

**NANOKİL KATKILI KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE GAMA RADYASYON ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

EMİNE ERBİLGİN

OCAK 2025

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANOKİL KATKILI KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE GAMA RADYASYON ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

EMİNE ERBİLGİN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

OCAK 2025

DİYARBAKIR

**NANOKİL KATKILI KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE GAMA RADYASYON ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Emine ERBİLGİN tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

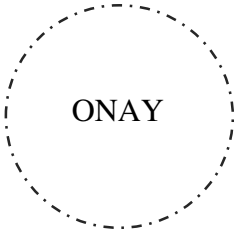
Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN
Danışman, **Makine Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa GÜR (*)
Makine Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN (**)
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir TURAN
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi



Savunma Tarihi: 23/01/2025

(*) Jüri Başkanı.
(**) Tez Danışmanı.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanıyla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyadı: Emine ERBİLGİN

İmza:

TEŞEKKÜR

Öncelikle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN'e çalışmanın daha fikir aşamasından, örnekleme, deney setlerini oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ederim.

Eğitimim boyunca eşsiz bilgilerini sürekli paylaşan, desteklerinden dolayı Prof. Dr. Kadir TURAN' a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tezimde yardımları ve yol göstericiliğı için Yüksek Makine Mühendisi Ferhat ATEŞ'e çok teşekkür ederim. Makine Mühendisi Dr. Ahmet Murat AŞAN'a laboratuvarındaki desteğinden ve ayrıca tezin son halini okuyup düzeltmeler için önerilerde bulunan eşim Öğr. Gör. Deniz ERBİLGİN'e ve Öğr. Gör. Mehmet Şirin CENGİZ'e teşekkürü borç bilirim.

Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (DÜBAP), tez çalışması için sağladıkları finansal destek için (Proje No: MÜHENDİSLİK.23.005) için teşekkür ederim.

Hayatımda, eğitimim her aşamasında kendisine minnet borçlu olduğum Kimya öğretmeni ağabeyim Ahmet EREN'e ve ablam Türkan ERDEMCI'ye çok teşekkür ederim. Ayrıca annem, babam ve ablalarımın teşekkür ederim.

Sevgili çocuklarım Yekta ve Aram Roni ERBİLGİN, sizlerle geçireceğim zamandan çalıp, bu tezi hazırlamama sabrettiğiniz için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	16
3.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları.....	16
3.1.1 Avantajları	16
3.1.2 Dezavantajları	17
4. NANOKOMPOZİT MALZEMELER	18
4.1 Nanokil	19
5. RADYASYON.....	20
5.1 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon	21
5.2 İyonlaştırıcı Radyasyon	22
5.1.1 Gama radyasyonu	23
6. MALZEME VE YÖNTEM.....	27
6.1 Kullanılan Malzemeler	27
6.2 Kompozit ve Nanokompozit Levhaların Üretimi.....	30
6.2.1 Matris malzemesinin hazırlanması	30
6.2.2 Takviye malzemelerin hazırlanması	32
6.2.3 Levhaların üretimi	34
6.3 Numunelerin Boyutlandırılması ve Kesimi.....	35

6.4	Numunelerin Çevresel Koşullarının Oluşturulması ve Hazırlanması	35
6.5	Yapılan Mekanik Deneyler.....	36
6.5.1	Çekme deneyi	36
6.5.2	Basma deneyi	40
6.5.3	Kayma deneyi.....	42
7.	BULGULAR VE TARTIŞMA	44
7.1	Numunelerin Çekme Testi Sonuçları	44
7.1.1	Katkısız numunelerin çekme testi sonuçları.....	45
7.1.2	%0,75 Nanokil katkılı numunelerin çekme test sonuçları.....	47
7.1.3	%1 Nanokil katkılı numunelerin çekme test sonuçları.....	49
7.1.4	%1,25 Nanokil katkılı numunelerin çekme test sonuçları	51
7.2	Numunelerin Basma Test Sonuçları.....	53
7.2.1	Katkısız numunelerin basma test sonuçları.....	54
7.2.2	%0,75 Nanokil katkılı numunelerin basma test sonuçları.....	56
7.2.3	%1 Nanokil katkılı numunelerin basma test sonuçları.....	57
7.2.4	%1,25 Nanokil katkılı numunelerin basma test sonuçları.....	59
7.3	Numunelerin Kayma Test Sonuçları.....	60
7.3.1	Katkısız numunelerin kayma test sonuçları.....	62
7.3.2	%0,75 Nanokil katkılı numunelerin kayma test sonuçları.....	64
7.3.3	%1 Nanokil katkılı numunelerin basma test sonuçları.....	67
7.3.4	%1,25 Nanokil katkılı numunelerin basma test sonuçları.....	69
7.4	Deney Sonuçlarının Toplu Grafikler ile Yorumlanması.....	72
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
	KAYNAKLAR	85
	EKLER	90
	ÖZGEÇMİŞ	93

