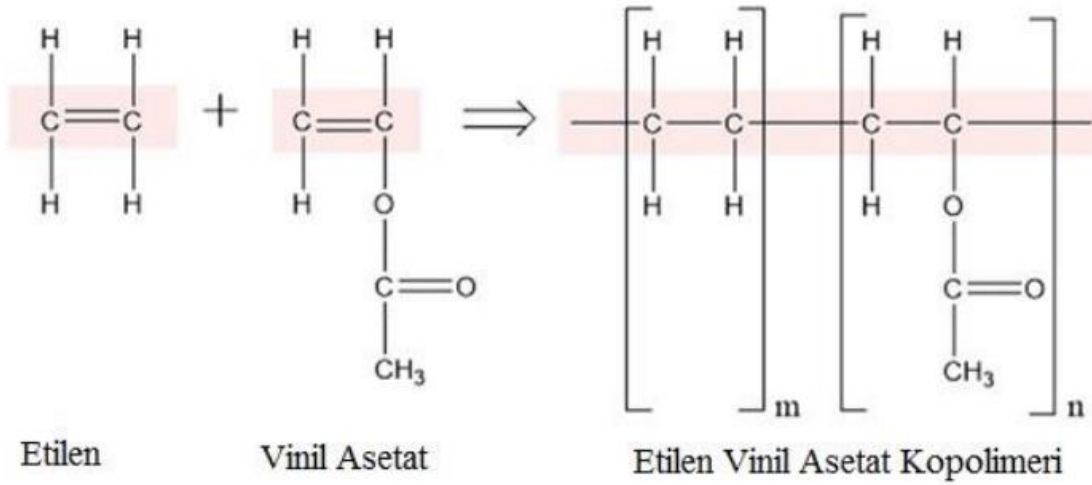
Kompozit malzemeler, farklı özelliklere sahip en az iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bu işlem, her bir malzemenin özgün özelliklerini koruyarak, bir araya getirilen malzemenin performansını iyileştirmeyi amaçlar [27,28].

Elde edilmesi hedeflenen yeni malzemenin niteliğine bağlı olarak, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle, metal, plastik, organik ya da inorganik bileşenler ve katkı maddeleri kullanılabilir. Bu durumda önemli olan husus, üretilecek malzemenin hangi özelliklere sahip olacağı ve bu özelliklere uygun bileşenlerin seçilip bir araya getirilmesidir [28,29].

2.4. Etilen Vinil Asetat (EVA)

EVA kolay işlenebilen, yaygın bir kullanım alanına sahip önemli bir termoplastik polimerdir. Etilen vinil asetat kopolimeri olarak adlandırılan EVA termoplastik elastomer bir malzemedir. Etilen ve vinil asetat monomerlerinin rastgele kopolimerizasyonu ile etilen vinil asetat kopolimeri oluşur. Kimyasal formülü $(C_2H_4)_n(C_4H_6O_2)_m$ 'dur ve içeriğindeki vinil asetat miktarına göre farklı özelliklere sahip varyasyonları vardır. Etilen vinil asetat kopolimerinin (EVA), polietilene göre daha az kristallenme eğilimi gösterdiği ve içerdiği vinil asetat nedeniyle amorf yapısının olduğu bilinmektedir. Bu amorf yapının etkisiyle EVA'nın yoğunluğu

genellikle 0,922 ile 0,943 g/cm³ arasında değişmektedir [30]. Şekil 2.8’de etilen vinil asetat kopolimerinin molekül yapısı verilmiştir.



Şekil 2.8. Etilen vinil asetat kopolimerinin molekül yapısı.

EVA, esnek, şeffaf, yumuşak ve düşük sıcaklıklarda katılaşabilen bir kopolimerdir. Yüksek ozon direnci, çatlama gerilimine dayanıklılık, ultraviyole ışınımına ve hava şartlarına karşı dayanıklılık gösterir ve mekanik özellikleri oldukça iyidir. Ağırlıkça %2-50 oranında vinil asetat içeren EVA türleri yaygın olarak kullanılır. Vinil asetat oranı, molekül ağırlığı ve moleküler dallanma yapısındaki farklılıklar, EVA'nın erime sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, solventlerde çözünme özelliği ve direnci, yapışma gibi temel karakteristik özelliklerini etkiler [31].

Vinil asetat oranının artmasıyla birlikte, EVA kopolimerinin kristallenme özelliği kaybolur ve %50 vinil asetat içeriğine ulaşıldığında tamamen amorf bir yapı kazanır. Vinil asetatın polar yapısı, EVA'nın polaritesini artırır ve birçok plastik ve reçine ile uyumluluğunu güçlendirir. Ayrıca, spesifik yapışma kuvvetindeki artış, EVA'nın endüstriyel kullanım alanını genişletir. EVA'daki VA vinil asetat içeriği arttıkça, asetoksi yan zincirinin polar doğası nedeniyle malzemenin polaritesi de artar. Bu polarite artışı, önemli özelliklerin ayarlanmasını sağlar ve EVA'yı çeşitli endüstriyel uygulamalara uygun hale getirir. Bu uygulamalar arasında esnek shrink filmler, tarım filmleri, kaplamalar, boyalar, ayakkabı tabanları, sıcak eriyik ve ısıyla yapışan yapıştırıcılar, yarı geçirgen filmler, esnek oyuncaklar, borular ve çapraz bağlı köpüklü lastikler bulunur [31,32].

EVA kopolimeri %4 oranından düşük vinil asetat içeriyorsa düşük yoğunluklu polietilen ile benzer özellikler gösterir ancak düşük yoğunluklu polietilene göre daha esnek, daha yumuşak ve daha parlaktır. Toksik değildir [30].

%7,50-12,0 vinil asetat içeriğine sahip etilen vinil asetat kopolimerinin darbe dayanımı yüksektir ve esnekliği fazladır. Bu karakteristik özellikleri sebebiyle yüksek performanslı film kaplamada kullanımı tercih edilir.

%20-40 oranında vinil asetat içeren etilen vinil asetat kopolimerinde vinil asetat oranının artmasıyla kristallenmesi düşer, şeffaflığı ve esnekliği artar. Çoğunlukla ekstrüzyon ve kalıplama uygulamalarında kullanılır [33].



Şekil 2.9. EVA granülleri

Eğer EVA kopolimeri %40 oranından fazla vinil asetat içeriyorsa etilen vinil asetat kauçuğu olarak isimlendirilir [30].

EVA kopolimerinin içerdiği vinil asetat miktarına bağlı olarak özellikleri değişmektedir. Buna bağlı olarak kullanım alanı da fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre şekillenir, dolayısıyla endüstriyel anlamda birçok farklı alanda kullanım olasılığı mevcuttur. EVA, ambalaj filmlerinde, kablo yalıtımında, yapıştırıcılarda, kâğıt kaplamalarında ve halı tabanlarında kullanılır. Ayrıca, medikal uygulamalarda ve ilaç salım sistemlerinde de yer alır. Aynı zamanda köpük formunda iç/dış ayakkabı tabanlarında, yalıtım bantlarında, ses ve ısı yalıtımında, yer kaplamalarında, hayvan yataklarında, oyuncaklarda, el aletlerinde, kurşun geçirmez yelek, kask ve dizlik gibi koruyucu ekipman içlerinde, nakış işinde dolgu malzemesi olarak kullanılır. Düşük VA içeriğine sahip EVA'lar, elektriksel öz direncinin yüksek olması, görece iyi yalıtkan

özellik göstermesi, düşük sıcaklıklarda işlenebilmesi ve çapraz bağlanabilmesi, su absorpsiyonunun düşük ve optik olarak berraklığının yüksek olmasına bağlı olarak güneş panellerinde film olarak kullanılabilir. VA içeriği ağırlık %20'nin üzerinde olan EVA kopolimerleri genel olarak ısı eritmeli (hot-melt) yapıştırıcı uygulamalarında tercih edilmektedir [34].

2.5. Katkılar/Dolgular

Katkı malzemeleri, plastik ürünlerin özelliklerini çeşitlendirmek için geniş bir seçenek yelpazesine sahiptir. Organik ve inorganik bileşiklerden oluşan bu malzemeler, plastik ürünlerde dolgu malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Bu katkı malzemeleri, farklı doğal özelliklere, kimyasal yapıya, boyuta, şekle ve forma sahiptir. Genellikle kompozit malzemedeki matris ile karışım oluşturmayan hem erimiş hem de katı fazda sert olan bu malzemeler, farklı yapısal özelliklere neden olabilirler [35].

Dolgu kullanımı kompozit yapının mekanik özelliklerinde birçok değişime neden olmaktadır. Bu değişimler yapının bazı özelliklerini azaltsa da kullanılan dolgu malzemesine bağlı olarak su direnci, gelişen yüzey özellikleri, sertlik, termal ya da boyutsal kararlılık, ısı dayanımı, alev ve duman geciktirme gibi özelliklerin geliştirilebileceği de bilinmektedir. Bu nedenle, kompozit malzeme tasarımında, kullanım amacına yönelik olarak çeşitli dolgu malzemeleri tercih edilmektedir.

Yapılan literatür araştırmaları göz önünde bulundurularak bu çalışmada inorganik katkılardan baryum sülfat, baryum karbonat mineralleri kullanılmıştır. Bunlara ek olarak tungsten, tungsten karbür kobalt ve nikel tungsten oksit alaşımları kullanılmıştır.

2.5.1. Baryum Sülfat (Barit), Baryum Karbonat

Barit, kimya ve malzeme bilimlerinde önemli bir bileşiktir. Kimyasal formülü $BaSO_4$ olan barit, bir baryum atomunun bir sülfat iyonu ile birleşmesiyle oluşur. Genellikle beyaz veya renksiz olan barit, yüksek yoğunluğu ve orta sertliğiyle karakterizedir. Hidrotermal kayaların bir bileşeni olarak oluşan barit, genellikle mermer, kalker ve metamorfik kayalar içinde bulunur ve bazen volkanik kayalarla ilişkilendirilir. Baritin çeşitli endüstrilerde kullanımı vardır; petrol ve gaz endüstrisinde sondaj çamurlarında ağırlık malzemesi olarak, kimya endüstrisinde klor alkali ürünlerin üretiminde ve radyolojide kontrast madde olarak kullanılır. Ayrıca boya endüstrisinde beyaz renk pigmenti olarak da kullanılır.

Barit cevheri, nükleer enerji santrallerinde duvarlarda etkili bir şekilde kullanılan bir dolgu malzemesidir, çünkü alfa ve gama ışınları gibi yüksek enerjili radyoaktif ışınları absorbe

edebilme özelliğine sahiptir. Bu özelliği sayesinde, santrallerdeki radyasyon seviyelerinin kontrol altına alınmasına katkı sağlar ve santral yapılarının güvenliğini artırır [36].

Barit (baryum sülfat), radyasyon zırhlama özellikleriyle bilinen bir mineraldir. Bu özellikleri, baritin yüksek yoğunluğu ve baryum atomunun yüksek atom numarası ile ilişkilendirilir. Yoğunluğu yaklaşık 4.5 g/cm^3 olan barit, radyasyona karşı etkili bir zırhlama oluşturabilir. Radyasyon, baritin içinden geçerken baryum atomları tarafından absorbe edilir ve dağıtılır, bu da radyasyonun geçişini azaltır. Bu özellikleri nedeniyle barit, özellikle tıbbi görüntüleme ve endüstriyel radyografi gibi uygulamalarda radyasyon koruyucu madde olarak kullanılır. Ayrıca nükleer tıp alanında da önemli bir rol oynar. Barit, insanların ve çevrenin radyasyona maruz kalma riskini minimize etmeye yardımcı olan önemli bir malzeme olarak kabul edilebilir.

Baryum karbonat, beyaz renkli ve kristal yapıda bir toz veya katı halde bulunan bir bileşiktir. Kimyasal olarak BaCO_3 formülüne sahip olan bu bileşik, endüstriyel olarak cam ve seramik endüstrilerinde kullanılan baryum karbonat, optik özelliklerin iyileştirilmesi ve opaklaştırıcı olarak kullanım bulur. Baryum karbonat, yüksek atom numarası ve yoğunluğu sayesinde X-ışınları ve gama ışınları gibi yüksek enerjili radyasyon türlerini etkili bir şekilde zayıflatır. Bu özellikleri ile baryum karbonat içeren kompozitler veya betonlar, radyasyon koruması gereken alanlarda etkili bir zırh olarak kullanılabilir. Ayrıca, baryum karbonatın toksik olmaması ve kolay bulunabilir olması, onu radyasyon zırhlamada tercih edilen bir malzeme haline getirir.

2.5.2. Tungsten, Tungsten Karbür Kobalt, Nikel Tungsten Oksit

Yapılan literatür araştırmalarında radyasyon kalkanlama uygulamaları için tekstil, inşaat ve koruyucu zırhlama ürünleri çalışmalarında tungsten ve tungsten içeren çeşitli malzemelerin kurşuna alternatif olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Tungsten, periyodik tabloda geçiş metallerinden biri olup çok yüksek bir erime noktasına ve yoğunluğa sahiptir. Bu özellikleri, onu yüksek sıcaklık ve radyasyon içeren uygulamalarda kullanışlı hale getirir. Bu nedenle, tungsten genellikle nükleer reaktörlerde, tıbbi radyasyon tedavi ekipmanlarında ve radyasyon dedektörlerinde kalkan malzemesi olarak kullanılır. Tungsten, çoğu kimyasal maddeye karşı oldukça dirençlidir, bu da uzun süreli kalkanlama uygulamalarında dayanıklılığını artırır. Özellikle nükleer reaktörlerde ve uzay uygulamalarında bu özellik önemli bir avantaj sağlamaktadır. İncelenen çalışmalarda Tungstenin, gama ışınları ve X-ışınları gibi yüksek enerjili radyasyon türlerini absorbe etme ve radyasyon zayıflatma kapasitesinin iyi olduğu gözlemlenmiş ve tıbbi radyoterapi, endüstriyel radyografi ve nükleer enerji alanlarında önemli bir avantaj sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Özetle, tungstenin yüksek yoğunluğu, yüksek

atom numarası ve termal özellikleri birçok radyasyon kalkanlama uygulaması için ideal hale getirir.

Tungsten içeren farklı malzemelerin de benzer çalışmalarda kullanıldığı görülmüştür. Özellikle tungsten karbür ve benzeri malzemelerin radyasyon kalkanlama için farklı uygulamaları gözlemlenmiştir. Polimer matrisli bazı kompozit malzemeler ile farklı oranlarda ve formlarda çalışmalar yapılmış ve çeşitli radyasyon ışınlarını kalkanlama ve kurşuna alternatif olma eğilimleri incelenmiştir. Tungsten karbür; yüksek yoğunluk ($15,6 \text{ g/cm}^3$) ve yüksek basma dayanımı, deformasyon ile aşınmaya karşı direnç ve yüksek sıcaklık uygulamalarına karşı termal direnç gibi özelliklerinden dolayı malzeme sektöründe ön plana çıkmaktadır. Korozyona ve oksidasyona karşı dirençli olması da endüstriyel ortamlarda uzun ömürlülüğünü artırır. Radyasyon kalkanlama özelliklerine değinecek olursak, tungsten karbür, yüksek bir atom numarasına ($Z=74$) sahiptir, bu da onu etkili bir radyasyon kalkanı haline getirir. Yüksek atom numaralı malzemeler, gama ışınları ve X-ışınları gibi yüksek enerjili radyasyonu daha iyi absorbe eder ve dağıtır. Tungsten karbürün yüksek yoğunluğu, birim kütle başına radyasyonu daha etkili bir şekilde absorbe etmesini sağlar ve üstün kütle zayıflatma özellikleri sunar. Yüksek enerjili fotonları absorbe etmede özellikle başarılı olan tungsten karbür, tıbbi ve endüstriyel radyasyon kalkanlama uygulamalarında tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir. Kurşunun aksine, tungsten karbür toksik değildir, bu da sağlık tehlikeleri ve bertaraf sorunlarını azaltır. Bu özellikleri, onu radyasyon kalkanlama için daha güvenli bir alternatif yapar [14,37].

Tungsten karbür kobalt (WC-Co), tungsten karbür partiküllerinin kobalt matrisi içinde birleştiği bir malzemedir. Tungsten karbür, yüksek sertlik ve aşınma direnci ile bilinirken, kobalt bağlayıcı faz olarak görev yapar ve malzemenin tokluğunu artırır. Tungsten karbür kobalt malzemeleri, kesici takımlar ve aşındırıcıların üretiminde kullanılmaktadır. Radyasyon kalkanlama alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde bazı polimer matrisli kompozitlerde tungsten karbür kobaltın da yer aldığı görülmüştür. Yüksek yoğunlukları ve gelişmiş mekanik özellikleri nedeniyle radyasyon kaynaklı ışınları zırlamada etkili olabileceği görülmüştür. Tungsten karbür kobaltın polimer reçine matrisine homojen ve düzgün bir şekilde dağıtılması, kompozitin mekanik dayanıklılığını ve yapısal bütünlüğünü artırır. Buna bağlı olarak tungsten karbür kobaltın dolgu olarak kullanıldığı polimer matrisli çalışmalarda dolgu oranı arttırıldığında gama ışını zırlamasının arttığı görülmüştür [14].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Kimyasallar

Deneylerde polimer olarak etilen vinil asetat, dolgu malzemeleri olarak baryum sülfat, baryum karbonat mineralleri ve tungsten, tungsten karbür kobalt, nikel-tungsten oksit bileşenleri kullanılmıştır.

Etilen Vinil Asetat

Deneylerde polimer olarak vinil asetat içeriği %40 olan granül formunda ‘Du Pont Elvax 40W’ etilen vinil asetat kopolimeri kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Etilen vinil asetat kopolimeri

Kullanılan polimere ait bazı mekanik ve fiziksel özellikler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. EVA kopolimeri mekanik ve fiziksel özellikler

Fiziksel Özellikler	Metrik Değer	Açıklama
Yoğunluk	0,965 g/cm ³	ASTMD1505
Vinil Asetat İçeriği	% 40	DuPont Metod
Erime İndeksi	52 g /10 dakika	ASTMD1238,modifiye edilmiş
Mekanik Özellikler	Metrik Değer	Açıklama
Sertlik, Shore A	40	10 saniye, ASTM D2240
Kopmada Çekme Dayanımı	4.80 - 6.20 MPa	ASTM D1708
Kopmada Uzama	%1000 - 1300	ASTM D1708
Çekme Modülü	0.00300 GPa	ASTM D638

Baryum Sülfat, Baryum Karbonat

Deneylerde inorganik dolgu malzemesi olarak Merck firmasına ait baryum sülfat ve baryum karbonat mineralleri kullanılmıştır. Kullanılan inorganik dolgu minerallerine ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. İnorganik dolgu minerallerinin özellikleri

Fiziksel/Kimyasal Özellik	Baryum sülfat	Baryum karbonat
Fiziksel hal	Katı toz	Katı toz
Görünüm	Beyaz kristal	Beyaz kristal
Erime Noktası	1380-1580 °C	811 °C
Yoğunluk	4.48 g/cm ³	4.29 g/cm ³
Molekül Formülü	BaSO ₄	BaCO ₃

Tungsten, Tungsten Karbür Kobalt, Nikel Tungsten Oksit

Deneylerde metalik katkı malzemeleri olarak Alfa Aesar’a ait aşağıdaki kimyasallar kullanılmıştır;

- W Powder: Tungsten Powder, Alfa Aesar 45379
- WC-Co: Tungsten Carbide Cobalt, Alfa Aesar 22955
- Ni-WO₄ : Nickel Tungsten Oxide, Alfa Aesar 41826

Kullanılan metalik tozlara ait fiziksel ve kimyasal bilgiler Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3. Metalik katkı toz malzemelerinin özellikleri

Fiziksel Özellikler	Tungsten Tozu	Tungsten Karbür Kobalt	Nikel Tungsten Oksit
Fiziksel hal	Katı	Katı	Katı
Görünüm	Koyu gri, metalik	Koyu gri, metalik	Açık kahverengi
Erime Noktası +/-50	3410 °C	2870 °C	1420 °C
Yoğunluk	8,93 g/cm ³	15,03 g/cm ³	8,9 g/ cm ³
Molekül Formülü	W	WC:Co; 94:6 wt%	Ni-WO ₄

3.2. Numunelerin Hazırlanması

3.2.1. Numune Bileşenlerinin ve Oranlarının Belirlenmesi

Deneylerde polimer olarak etilen vinil asetat kopolimeri, dolgu malzemeleri olarak toz formda baryum sülfat, baryum karbonat mineralleri ve tungsten, tungsten karbür kobalt, nikel-tungsten oksit toz bileşenleri kullanılmıştır. Farklı dolgu oranları ile kombinasyonlar yapılarak hazırlanan numune bileşimleri Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. Numune bileşimleri

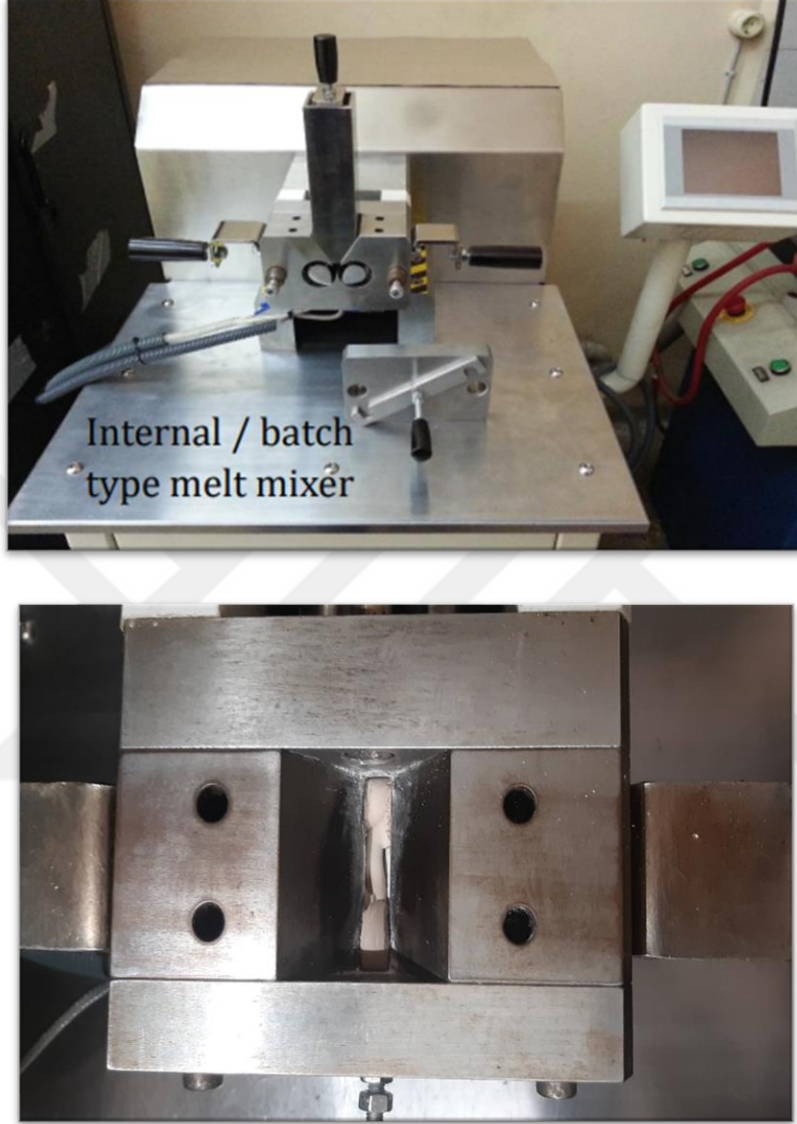
Kod	% Ağırlıkça					
	Etilen vinil Asetat kopolimeri	Baryum Sülfat (BaSO ₄)	Baryum Karbonat (BaCO ₃)	Tungsten Tozu (W)	Tungsten Karbür Kobalt Tozu (WC-Co)	Nikel Tungsten Oksit Tozu (Ni-WO ₄)
0	100	-	-	-	-	-
1	40	60	-	-	-	-
2	30	70	-	-	-	-
3	25	75	-	-	-	-
4	20	80	-	-	-	-
5	30	35	35	-	-	-
6	30	-	70	-	-	-
7	20	75	-	5	-	-
8	20	70	-	10	-	-
9	20	60	-	20	-	-
10	20	75	-	-	5	-
11	20	75	-	-	-	5



Şekil 3.2. Polimer ve dolguların karıştırma öncesi görüntüsü

3.2.2. Eriyikte Karıştırma ile Numunelerin Hazırlanması

Hazırlanan bileşimler 140 °C ‘de 75 devir/dak hız ile Şekil 3.3’te gösterilen kap tipi eriyik karıştırıcıda karıştırılmıştır.