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 5.1 Radyasyonun sınıflandırılması	21
Şekil 5.2 Radyasyon türleri	22
Şekil 5.3 Elektromanyetik spektrum	24
Şekil 6.1 Kompozit üretim akış şeması	29
Şekil 6.2 Katkı malzemesi olarak nanokilin reçineye karıştırılması.....	30
Şekil 6.3 Sonikasyon düzeneği	31
Şekil 6.4 Fiber kumaş.....	32
Şekil 6.5 Elle yatırma yöntemi ile kompozitin üretimi	32
Şekil 6.6 Üst üste konulmuş plaklara sıcak pres uygulanması.....	34
Şekil 6.7 Numunelerin boyutlandırılması	34
Şekil 6.8 Çekme testi numunesinin geometrisi	36
Şekil 6.9 Instron marka test cihazı ve çekme testinin yapılışı	37
Şekil 6.10 Kullanılan strain-gauges özellikleri ve yüzey temizleyici	38
Şekil 6.11 Numunelerin strain-gauges bağlantısı.....	38
Şekil 6.12 Instron marka test cihazı ve çekme testinin yapılışı	39
Şekil 6.13 Basma testi numunesinin geometrisi	40
Şekil 6.14 Instron marka test cihazı ve basma testinin yapılışı.....	41
Şekil 6.15 Kayma testi numunesi geometrisi	42
Şekil 6.16 Kayma testi numunesi strain gauges bağlantısı	42
Şekil 6.17 Instron marka test cihazı ile kayma testinin yapılışı	43
Şekil 7.1 Numunelerin çekme testine teste tabi tutulması ve sonuçları a) strain-gauge bağlantılı çekme testi b) çekme testi uygulama sonrası numune görünümü.....	45
Şekil 7.2a) Katkısız (0 kGy) numunelerin çekme testi sonuçları b)10 kGy katkısız numunelerin çekme testi sonuçları c) 20 kGy -katkısız numunelerin çekme testi sonuçları.....	46
Şekil 7.3 a) %0,75 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları b) 10 kGy - %0,75 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları c) 20 kGy - %0,75 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları	48

Şekil 7.4 a) %1 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları b) 10 kGy - %1 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları c) 20 kGy - %1 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları.....	50
Şekil 7.5 a) %1,25 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları b) 10 kGy - %1,25 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları c) 20 kGy - %1,25 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları.....	52
Şekil 7. 6 Basma testine tabi tutulması ve test sonucu numune görüntüsü.....	54
Şekil 7.7 Katkısız 0 kGy numunelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramları.....	55
Şekil 7.8 Katkısız (0,10,20 kGy) numunelerin ortalama gerilme -şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 6.9 %0,75 Nanokil katkılı 0 kGy numunelerin gerilme- şekil değiştirme diyagramları.....	56
Şekil 7. 10 %0,75 Nanokil katkılı 10 kGy, 20 kGy ortalama gerilme -şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 7. 11 %1 Nanokil katkılı- 0 kGy numunelerin gerilme- şekil değiştirme diyagramları.....	58
Şekil 7. 12 %1 Nanokil katkılı (0,10,20 kGy) ortalama gerilme -şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması.....	58
Şekil 7. 13 %1,25 Nanokil katkılı- 0 kGy numunelerin gerilme- şekil değiştirme diyagramları.....	59
Şekil 7. 14 %1,25 Nanokil katkılı (0,10,20 kGy) ortalama gerilme -şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması.....	60
Şekil 7. 15 Numunelerin kayma testine hazırlanması ve teste tabi tutulması	61
Şekil 7. 16 Katkısız numunelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramları	63
Şekil 7. 17 Katkısız 0 kGy, 10 kGy ve 20kGy numunelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramları karşılaştırılması.....	63
Şekil 7. 18 %0,75 Nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri a) 0 kGy b) 10kGy c) 20 kGy.....	65
Şekil 7. 19 %0,75 Nanokil katkılı numunelerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme – şekil değiştirme grafikleri.....	66
Şekil 7. 20 %1 Nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri a) 0 kGy b) 10kGy c) 20 kGy.....	68

Şekil 7. 21 %1 Nanokil katkılı numunelerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme – şekil değiştirme grafikleri.....	68
Şekil 7. 22 %1 Nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri a)0 kGy b)10kGy c) 20 kGy.....	70
Şekil 7. 23 %1,25 Nanokil katkılı numunelerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme – şekil değiştirme grafikleri.....	71
Şekil 7.24 Gama radyasyonun çekme gerilmesi üzerindeki etkisinin karşılaştırılması.....	73
Şekil 7.25 Gama radyasyonun Elastisite Modülü (E_{12}) üzerindeki etkisinin karşılaştırılması.....	74
Şekil 7.26 Gama radyasyonun basma gerilmesi üzerindeki etkisi	76
Şekil 7.27 Gama radyasyonun kayma gerilmesi üzerindeki etkisinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 7.28 Gama radyasyonun kayma modülü üzerindeki etkisinin karşılaştırılması..	78
Şekil 7.29 Gama radyasyonuna bırakılan numuneler a) gama radyasyona maruz bırakılmayan numuneler b) 9, 99 kGy (yaklaşık 10 kGy) gama radyasyonuna c)19,7 kGy (yaklaşık 20 kGy) gama radyasyonuna maruz bırakılan numuneler.....	80
Şekil 7.30 Numunelerin gama dozlarıyla ışınlanmasından sonra Epon 862/W.....	80
Şekil 7.31 Epoksi reçinelerin ışınlamada önce ve sonraki renk görünümü	80