Şekil 3.3. Kap tipi eriyik karıştırıcı

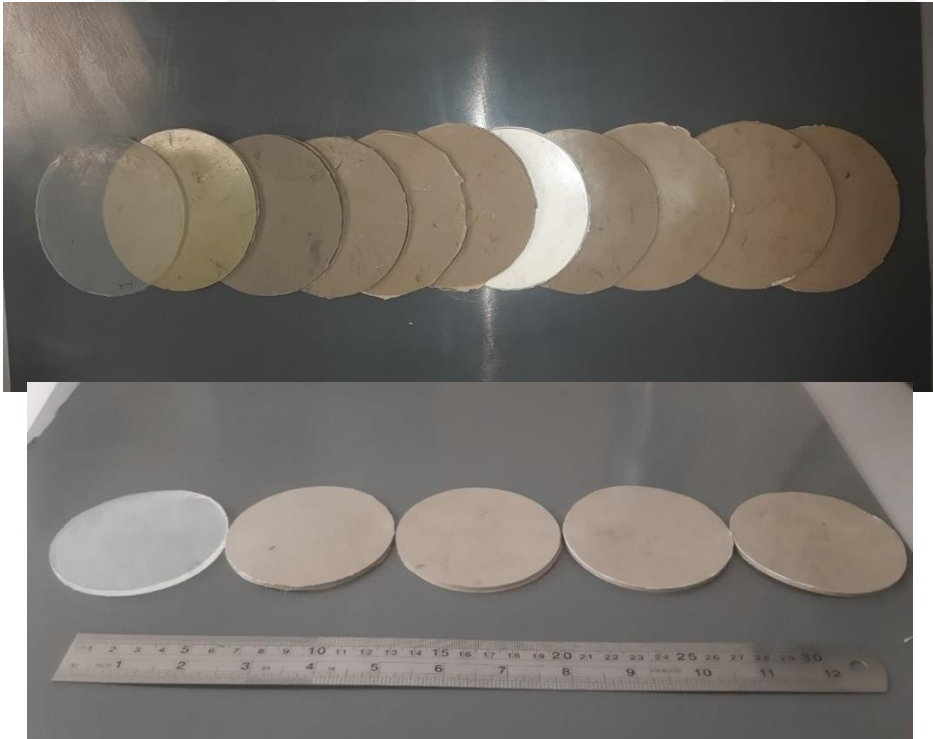
3.2.3. Test Parçalarının Ölçümler İçin Hazırlanması

Kap tipi eriyik karıştırıcıda hazırlanan numune parçaları Şekil 3.4’te gösterilen sıcak ve soğuk preslerde şekillendirilmiştir. Presleme işlemi 150 derecede, 5 ton basınç altında 5 dakika eritme ve yine 5 ton basınç altında soğuk su devretmeli preste 5 dakika soğutma şeklinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Şekillendirme işleminin yapıldığı sıcak ve soğuk pres

Bu işlem yapılırken metal levha kalıpları kullanılarak farklı test ölçümleri için farklı şekillerde numuneler hazırlanmıştır. Disk şeklinde hazırlanan 3mm kalınlığında ve 8 mm çapındaki test parçalarına ait görseller Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Disk şeklinde hazırlanan test parçaları

Çekme testi için hazırlanan numunelerin genel görüntüsü Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Çekme testi için hazırlanan numuneler

3.3. Mekanik Testler

3.3.1. Çekme Testi

Çekme testi, kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirmek için temel bir yöntemdir ve mühendislik uygulamalarında bu malzemelerin performansını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılır. Kompozit malzemeler, genellikle bir matris malzemesi ile takviye elemanlarından oluşur ve bu bileşenlerin birlikte nasıl etkileştiğini anlamak için çekme testleri gerçekleştirilir. Standartlara göre yapılan çekme testleri, kompozit malzemelerin çekme mukavemeti, elastik modülü, kırılma uzaması gibi önemli mekanik özelliklerini belirlemektedir. Çekme testi sonuçları, kompozit malzemelerin endüstrideki uygulamalarını değerlendirirken, malzeme bilimi ve mühendislik araştırmalarına önemli katkılarda bulunur.

Tez çalışması için hazırlanan numunelerin mekanik testlerini gerçekleştirmek için İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi Kimya Mühendisliği laboratuvarında bulunan TX-700 Texture Analysis cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.7. TX-700 Texture Analysis cihazı

Çekme hızı 0,3mm/saniye olarak ayarlanmış ve her bir numune bileşimi için üç parça test edilerek, ortalama değerler alınmıştır.

3.3.2. Shore A Sertlik Ölçümü

Numunelerin sertlik ölçümleri Şekil 3.8’de görseli verilen Tronic marka analog shore durametre cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 3.8. Shore Durametresi

Sertliği ölçülecek olan malzeme sert ve düz bir zemine konulmuş ve durametrenin altındaki iğne numuneye batacak şekilde 15 saniye boyunca bastırılmıştır. Skaladaki sayı birimsiz olarak okunup sertlik değeri kaydedilmiştir.

3.4. Termal Testler

3.4.1. DSC Analizi

Hazırlanan bileşimlerin erime davranışları, Şekil 3.9’da verilen SII Nanotechnology markasının DSC 6200 modelindeki diferansiyel taramalı kalorimetre (Differential Scanning Calorimetry, DSC) cihazında gerçekleştirilen termal analizlerle incelenmiştir.



Şekil 3.9. DSC Cihazı

Hazırlanan kompozit parçalardan 10-12 mg arası örnekler tartılarak, sıcaklık dakikada 10°C arttırılarak 0°C'den 150°C'ye ısıtıldı. Numunelerin termal stabilitesi için 150 °C’de 2 dakika bekletildi. Daha sonra, numuneler dakikada 10°C hızla 0°C'ye soğutuldu ve 0°C sıcaklıkta 2 dakika bekletilerek stabil hale getirildi. Ardından numuneler, erime ve kristallenme eğrilerini kaydetmek amacıyla tekrar 0°C'den 150 °C'ye dakikada 10°C arttırılarak ısıtıldı. Tüm ısıtma ve soğutma işlemleri, ortamdan geçen azot (N₂) gazıyla 50 ml/dakika akış hızında gerçekleştirildi.

3.5. Yoğunluk Ölçümleri

Hazırlanan nihai kompozitlerin deneysel yoğunluğu arşimet prensibi ile ölçüm yapan Radwag markalı Density Determination KIT 85 kit ve terazisi ‘Solid Density Mode’ ile yapılmıştır. Kullanılan cihaza ait görsel Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10. Density Determination KIT 85 ve terazi

Bu yöntem, bir katı cismin yoğunluğunu, sıvı içine daldırıldığında yer değiştirdiği sıvının hacmini ölçerek belirler. Cihazda bulunan katı yoğunluk ölçüm metodu ile kompozitin kesilen katı parçasının havadaki kuru ağırlığı hassas terazi ile tartılır ve kaydedilir. Daha sonra sıcaklığı, yoğunluğu bilinen ve metoda tanımlanan sıvı içine tamamen batırılır. Cismin üzerine etki eden kaldırma kuvveti nedeniyle ölçülen ağırlığı kaydedilir ve cihazdan katı yoğunluk değeri okunur.

3.6. Radyasyon Kalkanlama Testleri

RPE, bir malzemenin radyasyona karşı ne kadar etkili koruma sağladığını ölçen bir kavramdır. Bu terim genellikle radyasyon kalkanlarının performansını değerlendirmek için kullanılır. İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Fizik Bölümü’nde yapılan radyasyon kalkanlama testleri ile hazırlanan kompozit numunelerinin X ışınları ve radyoizotop kaynaklarına karşı ne kadar koruma sağladığını ifade eden RPE yüzde değerleri belirlenmiştir.

X-Işını kaynağı olarak Ampetek Mini X-ray tüpü kullanılmıştır ve farklı enerji seviyelerinde (20 kV, 30 kV, 40 kV, 48 kV) X-ışınları üretilmiştir.

Radyoizotop kaynakları olarak Cs-137 ve Am-241 radyoizotopları kullanılmıştır. Cs-137 beta ışınları ve yüksek enerjili gama ışınları yayarken, Am-241 düşük enerjili gama ışınları ve alfa parçacıkları yayar.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Mekanik ve Fiziksel Özellikler

4.1.1. Çekme Testi ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

TX-700 Texture Analysis cihazında gerçekleştirilen çekme testi için her bir numuneden Şekil 4.1.' deki gibi hazırlanmıştır. Her bir bileşim çekme testi ölçümleri 3 kere yapılmıştır. Uygulanan kuvvet 30 N 'dur ve çekme hızı 0,3 mm/saniye olarak ayarlanmıştır.

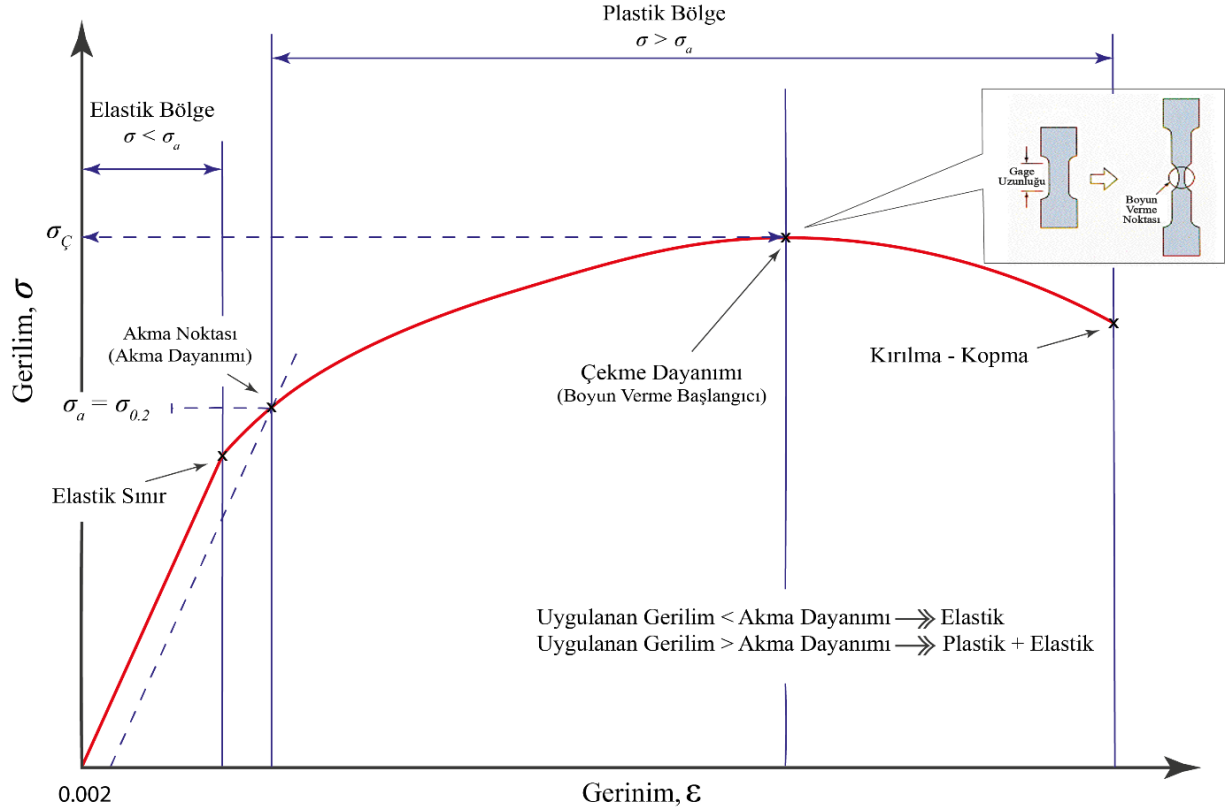


Şekil 4.1. Çekme testi için hazırlanan numuneler

Malzemelere çekme testi uygulandığında, malzemenin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışları belirlenir. Bu test için, Şekil 4.1'de gösterildiği şekilde hazırlanan numuneler, bir test cihazı tarafından kuvvet uygulamak üzere çekilir. Test sırasında, uygulanan kuvvet ve malzemenin bu kuvvete karşılık olarak gösterdiği uzama davranışı kaydedilir. Bu ölçümler, malzemenin elastik sınırını ve plastik deformasyon özelliklerini anlamak için kullanılır.

Küçük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış gösterir; yani kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanarak malzeme eski haline geri döner. Kuvvet uygulanmaya devam ettikçe **akma noktasına** ulaşan malzemede kuvvet aynı kalırken yüksek oranda plastik deformasyon oluşur. Malzeme üzerindeki kuvvet gittikçe artırılır, gerilme noktası maksimum seviyeye ulaşana kadar devam edilir. Bu noktada, malzemenin kesitinde yerel daralmalar oluşmaya başlar. Bu durum, malzemenin boyun vermesi olarak bilinir. Malzemenin boyun vermeye başladığı bu nokta **çekme dayanımıdır**. Kuvvet uygulanmaya devam ettikçe malzemede kopma veya kırılma gerçekleşir. Malzemenin kopmasının gerçekleştiği andaki yüzde uzama miktarı **yüzde kopma uzaması olarak**

adlandırılır. Malzemelerin plastik ve elastik bölgelerinde incelenen gerilme ve gerinim ilişkisi Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Plastik ve elastik bölgelerinde malzemenin gerilme ve gerinim ilişkisi

Çekme testi ve sonuçlarının daha anlaşılabilir yorumlanması açısından bazı terimler ve formüller aşağıdaki şekilde açıklanmıştır;

Gerilme (σ): Gerilme, birim alana etkiyen kuvvettir ve malzemenin üzerine uygulanan yüklerin ne kadar baskı oluşturduğunu ifade eder. Gerilme, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

A: Kuvvetin uygulandığı alan

F: Malzemeye uygulanan kuvvet

σ : Gerilme

Birim Şekil Değişirme (ε): Birim şekil değişirme, numunenin uzama miktarının orijinal uzunluğuna oranıdır.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

L_0 : Malzemenin başlangıçtaki uzunluğu,

ΔL : Malzemenin son uzunluğu-malzemenin başlangıç uzunluğu

ε :Birim şekil değişirme

Akma Dayanımı(σ_a) : Bir malzemenin kalıcı deformasyon göstermeye başladığı noktadaki gerilme değeridir.

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A_0}$$

Yüzde Kopma Uzaması: bir malzemenin kopma noktasına kadar ne kadar uzadığını ifade eden bir ölçüdür.

$$\Delta L = L_k - L_0$$

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

ΔL : Malzemenin son uzunluğu-malzemenin başlangıç uzunluğu

L_0 : Malzemenin başlangıçtaki uzunluğu

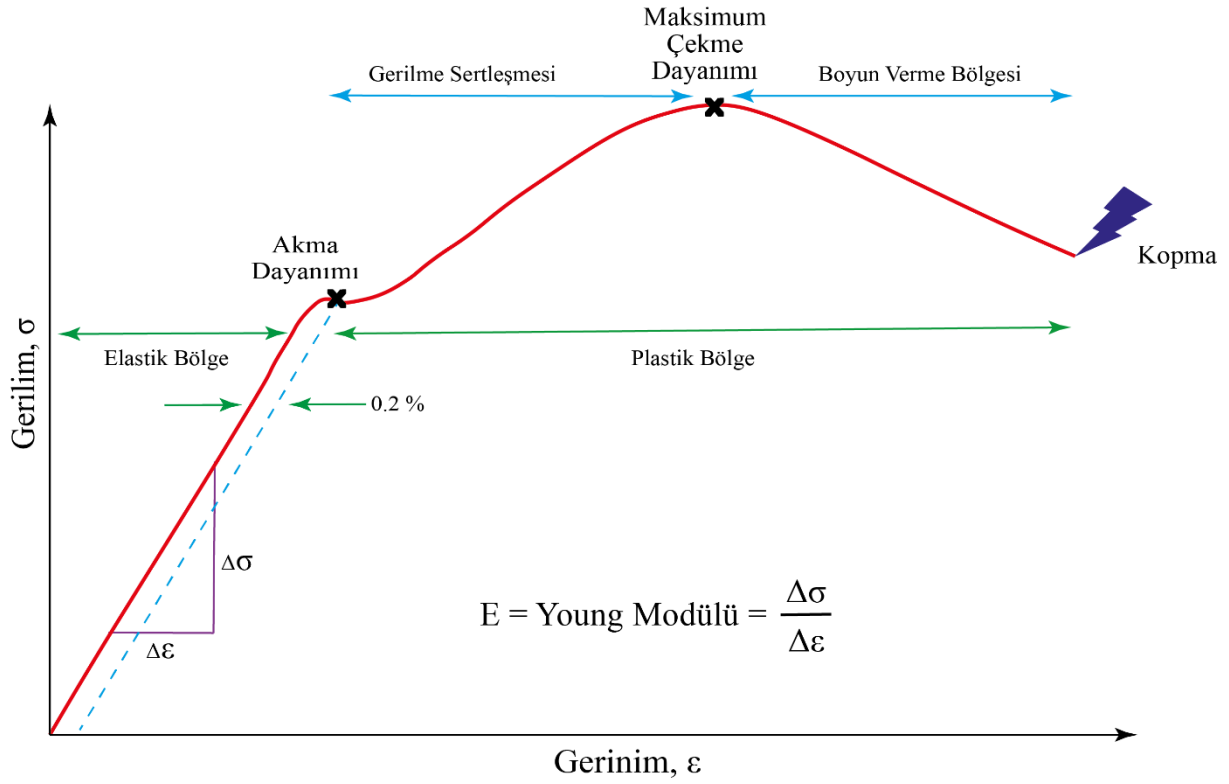
L_k : Malzemenin koptuğu andaki uzunluğu

$KU(\%)$: Yüzde kopma uzaması

Elastisite Modülü(Young Modülü)

Malzemeye bir yük uygulandıktan sonra malzemenin orijinal boyutuna geri dönme yeteneğini gösterir ve malzeme sertliğini ölçmek için kullanılabilir. Malzeme, kalıcı bir deformasyon sergilediğinde ve artık orijinal boyutuna dönmediğinde, bu noktada Hooke Kanunu geçerli olmaz. Hooke Kanunu esnek bir malzemeyi germek için gereken kuvvetin, malzemenin uzunluğundaki değişimle doğru orantılı olduğunu belirten yasadır. Bu kanuna göre kuvvet ne

kadar artarsa malzeme o kadar uzar. Hook Kanunun geçerli olmadığı ve malzemede kalıcı deformasyonun gerçekleşmeye başladığı bu nokta, malzemenin elastik sınırı olarak bilinir.



Şekil 4.3. Malzemenin plastik ve elastik bölgelerinde gerilme ve gerinim ilişkisi ve elastisite modül hesabı

Young modülü, gerinim değişimi üzerindeki gerilme değişikliğidir, aşağıdaki eşitlikle hesaplanır .

$$E \equiv \frac{\text{Çekme gerilmesi}}{\text{Birim şekil değiştirme}} = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0} = \frac{FL_0}{A_0\Delta L}$$

E: Elastikiyet katsayısı(Young katsayısı), Pa

A_0 : Malzemeye kuvvetin uygulandığı birim alan,

L_0 : Malzemenin başlangıçtaki uzunluğu,

F: Malzemeye uygulanan kuvvet,

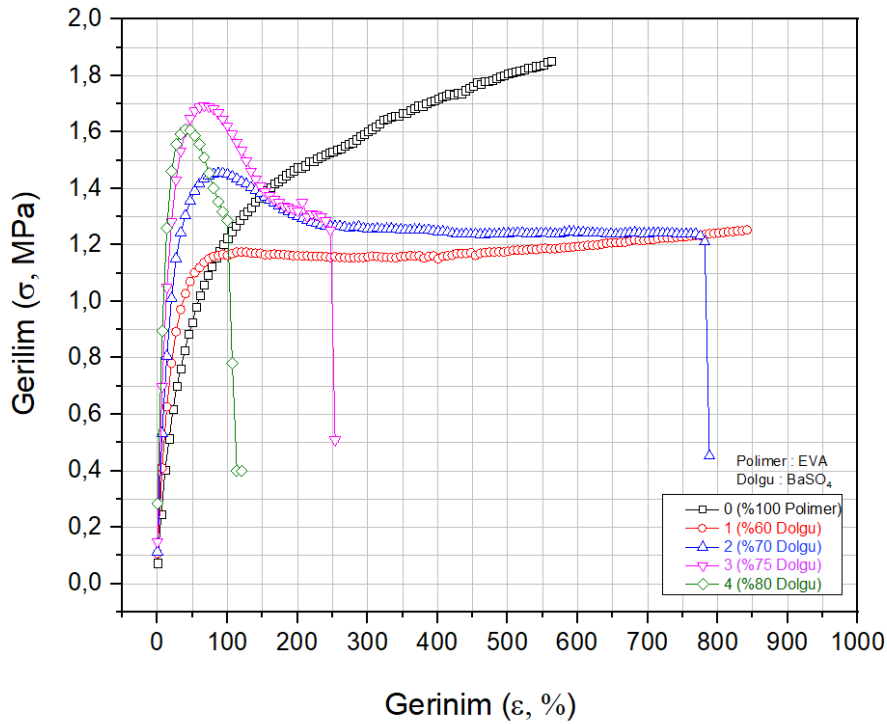
ΔL : Malzemenin son uzunluğu-malzemenin başlangıç uzunluğu

Tüm numunelere 3 tekrarlı çekme testi yapılarak her bir kompozit numunenin gerilme, birim şekil değiştirme verileri alınmıştır. Çekme testi sonuçlarından her bir numune için gerilim-gerinim grafikleri oluşturulmuş ve Elastisite Modülleri hesaplanmış, akma dayanımı ve kopma uzaması değerleri belirlenmiştir.

Kompozitlerin mekanik özelliklerine ait parametreler dolgu oranlarına göre gruplandırılarak karşılaştırılmıştır;

- **Farklı Oranlarda BaSO₄ Dolgusu İçeren Kompozitler**

Bu inceleme grubunda hiç dolgu içermeyen Eva kopolimeri, %60,%70,%75 ve %80 oranlarında barit dolgusu içeren 0,1,2,3,4 numuneleri karşılaştırılmıştır. Bu gruba ait gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.4 'te verilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı oranlarda BaSO₄ dolgusu içeren numunelerin gerilim-gerinim eğrileri

Farklı oranlarda BaSO₄ içeren kompozitler incelendiğinde barit oranının artmasıyla kopma uzama yüzdesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Barit, polimerden daha sert olduğu için polimer içerisindeki oranı arttıkça kompozit malzemenin esnekliğinin azalması beklenen bir durumdur.

Dolgu maddeleri ile polimer arasındaki bağlanma yeterince gerçekleşmediyse, bu bölgelerde zayıf noktalar ya da boşluklar oluşabilir. Bu noktalar, malzemenin uzama yeteneğini azaltır ve kopma uzamasının düşmesine neden olur. Aynı zamanda barit polimer içerisinde gerilme yoğunlaşması oluşturabilir ve bu durumda malzeme erken kopma eğilimi gösterir.

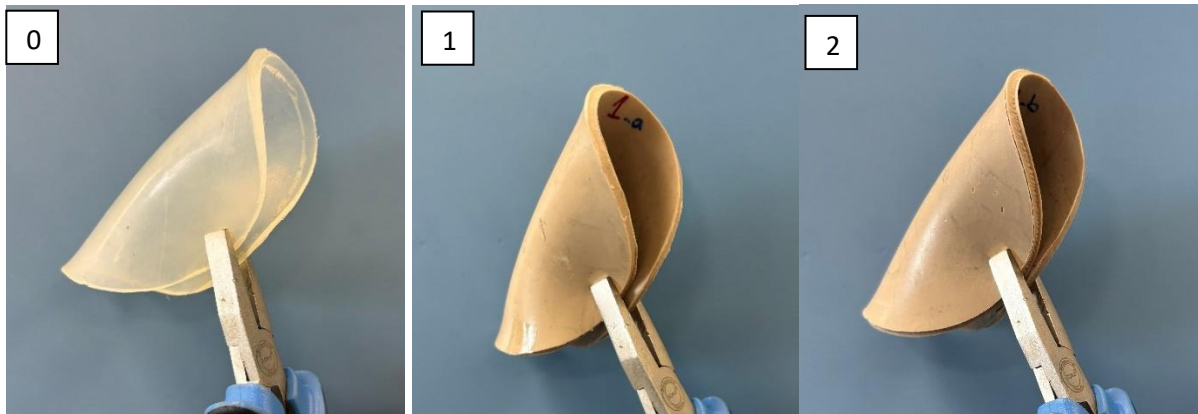
1,2,3 ve 4 numaralı numunelerde barit oranının artmasıyla elastisite modülünün arttığı görülmüştür. Dolgu oranının artmasıyla malzemede sert bölgeler oluşmuş ve polimere yapısal bir yük sağlayarak kompozitin yük taşıma kapasitesini arttırmış ve buna bağlı olarak plastik deformasyon dayanımını sınırlandırmış olabileceği düşünülmektedir.

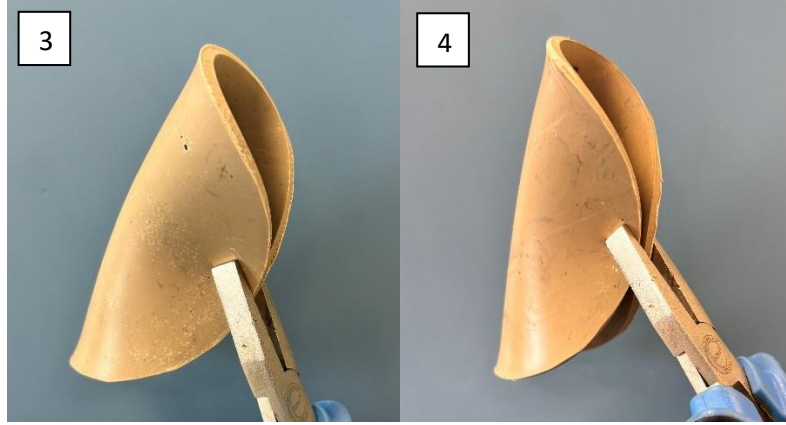
Tablo 4.1. Farklı oranlarda BaSO₄ dolgusu içeren numunelerin çekme testi sonuçları

Kod	EVA	BaSO ₄	Young Modülü (E)	Akma Dayanımı, σ_a (Mpa)	Kopma Uzaması (%)
0	100	-	2,21929 $\pm$ 0,16197	5-7 *	1000-1300*
1	40	60	2,5338 $\pm$ 0,30467	1,17	841
2	30	70	3,11156 $\pm$ 0,44632	1,45	781
3	25	75	4,00147 $\pm$ 0,60683	1,69	253
4	20	80	3,73463 $\pm$ 0,78692	1,60	113
*Eva kopolimerinin akma dayanımı ve kopma uzaması dolgu eklenen polimere göre yüksek olduğu için test koşullarında kopma gözlemlenmemiştir. Bu değerler teoriktir.					

Polimere barit eklenmesiyle polimerin akma dayanımı düşmüştür. Bu beklenen bir durumdur çünkü malzemeye dolgu eklenmesiyle elastik davranışı azalmıştır. Ancak dolgulu numuneler kendi içlerinde incelendiğinde dolgu oranının artmasıyla akma noktası yükselmiştir. Bu durum baritin polimer matrise destek sağlayarak yük taşıma kapasitesini arttırdığı şeklinde açıklanabilir.

Dolgu oranı artmasına rağmen hazırlanan kompozit malzemelerin esneklik ve şekillendirilebilirlik özelliklerini koruduğu gözlemlenmiştir.