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1 Nanokilin fiziksel özellikleri	20
Tablo 6.1 Kullanılan malzemelerin özellikleri.....	27
Tablo 6.2 Bu çalışmada üretimi yapılan kompozitlerin; malzeme miktarları.....	28
Tablo 6.3 Ağırlıkça nanokil oranına göre malzeme miktarları	30
Tablo 6.4 Cam fiberlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması	34
Tablo 6.5 Mekanik deney standartları.....	35
Tablo 6.6 Gama radyasyonun dozu ve malzeme miktarı.....	36
Tablo 7.1 Çekme testine tabi tutulan numune sayıları	44
Tablo 7.2 Katkısız (%0 kil) numunelerden elde edilen çekme gerilmeleri, elastisite modülleri ve poisson oranları.....	47
Tablo 7.3 0,75 Nanokil katkılı numunelerden elde edilen çekme gerilmeleri, elastisite modülleri ve poisson oranları.....	49
Tablo 7.4 %1 Nanokil katkılı numunelerden elde edilen çekme mukavemetleri, elastisite modülleri ve poisson oranları	51
Tablo 7.5 %1,25 Nanokil katkılı numunelerden elde edilen çekme mukavemetleri, elastisite modülleri ve poisson oranları.....	53
Tablo 7.6 Basma testine tabi tutulan numunesayıları.....	54
Tablo 7.7 Katkısız numunelerin basma testi sonuçları.....	56
Tablo 7.8 %0,75 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları.....	57
Tablo 7.9 %1 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları	59
Tablo 7.10 %1,25 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları	60
Tablo 7.11 Kayma testine tabi tutulan numune sayıları.....	61
Tablo 7.12 Katkısız numunelerin kayma testi sonuçları	64
Tablo 7.13 %0,75 Nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları	66
Tablo 7.14 %1 Nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları	69
Tablo 7.15 %1,25 Nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları	71
Tablo 7.16 Çekme testi sonuçları	72
Tablo 7.17 Basma testi sonuçları	75
Tablo 7.18 Kayma testi sonuçları	77

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
σ	Gerilim
F	Kuvvet
A	Kesit Alanı
ε	Şekil Değişimi
l	Uzunluk
l_0	İlk uzunluk
τ	Kayma gerilimi
G_{12}	Kayma Modülü
γ_{12}	Poisson Oranı
E	Elastisite Modülü

Kısaltma	Açıklama
APL	Attpalgit kili
CNF	Selüloz nanofiber
CNT	Karbon nanotüpler
Co 60	Kobalt 60
Cs 137	Sezyum 137
CTBN	Karboksil sonlandırılmış bütadien akrilonitril
DVMT	Hidrolik asitle işlem görmüş vermikülit kili
E'	Depolama modülü
E''	Kayıp modülü
ECPNC	Epoksi-Kil-PbO
EPDM	Etilen-Propilen-Dien-Monomer

HAP	Hidroksiapatit nanopartikülleri
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
Ir 192	Iridium-192
kGy	Kilo grey
MA	Maleik anhidrit
MeV	Mega elektron volt
MGy	Mega grey
MMT	Montmorillonit-kil
OMMT	10 phr montmorillonit kili
PALF	Ananas yaprak lifi
PbO	Kurşun monoksit
Phr	Yüz reçine başına parça
PLA	Polilaktik asit
PP	Hidroksiapatit
RRP	Atık kauçuk tozu
RTVSR	Silikon kauçuk
SBR	Stiren bütadien kauçuk
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
TPE	Termoplastik elastomer
TPNR	Termoplastik doğal kauçuk
VMT	Vermikülit kili
WPA	Atık poliamid kopolimeri
WPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
XLPE	Çapraz bağlı polietilen
XRD	X-ışını kırınımı

ÖZET

NANOKİL KATKILI KOMPOZİT LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDE GAMA RADYASYON ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ERBİLGİN, Emine