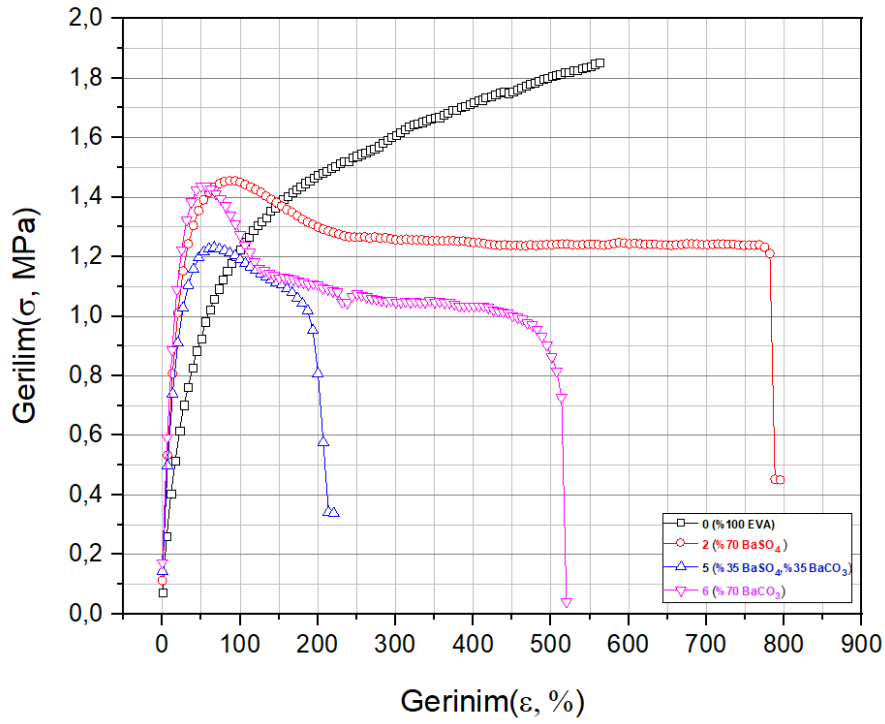
Şekil 4.5. Farklı oranlarda BaSO₄ dolgusu içeren numunelerin görüntüsü

- **%70 Dolgu İçeren Kompozitler**

Bu inceleme grubunda hiç dolgu içermeyen EVA kopolimeri , %70 BaSO₄, %35 BaSO₄ -%35 BaCO₃ ve %70 BaCO₃ dolgularını içeren 0,2,5,6 numaralı numuneler karşılaştırılmıştır. Bu gruba ait gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.6 da verilmiştir.

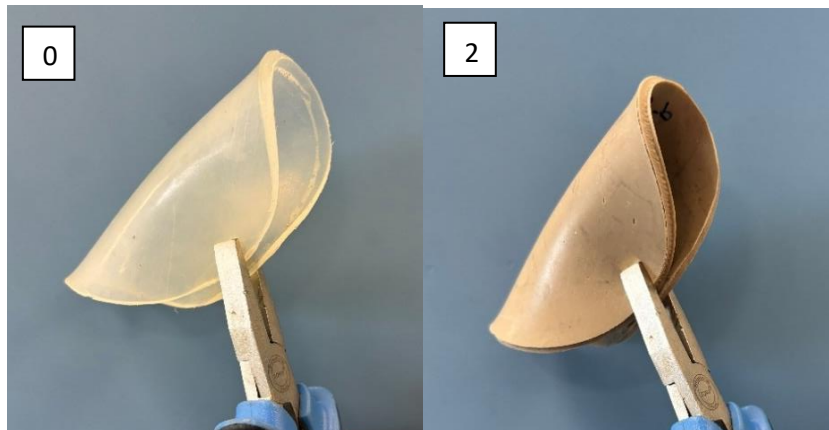
Tablo 4.2. %70 dolgu içeren numunelerin çekme testi sonuçlar

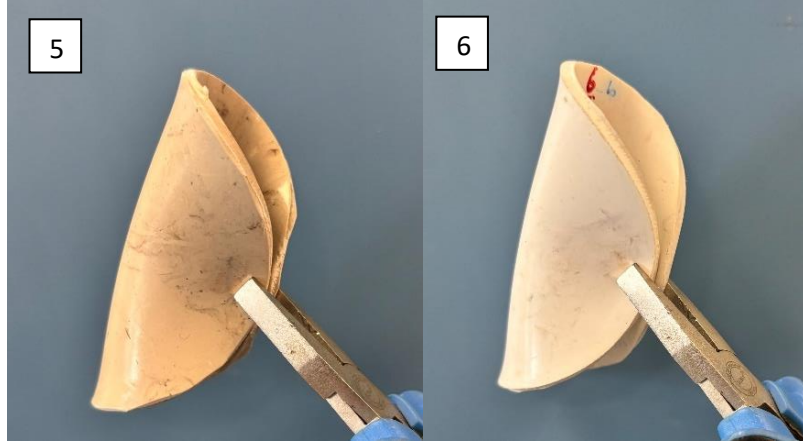
Kod	EVA	BaSO ₄	BaCO ₃	Young Modülü (E)	Akma Dayanımı, σ_a (Mpa)	Kopma Uzaması (%)
0	100	-	-	2,21929 $\pm$ 0,16197	5-7	1000-1300
2	30	70	-	3,11156 $\pm$ 0,44632	1,45	781
5	30	35	35	2,80869 $\pm$ 0,37381	1,23	213
6	30	-	70	3,58159 $\pm$ 0,47435	1,43	519



Şekil 4.6. %70 dolgu içeren numunelerin gerilim-gerinim eğrileri

BaSO₄ ve BaCO₃ dolgularının mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelediğimizde, her iki dolgu malzemesinin de malzemeyi farklı şekillerde etkilediği ortaya çıkmaktadır. BaSO₄ eklenmesi, Elastikiyet modülünü arttırmış ve akma dayanımını yükseltmiştir ancak kopma uzamasını düşürerek malzemeyi daha kırılgan yapmaktadır. Diğer yandan, BaCO₃ ilavesi Young modülünü daha fazla artırarak malzemenin sertliğini artırmakta, fakat kopma uzamasını BaSO₄'e göre daha fazla azaltarak malzemeyi daha kırılgan hale getirmektedir. Ayrıca, baryum karbonatın akma dayanımını az miktarda azalttığı gözlemlenmiştir.



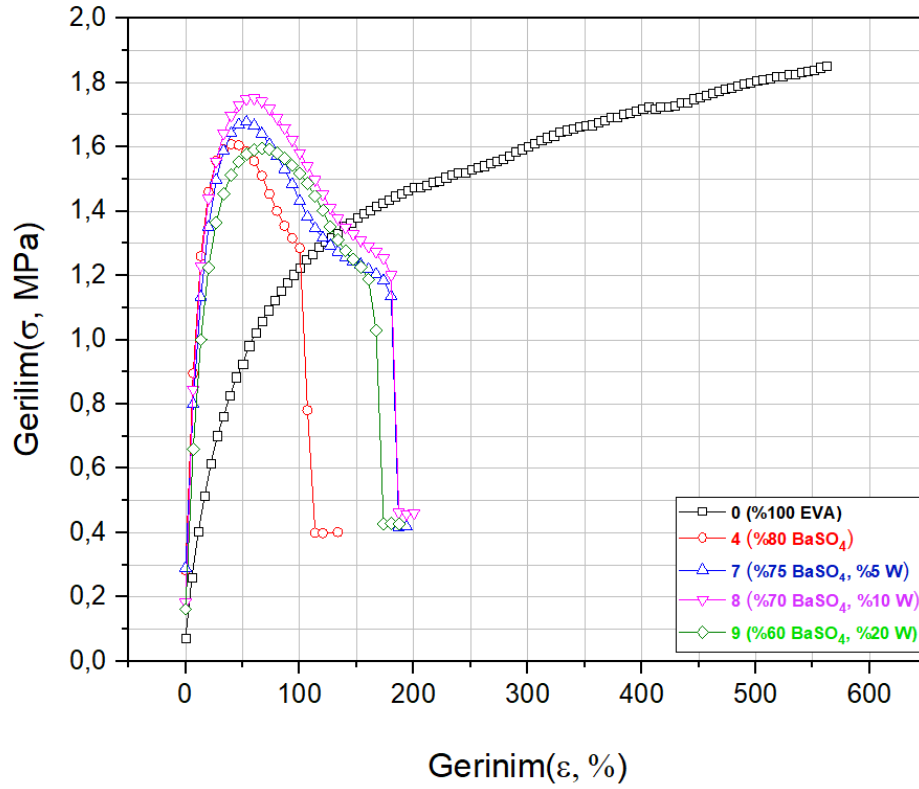


Şekil 4.7. %70 dolgu içeren numunelerin görüntüsü

- **Farklı Oranlarda Tungsten–Barit Dolgusu İçeren %80 Dolgulu Kompozitler**

Bu inceleme grubunda farklı oranlarda tungsten tozu–barit dolgusu içeren %80 dolgulu numuneler incelenmiştir. Hiç dolgu içermeyen EVA kopolimeri , %80 BaSO₄, %75 BaSO₄ -%5 W, %70 BaSO₄ -%10 W, ve 60 BaSO₄ -%20 W dolgularını içeren 0,4,7,8,9 numaralı numuneler karşılaştırılmıştır. Bu gruba ait gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.8 da verilmiştir.

Dolgu maddelerinin eklenmesiyle kompozit malzeme üzerinde değişiklikler meydana geldiği bu inceleme grubunda açıkça görülmektedir. Tungsten tozunun yüksek sertliğinden dolayı tungsten tozunun eklenmesi ve arttırılması ile kompozit malzemenin Young modülünün arttığı yani malzemenin sertleştiği görülmüştür. Tungsten tozu miktarının artmasıyla akma dayanımı hafif bir artış göstermiştir. Kopma uzaması azalmış malzeme daha kırılğan hale gelmiştir. Barit mikarı azalıp tungsten tozu miktarı arttırıldıkça kopma uzaması belirgin bir miktarda azalmıştır.



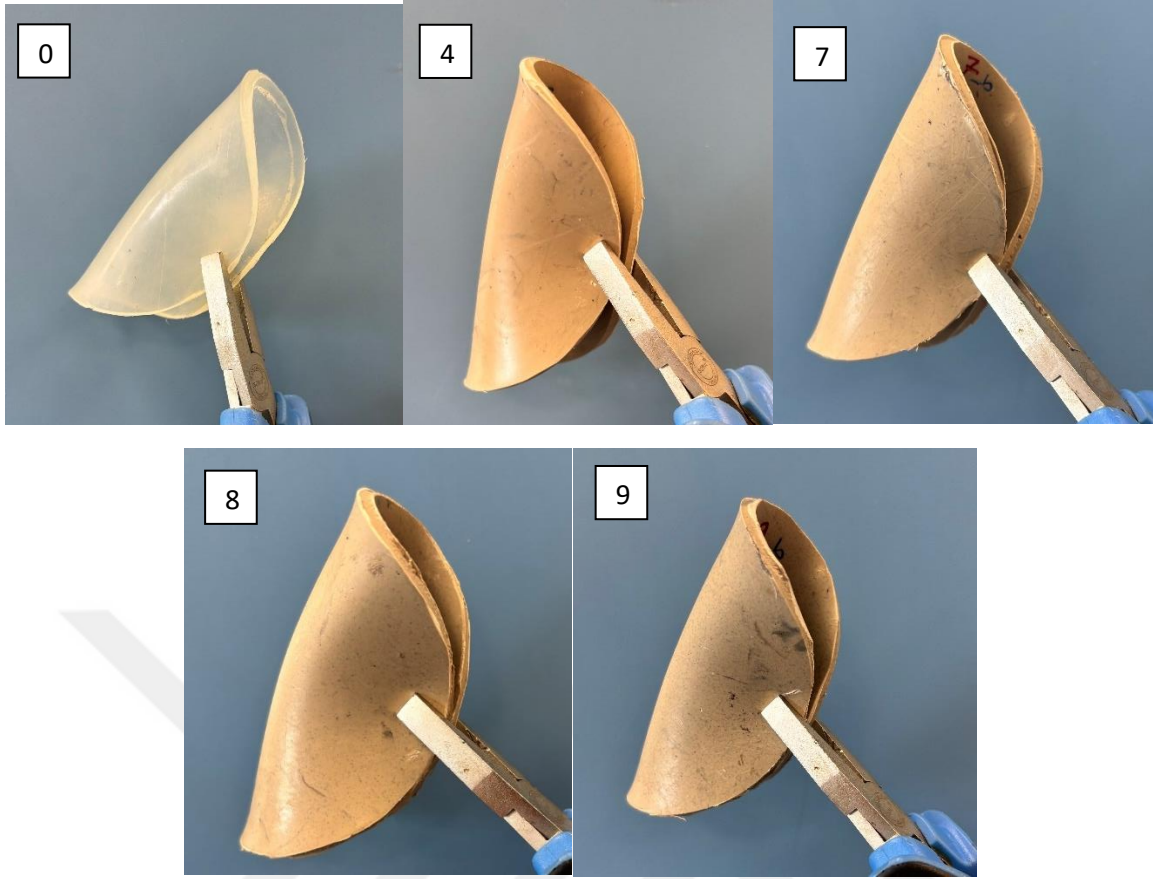
Şekil 4.8. Farklı oranlarda tungsten tozu–barit dolgusu içeren %80 dolgulu numunelerin gerilim-gerinim eğrileri

Özetle, tungsten tozu eklenmesi malzemeyi daha sert ve dayanıklı hale getirirken, aynı zamanda daha kırılgan yapmaktadır. Bu değişiklikler, dolgu malzemelerinin malzemenin mikro yapısını ve iç etkileşimlerini etkileyerek mekanik özelliklerde değişikliklere yol açtığını göstermektedir

Bu inceleme grubuna ait kompozit malzeme numunelerinin görüntüsü Şekil 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.3. Farklı oranlarda tungsten–barit dolgusu içeren %80 dolgulu numunelerin çekme testi sonuçları

Kod	EVA	BaSO ₄	Tungsten Tozu	Young Modülü (E)	Akma Dayanımı, σ_a (Mpa)	Kopma Uzaması (%)
0	100	-	-	2,21929 ± 0,16197	5-7	1000-1300
4	20	80	-	3,73463 ± 0,78692	1,60	113
7	20	75	5	4,12493 ± 0,66418	1,66	180
8	20	70	10	4,12015 ± 0,79808	1,74	180
9	20	60	20	3,21135 ± 0,50972	1,59	160



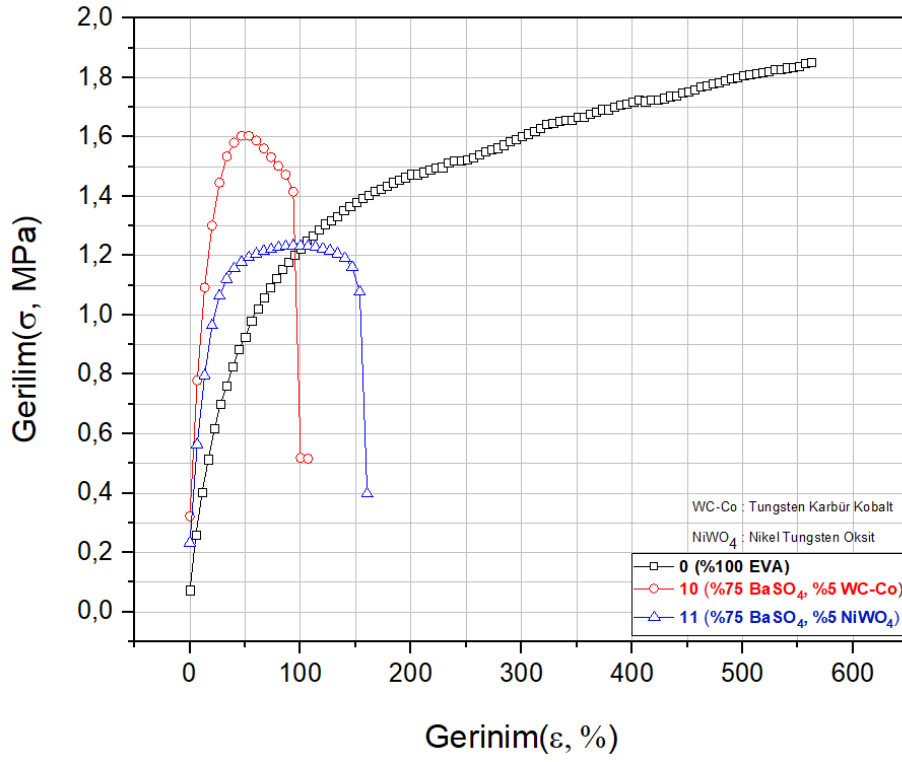
Şekil 4.9. Farklı oranlarda tungsten tozu–barit dolgusu içeren %80 dolgulu numunelerin görüntüsü

- **Farklı Tür Metalik Bileşen İçeren %80 Dolgulu Kompozitler**

Bu inceleme grubunda %5 WC-Co ve %5 NiWO₄ metalik tozlarını içeren %80 dolgulu kompozitler incelenmiştir. Hiç dolgu içermeyen EVA kopolimeri, %75 BaSO₄ -%5 WC-Co ve %75 BaSO₄ -%5 Ni-WO₄ dolgularını içeren 0,10,11 numaralı numuneler karşılaştırılmıştır. Bu gruba ait gerilim-gerinim eğrileri Şekil 4.10 da ve hesaplanan veriler Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4. Farklı Oranlarda Metalik Bileşen İçeren %80 Dolgulu Kompozitler

Ko d	EV A	BaSO ₄	WC-Co Tozu	Ni-WO ₄ Tozu	Young Modülü (E)	Akma Dayanımı σ_a (Mpa)	Kopma Uzaması (%)
0	100	-	-	-	2,21929 ± 0,16197	5-7	1000-1300
10	20	75	5	-	2,61518 ± 0,37381	1,60	106
11	20	75	-	5	2,22365 ± 0,34817	1,20	160



Şekil 4.10. Farklı tür metalik bileşen içeren %80 dolgulu numunelerin gerilim-gerinim eğrileri

Şekil 4.10'dan anlaşılabacağı üzere WC-Co ve Ni-WO₄ tozlarının eklenmesi Young modülünü fazla etkilememiştir, bu da malzemenin sertliğinde büyük bir değişim olmadığını göstermektedir. Ancak, bu tozların eklenmesi akma dayanımında hafif bir azalmaya yol açmıştır. Kopma uzaması ise ciddi şekilde azalmaktadır, bu da malzemenin kırılabilirliğinin arttığını göstermektedir. Ni-WO₄ tozunun eklenmesi, özellikle kopma uzamasında belirgin bir düşüşe neden olmuştur.



Şekil 4.11. Farklı tür metalik bileşen içeren %80 dolgulu numunelerin görüntüsü

4.1.2. Shore A Sertlik Ölçüm Sonuçları

Tablo 4.5 'deki veriler, farklı bileşimlerdeki kompozitlerin Shore A sertlik değerlerini göstermektedir. Shore A sertlik değeri, bir malzemenin yüzeyine uygulanan bir baskıya karşı direncini ölçen bir değerdir, özellikle elastomerler ve polimerler gibi yumuşak malzemeler için kullanılır.

Tablo 4.5. Tüm kompozitlerin sertlik ölçüm sonuçları

% Ağırlıkça							Shore A Sertlik Değerleri
Kod	Etilen Vinil Asetat	Baryum Sülfat (BaSO ₄)	Baryum Karbonat (BaCO ₃)	Tungsten Tozu (W)	Tungsten Karbür Kobalt Tozu (WC-Co)	Nikel Tungsten Oksit Tozu (Ni-WO ₄)	
0	100	-	-	-	-	-	51
1	40	60	-	-	-	-	63
2	30	70	-	-	-	-	72
3	25	75	-	-	-	-	76
4	20	80	-	-	-	-	84
5	30	35	35	-	-	-	62
6	30	-	70	-	-	-	76
7	20	75	-	5	-	-	78
8	20	70	-	10	-	-	83
9	20	60	-	20	-	-	72
10	20	75	-	-	5	-	85
11	20	75	-	-	-	5	78

Etilen Vinil Asetat kopolimerine eklenen dolgu maddelerinin sertlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Baryum sülfat ve baryum karbonat gibi dolgu maddeleri, EVA kopolimerinin sertliğini önemli ölçüde artırır. Örneğin, BaSO₄'ün %60 ila %80 oranında kullanılması, sertlik değerlerini belirgin şekilde artırarak 63'ten 84'e çıkarmıştır. Benzer şekilde, %70 oranında BaCO₃ içeren kompozitin sertlik değeri 76 olup, bu da BaCO₃'ün sertlik artırıcı etkisini gösterir. %35 BaSO₄ ve %35 BaCO₃ içeren kompozitte sertlik değeri 62 olup, her iki dolgu maddesinin birlikte kullanılmasıyla sertliğin azaldığı gözlemlenmiştir.

Tungsten tozu, belirli oranlarda sertliği artırabilir ancak daha yüksek oranlarda bu etki azalabilir. %5 tungsten tozu eklenen karışımın sertlik değeri 78 iken, %20 tungsten tozu eklenen karışımın sertlik değeri 72'ye düşmektedir. Ayrıca, tungsten karbür kobalt ve nikel tungsten oksit gibi metal tozları da sertlik üzerinde farklı etkilere sahiptir. %5 WC-Co içeren numune, 85 Shore A sertlik değeri ile önemli derecede sertlik kazanırken, %5 Ni-WO₄ içeren kompozitin sertlik değeri 78 olup, WC-Co'ya kıyasla daha az sertlik artırıcı etkiye sahiptir.

4.1.3. Yoğunluk Ölçümleri

Hazırlanan kompozit numunelerin yoğunluğu Arşimet prensibi ile deneysel olarak ölçülmüş ve aşağıdaki eşitlik ile teorik olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yoğunluk} = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{w_i}{\rho_i} \right)}$$

Tablo 4.6. Tüm kompozitlerin yoğunluk değerleri

% Ağırlıkça							Deneysel Yoğunluk (g/cm ³)	Teorik Yoğunluk (g/cm ³)
Kod	EVA	BaSO ₄	BaCO ₃	W tozu	WC-Co Tozu	Ni-WO ₄ tozu		
0	100	-	-	-	-	-	-	0,965
1	40	60	-	-	-	-	1,67	1,83
2	30	70	-	-	-	-	1,87	2,14
3	25	75	-	-	-	-	2,06	2,35
4	20	80	-	-	-	-	2,07	2,60
5	30	35	35	-	-	-	2,03	2,13
6	30	-	70	-	-	-	2,04	2,57
7	20	75	-	5	-	-	2,31	2,63
8	20	70	-	10	-	-	2,35	2,67
9	20	60	-	20	-	-	2,45	2,75
10	20	75	-	-	5	-	2,29	2,65
11	20	75	-	-	-	5	2,28	2,63

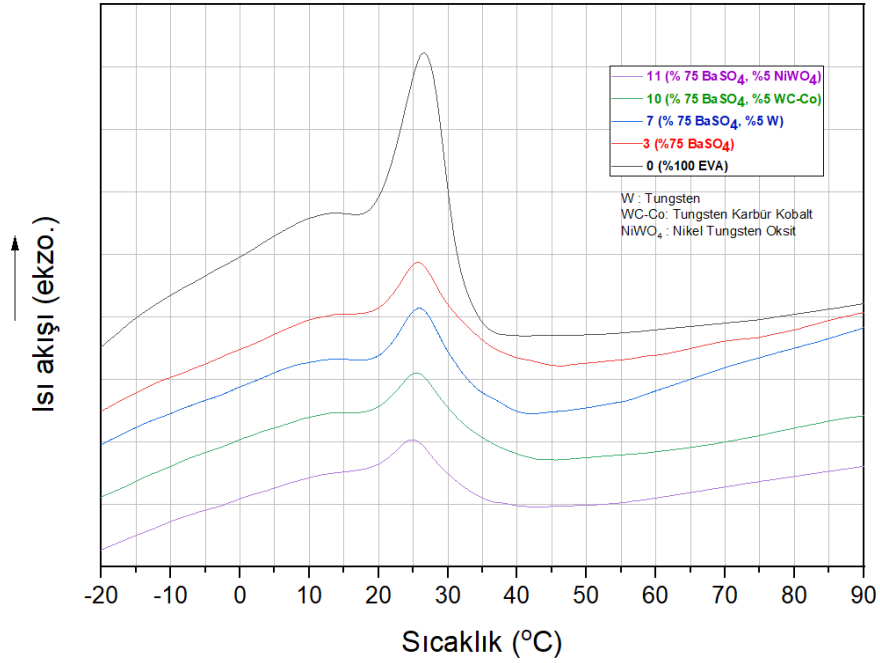
Beklendiği üzere polimere dolgu eklendikçe kompozit malzemelerin yoğunluğu artmıştır. Yoğunluğun en yüksek olduğu 9 numaralı numune %20 oranında tungsten içermektedir. Yukarıdaki formül kullanılarak 9. kompozit numunesi gibi %60 barit, %20 EVA kopolimeri ve %20 kurşun içeren bir kompozitin teorik yoğunluğu 2,79 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada kurşunun teorik yoğunluğu 11,34 g/cm³ olarak alınmıştır.

4.2. Termal Özellikler

4.2.1. DSC Analiz Sonuçları

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) cihazı, malzemelerin termal özelliklerini analiz etmek için kullanılan bir ölçüm tekniğidir. DSC, bir numunenin ısı akışını zaman veya sıcaklıkla birlikte değerlendirir. Bu cihaz, özellikle malzemelerin faz değişimlerini, erime sıcaklıklarını, cam geçiş sıcaklıklarını, kristalizasyon davranışlarını ve termal dayanıklılıklarını belirlemek amacıyla kullanılır.

Hiç dolgu içermeyen EVA kopolimeri , %75 BaSO₄, %75 BaSO₄-%5 W, %75 BaSO₄-%5 WC-Co ve %75 BaSO₄-%5 NiWO₄ dolgularını içeren 0,3,7,10,11 numaralı numuneler karşılaştırılmıştır. Bu numunelerin DSC kristallenme eğrileri Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. %70 oranında farklı dolgu içeren numunelerin kristallenme pikleri

EVA kopolimerinin kristallenme, erime veya bir faz geçişi sırasında enerji salımı yaklaşık 30 °C ‘de ekzotermik bir tepe gösterdiği görülmektedir. EVA'ya eklenen dolgu maddeleri ile ısı akışının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu, dolgu maddelerinin EVA'nın kristalleşme davranışını az da olsa değiştirdiğini ve malzemenin termal kararlılığını artırdığını gösterebilir.