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN

Ocak 2025, 109 sayfa

Kompozit malzemeler, gelişen teknoloji ile beraber geleneksel malzemelere alternatif olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin kullanıldıkları alanlarda performans ve mekanik özelliklerini iyileştirmek için nanopartiküller epoksi reçine içine ilave edilerek nanokompozit malzemeler üretilmektedir. Bilhassa kompozitlerin/nanokompozitlerin maruz kaldıkları çevresel şartlar, mekanik özellikler üzerinde etkili olmaktadır. Bu çevresel şartlar çoğu zaman su, nem, sıcaklık, radyasyon vb. olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, katkısız ve nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler üretilmiştir. Gama radyasyonunun bu numunelerin mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada nano malzemesi olarak nanokil kullanılmıştır. Nanokil oranları ise, epoksi reçine ağırlığına göre %0,75, %1 ve %1,25 oranlarında belirlenmiştir. Bu oranlara göre nano kil katkılı cam fiber takviyeli kompozit levhalar üretilmiştir. 8 tabakalı ve 2,1 mm kalınlığındaki levhaların üretimi elle yatırma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan hem katkısız hem de nanokil katkılı kompozitler, Co 60 ışınlama kaynağı tarafından 10 kGy ve 20 kGy dozlarında 1,75 ışınlama hızında ışınlamaya maruz bırakılmışlardır. Daha sonra bu numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için teste tabi tutulmuşlardır. Deneyler sonucunda, gama radyasyonuna maruz bırakılmayan %1,25 oranında nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerinin çekme, basma, kayma mukavemetlerinin, elastisite ve kayma modülü değerlerinin, gama radyasyonuna maruz bırakılmayan katkısız numunelerin değerlerinden sırasıyla %2,5, %14,69, %11,6, %5,7, %24,7 oranlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan %1,25 kil katkılı numunelerinin çekme, basma, kayma mukavemetleri ile elastisite ve kayma modül değerleri, 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan kil katkısız numunelerin değerlerine göre sırasıyla %1,6, %16,68, %4,48, %6,1, %43,7 oranlarında fazla olduğu elde edilmiştir. %1,25 nano kil katkılı numunelerin, 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakıldığında elde edilen çekme, basma, kayma mukavemetleri ile elastisite ve kayma modülü değerlerinin, 10 kGy gama dozuna maruz bırakıldığında elde edilen değerlere göre sırasıyla %0,93, %1,46, %10,01, %0,60, %3,85 oranlarında düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak gama radyasyon dozunun poisson oranını etkilemediği görülmüştür. Elde edilen sonuçların literatüre ve uygulama alanlarındaki kullanımına katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Anahtar kelimeler: Gama radyasyonu, Kompozit malzeme, Nanokil, Nanokompozit malzeme.

ABSTRACT
INVESTIGATION OF GAMMA RADIATION EFFECT ON MECHANICAL
PROPERTIES OF NANOCLAY ADDED COMPOSITE PLATES

ERBİLGİN, Emine

Master of Science, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Gurbet ÖRÇEN

January 2025, 109 pages

Composite materials are widely used as an alternative to traditional materials with the developing technology. In order to improve the performance and mechanical properties of composite materials in the areas where they are used, nanocomposite materials are produced by adding nanoparticles into epoxy resin. In particular, the environmental conditions that composites/nanocomposites are exposed to are effective on mechanical properties. These environmental conditions are often encountered as water, humidity, temperature, radiation, etc. In this study, glass fiber reinforced epoxy composite samples with no additives and nano clay additives were produced. The effect of gamma radiation on the mechanical properties of these samples was investigated experimentally. Nanoclay was used as the nano material in this study. Nanoclay ratios were determined as 0,75%, 1% and 1,25% according to the epoxy resin weight. Nanoclay additive glass fiber reinforced composite plates were produced according to these ratios. The production of 8-layer and 2,1 mm thick plates was carried out by hand lay-up method. Both the prepared composites with and without nanoclay additives were exposed to irradiation at 10 kGy and 20 kGy doses at 1,75 irradiation rate by Co 60 irradiation source. Then, these samples were tested to determine their mechanical properties. As a result of the experiments, it was determined that the tensile, compression, shear strength, elasticity and shear modulus values of the 1,25% nanoclay additive glass fiber reinforced epoxy composite samples that were not exposed to gamma radiation were 2,5%, 14,69%, 11,6%, 5,7%, 24,7% higher than the values of the undoped samples that were not exposed to gamma radiation, respectively. The tensile, compressive, shear strengths, elasticity and shear modulus values of the 1,25% clay added samples exposed to 20 kGy gamma radiation were found to be 1,6%, 16,68%, 4,48%, 6,1%, and 43,7% higher than the values of the samples without clay added exposed to 20 kGy gamma radiation, respectively. It was found that the tensile, compressive, shear strengths, elasticity and shear modulus values of the 1,25% nano clay added samples exposed to 20 kGy gamma radiation were 0,93%, 1,46%, 10,01%, 0,60%, and 3,85% lower than the values obtained when exposed to 10 kGy gamma dose. However, it was observed that the gamma radiation dose did not affect the Poisson ratio. We believe that the obtained results will contribute to the literature and its use in application areas.

Keywords: Gamma radiation, Composite material, Nanoclay, Nanocomposite material.

1. GİRİŞ

Modern teknolojinin sunduğu olanaklarla birlikte kompozit malzemelere ilgi artmaktadır. Bu malzemeler, genellikle iki veya daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır ve bu sayede, her bir malzemenin avantajları birleştirilmektedir (Yudar, 2023). Nanokompozit malzemeler, malzemenin özelliklerini iyileştirmek için nano parçacıklarını bir matrise (polimerler, metaller veya seramikler gibi) entegre eden son teknoloji bir malzeme sınıfını temsil etmektedir. Bu nanokompozit malzemeler, üstün mekanik özellikleri, termal kararlılıkları nem ve radyasyon gibi çevresel faktörlere karşı dirençleri nedeniyle, malzeme biliminin araştırmalarının odak noktası haline gelmiştir.

Gama radyasyonu, 1900 yılında Fransız kimyager ve fizikçi Paul Villard tarafından radyumdan yayılan radyasyonu inceleme sırasında keşfetmiş olduğu bir elektromanyetik radyasyonlardır (Bansal vd., 2024). 1960'lerden bu yana gama ışınlama tekniği, tıbbi ve cerrahi ekipmanların sterilizasyonu ve gıda ürünlerinin korunması için birçok endüstri tarafından kullanılmaktadır (Bansal vd., 2024).

Radyasyonun hem canlı organizmalar üzerinde hem de radyasyon ortamında kullanılan malzemeler üzerinde etkilerin oluşu bilinmektedir. Uzun yıllar boyunca yüksek yoğunluklu beton, kurşun, tuğla ve çelik levhalar gibi sert malzemeler radyasyondan korunma uygulamalarında kalkan olarak kullanılmıştır. Ancak nükleer teknolojinin hızla genişlemesi, uygun maliyetli bileşenlere sahip yeni hafif kompozitlerin piyasaya sürülmesini ihtiyaç haline getirmiştir. Polimer kompozitler (PC'ler), fiziksel özelliklerinden (örneğin esneklik) dolayı bu alanda öne çıkan malzemelerdedir (Buyuk vd., 2014; Kim vd., 2010). Yüksek dozda radyasyon, hücrelere ve dokulara ciddi zarar verebilirken, düşük dozlarda radyasyonun zararı genellikle daha azdır (Kim vd.2010). Radyasyonun yoğun olduğu nükleer santraller, radyoterapi üniteleri, uzay araştırmaları, tıbbi görüntüleme uygulamaları ve bazı endüstriyel tesisler ve ulaşım gibi sektörlerde zararlı radyoaktif kaynaklardan korunma önemlidir. Bu tür ortamlarda kullanılan malzemeler, radyasyonun yarattığı olumsuz etkilere karşı dayanıklı olmalıdır (Wang vd., 2023; Nigar vd., 2019). Radyasyonun malzeme üzerinde etkileri, malzemenin türüne, radyasyonun türüne, doz seviyesine ve

maruziyet süresine bağılı olarak değişkenlik göstermektedir. Malzemelerin radyasyona karşı dirençlerini artırmak için alaşımlama, polimer modifikasyonu, yüzey kaplama teknikleri, nanoteknoloji gibi yöntemler kullanılmışlardır (Abd El-Hameed vd., 2022). Bu çalışmada malzeme geliştirme tekniklerinden olan nanoteknoloji kullanılmış ve gama radyasyonu ve nano kil çalışılmıştır.

Cam fiber kumaş ve epoksi reçineye nanopartikül (%0, %0,75, %1, %1,25 Nano kil) eklenerek 8 tabakalı nanokompozit levha üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu levhalardan çekme, basma, kayma deneyleri için standartlar ölçüsünde numune kesimi yapılmıştır. Kesimi yapılan bu numuneler 9, 99 kGy (yaklaşık 10 kGy) ve 19,7 kGy (yaklaşık 20 kGy) gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Farklı oranlarda nanokil takviye edilerek, elde edilen nanokompozit malzemelerin mekanik davranışları incelenmiştir. Deneysel olarak gama radyasyonunun malzemenin mekanik davranışlarını nasıl değiştirdiğı incelenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, nanokil katkısı ile iyileşen mekanik özelliklere göre nanokompozitlerin uygulama alanlarının genişletilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca radyasyonun yarattığı olumsuz etkilere karşı dayanıklı malzeme üretimi amaçlanmıştır. Radyasyon ortamlarında kullanılan malzemelerin mukavemetinin artırılması, bu malzemelerin uzun ömürlü ve güvenli kullanımını sağlamak adına büyük bir öneme sahiptir. Radyasyonun malzemeler üzerindeki etkileri ve bu etkilerin minimize edilmesi için geliştirilen teknolojiler, gelecekte daha güvenli ve etkili malzeme kullanımını mümkün kılacaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Nanokompozitlerin üretim çıktısı olarak kullanılmasıyla birlikte bu alanla ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Araştırmalarda; kompozitlere nanokil eklenerek, üretimi yapılmış malzemelerin radyasyona maruz bırakılarak, mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Alothman vd. (2014), çift vidalı ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama kullanarak yüksek yoğunluklu polietilene (HDPE) %0, %10, %20 ve %30 ağırlık oranlarda hidroksiapatit nanopartikülleri (HA) ilave edilerek HDPE/HA nanokompozitleri hazırlamışlardır. Numuneleri oda sıcaklığında 5 kGy/saat hızında 0 kGy, 35 kGy ve 70 kGy dozlarında gama ışınlarına maruz bırakmışlardır. Tüm nano kompozitlerin depolama ve kayıp modülleri (E' , E'') HA nanopartiküllerinin artmasıyla arttığını gözlemişlerdir. Örneğin, 1 Hz'de, saf HDPE'ye kıyasla %10, %20 ve %30 HA nanopartiküllerinin eklenmesiyle depolama modülü 1,16'dan 1,55, 1,69 ve 1,79 GPa'ya yükseldiğini belirlemişlerdir. Kayıp modülü için, aynı test koşullarında saf HDPE'ye kıyasla %10, %20 ve %30 HA nanopartiküllerinin eklenmesi nedeniyle değeri 275'ten 320, 332 ve 403 MPa'ya yükseldiğini belirlemişlerdir. Nanokompozitlerin çekme, depolama ve kayıp modülleri ile sürünme direnci, HA partikül oranının artması ile orantılı olarak arttığını belirtmişlerdir. HDPE ve HDPE/HA nanokompozitlerinin ışınlanmasının, çekme, depolama ve kayıp modüllerinin, sürünme geri kazanımının ve direncin artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Hassan vd. (2015), atık poliamid kopolimeri/atık kauçuk tozu ve montmorillonit-kil (WPA/RRP/MMT) nanokompozitlerini (0 kGy, 50 kGy, 100 kGy, 150 kGy ve 200 kGy) gama ışınlama dozlarına maruz bırakarak mekanik özelliklerini (çekme mukavemeti, kopma uzaması, elastik modülü) ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Yapısal ve morfolojik çalışmalarda, kil eklenmesi ve gama ışınlanmasıyla malzemede meydana gelen yapısal değişimi incelemek için EDX ve SEM kullanmışlardır. Bu amaçla; katkısız, %6, %12, %18, %24 oranlarda montmorillonit-kil kullanarak numuneler hazırlamışlardır. Montmorillonit-kil WPA/RRP/MMT nano kompozitlerinin çekme dayanımını, kopma uzamasını, sertlik ve termal kararlılık gibi özelliklerini arttırdığını belirtmişlerdir. MMT'nin çekme dayanımı üzerindeki etkisi