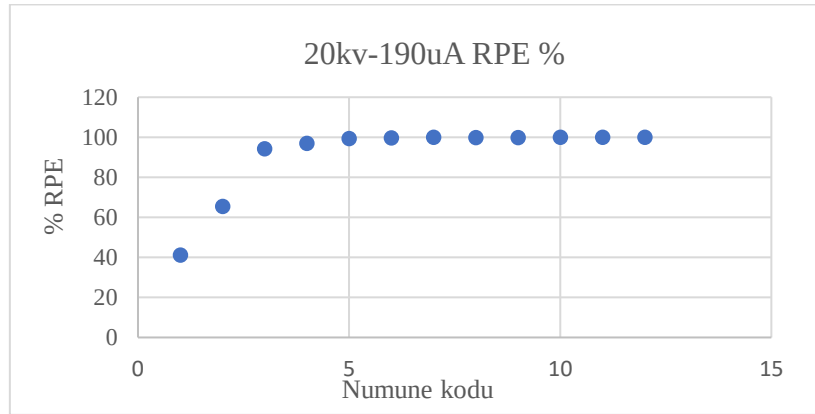
4.3. Radyasyon Kalkanlama Özellikleri

Radyasyon zırhlama testlerinde kullanılan kompozit numune bileşimleri ve bu bileşimlere ait kod tablosu Tablo 4.7’da verilmiştir.

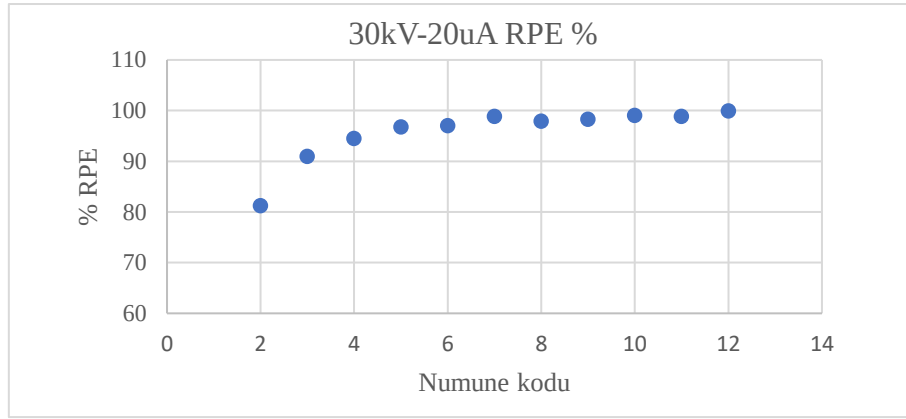
Tablo 4.7. Radyasyon zırhlama testlerine gönderilen numune bileşimleri ve kodları

Kod	% Ağırlıkça					
	Etilen vinil Asetat Kopolimeri	Baryum Sülfat (BaSO ₄)	Baryum Karbonat (BaCO ₃)	Tungsten Tozu (W)	Tungsten Karbür Kobalt Tozu (WC-Co)	Nikel Tungsten Oksit Tozu (Ni-WO ₄)
1	100	-	-	-	-	-
2	40	60	-	-	-	-
3	30	70	-	-	-	-
4	25	75	-	-	-	-
5	20	80	-	-	-	-
6	30	35	35	-	-	-
7	30	-	70	-	-	-
8	20	75	-	5	-	-
9	20	70	-	10	-	-
10	20	60	-	20	-	-
11	20	75	-	-	5	-
12	20	75	-	-	-	5

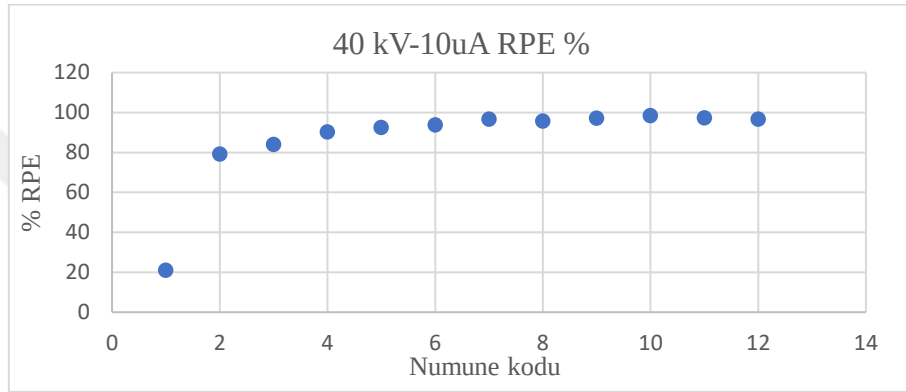
Radyasyon zırhlama test sonuç grafiklerinde numune kodlarına karşılık her bir numune bileşiminin RPE yüzdesi sonuçları verilmiştir.



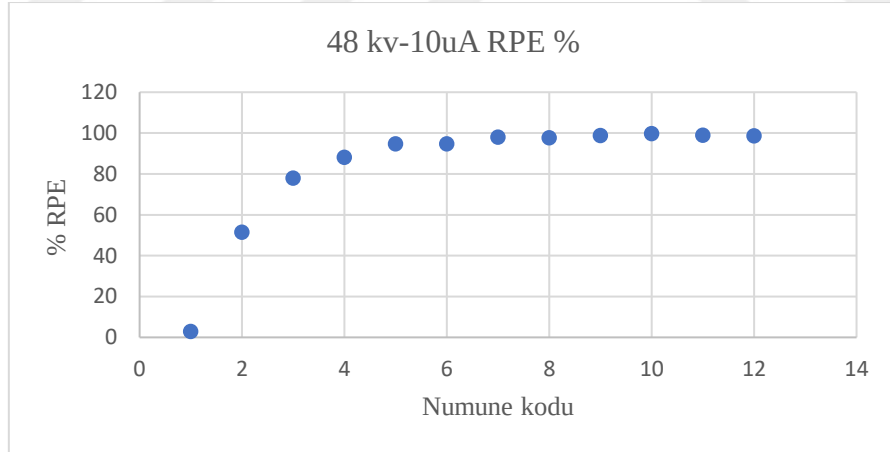
Şekil 4.13. 20 kV’de numunelerin zırhlama performansı



Şekil 4.14. 30 kV’de numunelerin zırhlama performansı



Şekil 4.15. 40 kV’de numunelerin zırhlama performansı

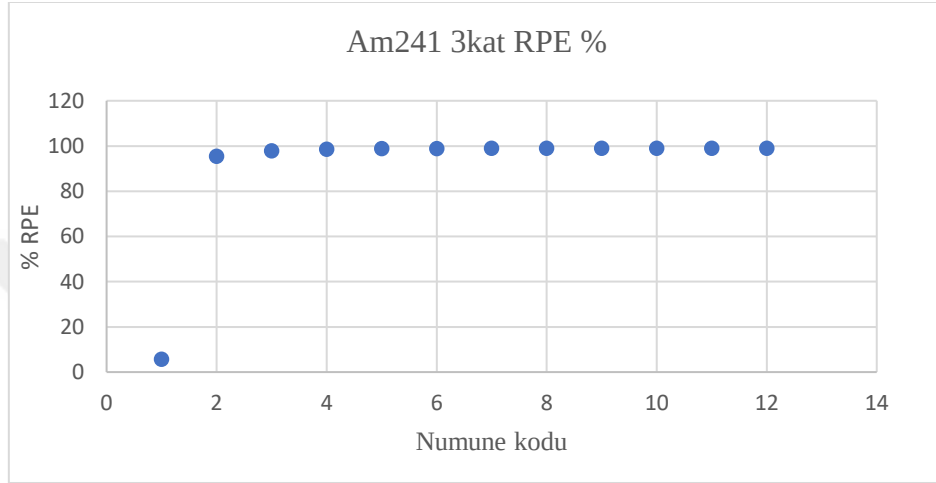


Şekil 4.16. 48 kV’de numunelerin zırhlama performansı

20 kV, 30 kV, 40 kV, 48 kV enerji seviyelerinde tek kat kompozit diskler kullanılarak X-ışınları ile yapılan zırhlama grafikleri incelendiğinde etilen vinil asetat kopolimerine dolgu eklenmesi ile RPE değerlerinin arttığı görülmüştür. Dolgu oranının artması ile kompozitlerin zırhlama özelliği artmış ancak dolgu çeşidi bu ışın enerjilerinde farklı bir etki yaratmamıştır.

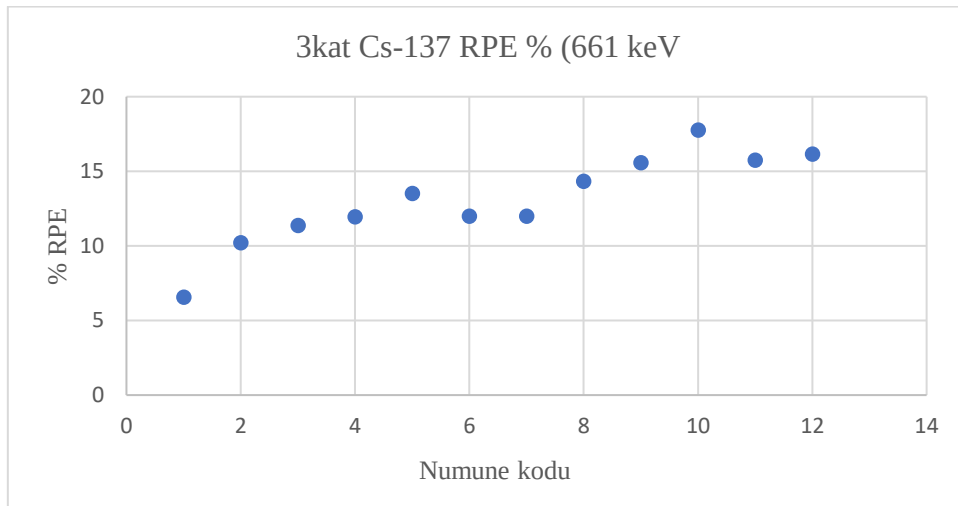
48 kV t p voltajında yapılan çalışmada, hafif numunelerin düşük RPE değerleri gösterdiği belirtilmiştir. Ancak 3 kat numune kullanıldığında, Am-241 ile yapılan çalışmada elde edilen değerlere ulaşılacağı düşünülmektedir.

Radyoizotop kaynakları olarak Cs-137 ve Am-241 radyoizotopları kullanılmıştır. Yüksek enerjilerde ışıma yapan bu ölçümlerde 3 kat kompozit numunesi kullanılmıştır. RPE hesaplama sonuçları şekil 4.17 ve şekil 4.18’de verilmiştir.



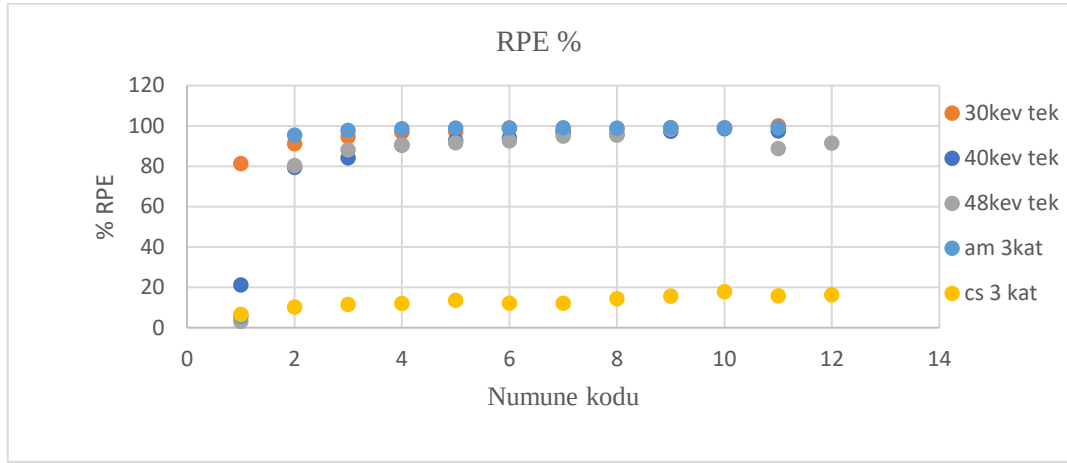
şekil 4.17. Am241 radyoizotopu radyasyon zırhlama performansı

Am-241’in düşük enerjili gama ışınlarına karşı yapılan RPE hesaplamalarında, numunelerin RPE değerleri neredeyse aynı olmuştur (yaklaşık %98-99). Boş numunenin RPE değeri %5, %60 BaSO₄ içeren 2 numaralı numuneninki ise %95 olarak hesaplanmıştır.



şekil 4.18. Yüksek enerjilerde (Cs137) radyasyon zırhlama performansı

şekil 4.18 incelendiğinde numunelerin yüksek enerjili gama radyasyonu karşısında zırhlama kapasitesi d şm ştir. En iyi koruma, %17 RPE ile en yüksek tungsten oranına (%20) sahip 10 numaralı kompozit numunesinde gözlemlenmiştir.



Şekil 4.19. Farklı ışın kaynakları ve radyoizotoplar için özet RPE grafiği

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasının amacı etilen vinil asetat kopolimeri gibi bir termoplastik elastomer (TPE) polimeri kullanarak farklı tipte ve oranlarda barit, tungsten, tungsten karbür, nikel tungsten oksit gibi inorganik dolgu malzemeleri ile kurşuna ve kurşun dolgulu kompozitlere oranla daha hafif kompozit levhalar oluşturmaktır. Bu amaç kapsamında polimer olarak seçilen etilen vinil asetat kopolimerinin vinil asetat içeriği % 40 olanı tercih edilmiştir. Yapılan araştırmalarda % 40 vinil asetat içeriğine sahip etilen vinil asetat kopolimerinin kristallenme noktasının düşük olması ve şekillenebilme özelliğinin fazla olması sebebiyle ekstrüzyon ve kalıplama uygulamalarında yaygın bir kullanımı olduğu gözlemlenmiştir. Öncelikle polimer, dolgu ve buna bağlı olarak numune bileşimleri literatür araştırmaları ve deneysel gözlemler ile belirlenmiştir. EVA kopolimerinin barit dolgusunu %80'e kadar alabildiği ve bazı mekanik özelliklerini koruduğu gözlemlendiğinden % 80 dolgu içeren numuneler kendi içerisinde farklı inorganik metal tozları ile oranlandırılmış ve anlamlı inceleme grupları oluşturulmuştur. Kompozit levhalar eriyik harmanlama yöntemiyle hazırlanmış ve daha sonrasında testler için soğuk ve sıcak preste şekil verilmiştir. Çekme testi sonuçları farklı oranlarda barit dolgusu içeren kompozitlerde barit oranının artmasıyla kopma uzama yüzdesinin azaldığını, malzemenin dolgusuz haline göre erken kopma eğilimi gösterebileceği sonucuna varılmıştır. Polimere barit eklenmesiyle akma dayanımı düşmüştür. Bu beklenen bir durumdur çünkü malzemeye dolgu eklenmesiyle elastik davranışı azalmıştır. Ancak dolgulu numuneler kendi içlerinde incelendiğinde dolgu oranının artmasıyla akma noktası yükselmiştir. Bu durum baritin polimer matrise destek sağlayarak yük taşıma kapasitesini arttırdığı şeklinde açıklanabilir. $BaSO_4$ ve $BaCO_3$ dolgularının mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelediğimizde, her iki dolgu malzemesinin de malzemeyi farklı şekillerde etkilediği ortaya çıkmaktadır. $BaSO_4$ eklenmesi, Elastikiyet modülünü arttırmış ve akma dayanımını yükseltmiştir ancak kopma uzamasını düşürerek malzemeyi daha kırılgan yapmaktadır. Diğer yandan, $BaCO_3$ ilavesi Young modülünü daha fazla artırarak malzemenin sertliğini artırmakta, fakat kopma uzamasını $BaSO_4$ 'e göre daha fazla azaltarak malzemeyi daha kırılgan hale getirmektedir. Ayrıca, baryum karbonatın akma dayanımını az miktarda azalttığı gözlemlenmiştir. Tungsten tozunun eklenmesi ve artırılması ile kompozit malzemenin Young modülünün arttığı yani malzemenin sertleştiği görülmüştür. Tungsten tozu miktarının artmasıyla akma dayanımı hafif bir artış göstermiştir. Kopma uzaması azalmış malzeme daha kırılgan hale gelmiştir. Barit miktarı azalıp tungsten tozu miktarı arttırıldıkça kopma uzaması belirgin bir miktarda azalmıştır. Dolgu oranı artmasına rağmen hazırlanan kompozit malzemelerin esneklik ve şekillendirilebilirlik özelliklerini koruduğu gözlemlenmiştir.

Hazırlanan kompozit numunelerinin sertlik değerleri incelendiğinde dolgu oranlarının eklenmesiyle sertlik değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. EVA'ya eklenen dolgu maddeleri ile ısı akışının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu, dolgu maddelerinin EVA'nın kristalleşme davranışını az da olsa değiştirdiğini ve malzemenin termal kararlılığını artırdığını gösterebilir. Radyasyon zırhlama sonuçları değerlendirildiğinde 20 kV, 30 kV, 40 kV, 48 kV enerji seviyelerinde X-ışınları ile yapılan testler etilen vinil asetat kopolimerine dolgu eklenmesi ile RPE değerlerinin arttığını göstermiştir. Dolgu oranının artması ile kompozitlerin zırhlama özelliği artmış ancak dolgu çeşidi bu ışın enerjilerinde farklı bir etki yaratmamıştır. Yüksek enerjilerde ışıma yapan Cs-137 ve Am-241 radyoizotopları ölçümlerinde zırhlama kapasitesi düşmüştür. En iyi koruma, %17 RPE ile en yüksek oran olan %20 tungstene oranına sahip kompozit numunesinde gözlemlenmiştir. Bu numunenin deneysel yoğunluğu $2,45 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüştür. Tıpkı bu numune gibi %60 barit, %20 EVA kopolimeri ve %20 kurşun içeren bir kompozitin teorik yoğunluğu $2,79 \text{ g/cm}^3$ olarak hesaplanmıştır, bu durumda elde edilen kompozitlerin teorik olarak aynı oranda kurşun içeren kompozitlerden daha hafif olacağı söylenebilir. Düşük enerji düzeylerinde dolgu oranının artması ile yüksek enerji düzeylerinde ise tungsten ilavesi ile radyasyon zırhlama özelliklerinin iyileştiği sonucuna varılmıştır. Radyasyon zırhlama için yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde özellikle yüksek atom numarasından dolayı baryum ve çeşitli türlerini içeren dolguların gerek tekstil gerek ise beton agrega çalışmalarında etkin bir rol oynadığı görülmüştür. Kolay temin edilebilen baryum sülfat ve baryum karbonat mineralleri kullanarak yüksek dolgu oranlarına çıkılmıştır. Aynı zamanda radyasyon kalkanlama uygulamaları için tekstil, inşaat ve koruyucu zırhlama ürünleri çalışmalarında tungsten ve tungsten içeren çeşitli malzemelerin kurşuna alternatif olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu tez çalışması mineral dolgu malzemeleri yanında fonksiyonel dolgu maddelerinin kullanımıyla yüksek radyasyon zırhlama performansına sahip, yüksek mekanik mukavemete sahip, esnek ve yumuşak kompozit malzemelerin elde edilebildiğini göstermiştir. Elde edilen kompozitler geri dönüştürülebilir, yeniden şekillendirilebilir özelliklere sahiptir. Kurşuna alternatif araştırmalar yapılsa da polimer matrisli yüksek dolgu içeren kompozit malzemeler için radyasyon zırhlama özellikleri ile ilgili literatür çalışmalarının az olduğu gözlemlenmiştir. Radyasyon ve kullanımının etkileri göz önünde bulundurulduğunda hayatımızda zırhlamanın önemli bir yere sahip olduğu ve bu anlamda kurşun gibi pahalı ve toksik bir kalkanlama malzemesine alternatif olabilecek uygulanabilir araştırma ve çalışmalar yapılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Livingstone RS., Varghese A., Keshava SN.(2018) A study on the use of radiation-protective apron among interventionists in radiology. Journal of clinical imaging science.
- [2] Maghrabi HA.(2015), Deb P, Vijayan A, Wang L, editors. An overview of lead aprons for radiation protection: Are they doing their best. Proceedings of the Textile Bioengineering and Informatics Symposium.
- [3] Soylu, H.M. (2014) Radyasyon Zırhlanmasında Polimer-Tungsten Bileşik Kompozitlerin Etkinliğinin Test Edilmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63-64s, İzmir.
- [4] Kılınçarslan, Ş. (2004) Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- [5] Akkurt, İ., Başığit,C. (2011) Akkaş, A., Mavi, B., Günoğlu,K., “Yüksek Fırın Cürufu Betonların Radyasyon Soğurma Karakteristiklerinin Belirlenmesi”, e-Journal of New World Sciences Academy, 6(4).
- [6] Pulford, S., Fergusson, M. (2016) A Textile Platform for Non-Lead Radiation Shielding Apparel. The Journal of The Textile Institute, 107(12), 1610- 1616
- [7] Akkurt, İ., Akarslan, F., Günoğlu, K., Kılınçarslan, Ş., Üncü, İ.S., Demiralay, H., (2013) Bazı Kumaş Türlerinin Nötron Zırhlama Özelliklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(3), 63- 65.
- [8] Büyük, B. (2013) Tungsten, Titanyum, Bor İçeren Bazı Malzemelerin Gama ve Nötron Radyasyonu Karşısındaki Davranışının İncelenmesi, XCOM Bilgisayar Programı İle İrdelenmesi ve Yeni Bir Radyasyon Zırh Malzeme Önerisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Doktora Tezi, 208s, İstanbul.
- [9] Kobayashi, S., Hosoda, N. ve Takashima, R. (1997) Tungsten alloys as radiation protection materials, Nucl Instrum Meth A, 390:426-430
- [10] Büyük, B., Tuğrul A.B. (2014) Comparison of Lead and WCCo Materials against Gamma Irradiation, Acta Physica Polonica A, Vol(125), 423.

- [11] Aral, N.(2016) X-Işınlarından Koruyucu Kurşun İçermeyen Tekstil Malzemesi Geliştirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Kim Y., Park S., Seo Y. (2015) Enhanced X-ray Shielding Ability of Polymer Nonleaded Metal Composites by Multilayer Structuring. Industrial & Engineering Chemistry Research.
- [13] Yue K., Luo W., Dong X., Wang C., Wu G. (2009) A Newlead-Free Radiation Shielding Material For Radiotherapy, Radiation Protection Dosimetry (2009), Vol. 133, No. 4, pp. 256–260.
- [14] Abualroos, N. J., Idris, M. I., Ibrahim, H., Kamaruzaman, M. I., & Zainon, R. (2024) Physical, mechanical, and microstructural characterisation of tungsten carbide-based polymeric composites for radiation shielding application. Scientific Report, Article number: 1375.
- [15] Sayyeda, M.I., Mahmoud, K.A., Mohammed, F., Kawa, M. (2024) A comprehensive evaluation of Mg-Ni based alloys radiation shielding features for nuclear protection applications. Nuclear Engineering and Technology 56, 1830–1835.
- [16] Seenappa, L., Manjunatha, H.C., Chandrika, B.M., Chikka, H. (2017) A Study of Shielding Properties of X-ray and Gamma in Barium Compounds. J. Radiat. Prot. Res.42(1):26-32.
- [17] Büyükuslu H.(2007) Isparta'nın Yalvaç ilçesi ve çevresinin doğal fon (background) radyasyon düzeylerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- [18] Arya, A.P. (1970) Fundamentals of Nuclear Physics, Allyn and Bacon Publications, Boston.
- [19] Göksel, S. (1973) Radyasyonun Biyolojik Etkileri ve Korunma, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [20] Güngör, N. (1991) Sağlık Fiziği, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [21] Yaren H., Karayılanoğlu, T. (2005) Radyasyon ve insan sağlığı üzerine etkileri. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 2005;4: 199-208.
- [22] Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, <https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/834-bolum-06-radyasyondan-korunma.html> , 14 Ağustos 2024.
- [23] T.C. İç İşleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-kaynaklari>
- [24] Sadhan K. De., White J. R., (2001). "Rubber Technologist's Handbook", United Kingdom.
- [25] Drobny, J. G., (2007). "Handbook of Thermoplastic Elastomers", Prag, Çek Cumhuriyeti.
- [26] Şahin S. (2015). Sürekli cam elyaf takviyeli polipropilen levhaların şekillendirilmesi ve karakterizasyonu, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul
- [27] Kaya, A.İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi 29, 38-45.

- [28] Yüce, İ. (2007). Dairesel kompozit tabakalarda düşük hızlı darbe hasarının incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [29] Fidan, S. (2011). Polimer matrisli kompozitlerin darbe davranışlarının incelenmesi ve oluşan hasarların mikro tomografi yöntemiyle incelenmesi. Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [30]. Whelan, A. (1994) Polymer Technology Dictionary, 1 st ed, Chapman and Hall, UK, ISBN: 978-94-010-4564-3.
- [31] Henderson, A.M. (1993) Ethylene-vinyl acetate (EVA) copolymers: a general review, IEEE Electrical Insulation Magazine, 1(9), 30-38.
- [32] Alothman, O.Y. (2012) Processing and characterization of high density polyethylene/ethylene vinyl acetate blends with different VA contents, Advances Materials Science and Engineering.
- [33] Altun, O.,(2011),Alev Sprey Yöntemiyle Etilen Vinil Asetat Kaplamaların Üretilmesi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- [34] Adrianza, J.A.C., (2015) Thermodynamic study of the Ethylene Vinyl Acetate copolymer (EVA) solution separation process, Tez (PhD), Madrid University.
- [35] Patel, H. S. (2010) Surface Property Modifiers, Functional Fillers For Plastics , Second Edition, Wiley VCH, Xanthos, M. Editors, inc. (373-402).
- [36] Yılmaz B. (2009) Muş Yöresinden Temin Edilen Barit'in Kullanımı İle Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel Ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı.
- [37] AbuAlRoosa, N.J., Azmana, M.N., Amina, N.A., Zainon, R. (2020) Tungsten-based material as promising new lead-free gamma radiation shielding material in nuclear medicine. Physica Medica 78, 48-57.

ÖZGEÇMİŞ
ARZU AYTİMUR

Eğitim Bilgileri

Yüksek Lisans

Marmara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Polimer Bilimi ve Teknolojisi / 2019-2024

Lisans

Ankara Üniversitesi / Kimya Mühendisliği Bölümü (%30 İngilizce) 2014-2018

Lise

Esenyurt Nakipoğlu Cumhuriyet Anadolu Lisesi / 2010-2014

Deneyim

Teknik Kimya Donatım Makine Enerji SAN. ve TİC. A.Ş. / Ürge Uzman Yardımcısı / 2022-Hala çalışmakta.

Biyoteknoloji Okulları Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi / Kimya Teknolojisi Bölüm Şefi / 2019-2022