%12 ağırlıkça kadar artmış, daha sonra daha yüksek içeriklerde azalma eğilimi göstermiştir.

Yazarlar yaptıkları çalışmada; ışınlamanın nanokompozitin kopma uzama ve çekme dayanımını %12 kil oranına kadar önemli ölçüde artırdığını ancak %12 fazla kil oranlarda bütün radyasyon dozları için kopma uzaması ve çekme dayanımı azalmış olduğunu belirlemişlerdir. Işınlamada 100 kGy'ye kadar tüm MMT oranlarında elastik modülü iyileştirdiği belirlemişlerdir. Fakat 100 kGy'nin üzerindeki radyasyon dozlarında elastik modül azalmış olduğunu belirlemişlerdir.

Kiani vd. (2019), ECPNC (Epoksi-Kil-PbO) nanokompozitlerini döküm yöntemi ile hazırlamışlardır. Yazarlar, ECPNC'lerin Ir-192, Cs-137 ve Co-60'tan geniş bir enerji aralığında yayılan gama ışınlarına karşı koruma direncini (kalkanlama) incelemişlerdir. Nanokompozitlerin gama ışınlarına karşı kalkanlama yeteneğini için yazarlar çalışmasında, gama zayıflatıcı için ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranında PbO ve fiziksel düzenleyici olarak %3 ağırlık oranında Closite 30B nanokil içeren ECPNC'ler hazırlamışlardır. Epoksi matristeki kurşun monoksit parçacıklarının artmasıyla, kalkanın termal özellikleri iyileşti, ancak numunelerin mekanik dayanımı bozuldu. Yazarlar, SEM-EDS görüntüleri ve XRD spektrumları verilerine göre kil pulcuklarının tamamen döküldüğü ve PbO parçacıklarının polimerik matriste homojen olarak dağıldığını gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Termo-gravimetrik analiz ve standart çekme testleri, Epoksi matristeki kurşun monoksit parçacıklarının artmasıyla kalkanın termal özelliklerini iyileştirdiğini ancak numunelerin mekanik dayanımının kötüleştiğini belirtmişlerdir. Deney sonuçlarında, ağırlıkça %30 PbO içeren ECPNC'lerin etkinliğinin betondan %47 daha iyi olduğunu, ancak çelik veya kurşundan daha iyi olmadığını göstermişlerdir.

Ahmedi vd. (2009), Etilen-Propilen-Dien-Monomer (EPDM) kil katkılı nanokompozit malzemeleri, EPDM geleneksel kompoziti ve dolgusuz EPDM'yi gama ışınına maruz bırakılarak mekanik davranışlarını deneysel çalışmalarla incelemişlerdir. 3,6 kGy/h çalışma doz hızında oda sıcaklığında 50kGy, 150kGy, 250 kGy, 500 kGy, 1000 kGy, 1500 kGy dozlarından ışınlanmışlardır. Gama ışınlamının EPDM/kil nanokompoziti, EPDM geleneksel kompoziti ve dolgusuz EPDM'nin özellikleri üzerinde güçlü bir etki

oluşturduğunu belirtmişlerdir. EPDM/kil nanokompozitinin çekme dayanımında 200 kGy'ye kadar artış meydana gelmiştir ancak daha sonraki dozlardan 1000 kGy'ye kadar belirgin bir azalma meydana geldiğini görmüşlerdir. Işınlama dozunun 1000 kGy' den fazla artırılması EPDM/kil nanokompozitinin çekme dayanımını değiştirmemiştir. EPDM geleneksel kompoziti ve dolgusuz EPDM'nin çekme dayanımı ise ışınlama dozunun yaklaşık 150 kGy'ne kadar artışı ve daha sonra 300 kGy'ye kadar bir azalma meydana geldiğini görmüşlerdir. Çekme dayanımı, ışınlama dozun 300 kGy'den 1000 kGy'ne kadar yaklaşık olarak sabit kaldığını görmüşlerdir. Fakat 1000 kGy'den daha yüksek ışınlama dozunda bir azalma meydana geldiğini görmüşlerdir. Işınlanmaya maruz bırakılmış kil katkılı EPDM nanokompozitlerin, geleneksel EPDM kompozit ve dolgusuz EPDM'den daha yüksek çekme mukavemete sahip olduklarını tespit etmişlerdir. Genel olarak bütün malzemelerin düşük ışınlama dozunun çekme mukavemetini artırdığını; diğer yandan, yüksek ışınlama dozlarında azaldığı tespit etmişlerdir.

Hegazi vd. (2018), nano-kilin yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) üzerindeki takviye etkisini ve gama radyasyonunun farklı oranlarda nano-kil içeren HDPE üzerindeki etkisini incelemişlerdir. HDPE'ye ağırlıkça %0, %3, %5, %7 ve %10 oranlarında nanokil eklemişlerdir. Yazarlar farklı kil oranlarında hazırlamış oldukları nanokompozit malzemeleri, farklı dozlarda (0 kGy, 50 kGy, 100 kGy, 200 kGy, 500 kGy 60Co gama radyasyon kaynağı tarafında 6,5 kGy/saat hızında ışınlamaya maruz bırakmışlardır. Kompozitlerin mikroyapısını ve faz kompozisyonunun, mekanik özelliklerini, çekme dayanımını ve sertliklerini incelemişlerdir. Nanokil ilavesine bağlı olarak nanokompozitlerin mekanik özelliklerini arttığını göstermişlerdir. Optimum nanokil ilavesinin ağırlıkça %3 olduğunu belirtmişlerdir. Nano kilin sadece mikroyapıyı iyileştirmek için dolgu maddesi görevi görmediğini, aynı zamanda polimerin reaksiyonunu kolaylaştıran bir aktivatör görevi de gördüğünü belirtmişlerdir. Bu çalışmada, gama ışınlamasının, 100 kGy'ye kadar, tüm kompozitlerin özelliklerinde (çekme dayanımı, % uzama, bükülme, sertlik değerlerinde) önemli bir iyileşmeye yol açtığını belirtmişlerdir. 100 kGy'nin ötesindeki daha yüksek dozlarda, özellikler 200 kGy'den ve 500 kGy'ye kadar artan ışınlama dozuyla azalmaya başladığını belirtmişlerdir.

Niang vd. (2017), Değişken gama radyasyon dozunun (5 kGy, 25 kGy, 50 kGy, 75 kGy, 100 kGy) HDPE matrisli çam ağacının termal davranışı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. 50 kGy ile ışınlanmış kompozitler daha yüksek eğilme ve çekme mukavemeti göstermiştir. Eğilme ve çekme modülü 75 kGy doza kadar artarken , darbe mukavemeti, artan gama radyasyon dozuyla azalmış olduğunu belirtmişlerdir. Çekme mukavemeti %54'e kadar artarken, eğilme mukavemetinde %55,12'lik bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zaidi vd. (2013), eriyik işlemeyle hazırlanan saf Polilaktik Asit (PLA) ve PLA-C30B nanokompozitlerinin (ağırlıkça %5) gama ışınlaması altında oksidatif bozulmasının, malzemelerin yapısında, morfolojisinde, termal ve mekanik özelliklerinde ciddi değişikliklere neden olduğunu belirtmişlerdir. Malzemeleri ışınlamaya oda sıcaklığında, 1,92 kGy/h doz hızında 0 kGy, 40 kGy, 50 kGy, 100 kGy ve 200 kGy'ye maruz bırakmışlardır. C30B'nin varlığından güçlü bir şekilde etkilenen ışınlanmış nanokompozitlerin morfolojisine bakmışlardır. Yazarlar, çalışmalarında ışınlamanın kil katmanlarının sterik etkileşimlerini değiştirdiğini ve özellikle yüksek ışınlama seviyesinde kil katmanlarının daha iyi bir nano dispersiyonuna neden olduğunu göstermişlerdir. Gama ışınlamasına maruz bırakılan saf PLA'nın mekanik özelliklerinde hafif bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Nanokompozitlerin, ışınlama etkileri 0 kGy ile 50 kGy arasında mekanik özelliklerde önemli bir artış, ardından 50 kGy ile 100 kGy arasında hafif bir iyileşme gösterilmiştir. Daha sonra azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Abdel-Aziz vd. (2017), Etilen Propilen Dienterpolimer (EPDM), kauçuk nanokompozitlerine 10 phr montmorillonit (OMMT) nanokil ve farklı yüzdelerde %10, %20, ve %30 phr füme silika eklenmiş numuneleri (EPDM, EPDM+10Phr kil, EPDM+10Phr kil+10 Phr füme silika, EPDM+10Phr kil+20 Phr füme silika, EPDM+10Phr kil+30 Phr füme silika) 0 kGy, 25 kGy, 50 kGy, 100 kGy, 150 kGy, ve 200 kGy'ye 2,18 kGy/h hızında gama radyasyonuna maruz bırakılmışlar. Gama radyasyonun malzemenin mekanik özelliklerinde çekme dayanımı; 10 phr montmorillonit modifiye kil içeren EPDM'nin tüm ışınlama dozları için arttığını görmüşlerdir. Ancak çekme dayanımından 50kGy dozuna kadar sürekli bir artış, 50kGy den yüksek dozlarında azalan bir artış olduğunu belirlemişlerdir. EPDM/kil

kompozitine silika eklemenin etkisi ışınlanmamış numuneler için belirgin olmadığını belirtmişlerdir. Işınlama dozlarından çekme dayanımı füme silikanın artmasıyla daha fazla artmış olduğunu belirtmişlerdir. Kopma uzamasını düşük ışınlama dozunda, yani 25 kGy'ye kadar artmış ve daha sonra ki dozlarda 200 kGy'ye kadar azaldığını belirlemişlerdir. OMMT içeren ışınlanmış EPDM kauçuğunun mekanik, hacimsel özdirenci ve termal özelliklerinin füme silika eklenmesiyle arttığını belirlemişlerdir. Yazarlar, en iyi fiziksel ve mekanik özellikleri, 10 phr nano kil, 30 phr füme silika ve 50 kGy'ye ışınlanmış 5 phr koajan içeren nanokompozitlerden elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Attia vd. (2020), oda sıcaklığında silikon kauçuk (RTVSR) kompozit malzemelerine montmorillonit nanokil, füme silika ve her ikisi (RTVSR) ile hazırlandığı nanokompozit malzemeler üretmişlerdir. Nanokompozit malzemeleri gama radyasyonuna (0 kGy, 20 kGy, 30 kGy, 50 kGy, 70 kGy, 100 kGy 150 kGy) maruz bırakılarak radyasyonun nanokompozit malzemelerin üzerinde etkisi araştırmışlardır. Malzemenin çekme mukavemeti, uzama, şişme, çözünürlük, termal kararlılık, yanıcılık özellikleri ve hacim özdirencini araştırmışlardır. Yazarlar, çalışmalarında gama radyasyonuna maruz bırakılan tüm nanokompozit malzemelerin çekme dayanımının, radyasyon dozunun artmasıyla ilk önce arttığını sonra azaldığını belirtmişlerdir. Çekme dayanımının 100 kGy radyasyon dozunda maksimum değerlere ulaştığını belirtmişlerdir. 100 kGy ile 150 kGy arasında ise çekme dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, numuneler arasında en iyi termal, mekanik özellik, elektrik yalıtımı ve yangın geciktirmek özelliğinin füme silika nanokompozit malzemesinin gösterdiğini belirtmişlerdir. Çekme dayanımının; 100 kGy radyasyon dozuna kadar arttığını, ancak uzama, şişme ve çözünürlüğün ise 150 kGy radyasyon dozuna kadar azaldığını belirtmişlerdir.

Elshereafy vd. (2016), etilen propilen dien monomer kauçuk/stiren bütadien kauçuk/atık yüksek yoğunluklu polietilen (50/50/30) kompozitlerine farklı oranlarda (2,4.10 phr kil) montmorillonit kili ekleyerek elde ettikleri nanokompozit malzemeler (EPDM/SBR/WPE +2phr organik kil, EPDM/SBR/WPE +4Phr organik Kil, EPDM/SBR/WPE +10 Phr organik kil) 0 kGy, 50 kGy, 100 kGy, 150 kGy, 200 kGy, 250 kGy, 300kGy dozlarında gama radyasyonuna maruz bırakmışlardır.

Nanokompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve termal özelliklerinin, ıslama dozu ve nano kil oranları ile nasıl değiştirdiğini incelemişlerdir. EPDM/SBR/WPE organik kil nanokompozitleri eriyik karıştırma yöntemi ile hazırlamışlardır. Yazarlar çalışmalarında, morfolojik incelemelerden nanokompozitlerin silikat katmanlarının soyulduğunu ve polimer matriste düzgün bir şekilde dağıldığını belirtmişlerdir. Çekme dayanımı bütün numunelerden 150 kGy'ye radyasyon dozuna kadar arttığını daha sonraki dozlarda azaldığını gözlemlemişlerdir. Gama ıslamasına bağlı çekme dayanımındaki artışı, çapraz bağlanmanın meydana geldiğini gösterirken, 150 kGy dozunun ötesindeki azalma, oksidatif bozulmanın meydana geldiğini göstermektedir. Çekme mukavemetindeki bu artış, polimer matris molekülleriyle temas halinde olan modifiye kilin daha yüksek yüzey alanı ve ayrıca polimer matriste kilin homojen dağılmasının neden olduğı şekilde modifiye kil ile matris arasındaki güçlü etkileşimine atfetmişlerdir. Tüm numuneler için çekme modülü değerlerinin, ıslama dozunun 150 kGy'ye kadar artırılmasıyla arttığı gözlemlenebilir. 150 kGy'nin üzerindeki daha yüksek dozlarda, çekme modülü değerleri, ıslama dozunun artırılmasıyla azalmaya başladığını belirlemişlerdir. Yüzde uzama tüm ıslama dozlarında azalma meydana gelmiş olduğunu ifade etmişlerdir. Organik kil eklenmesi gama radyasyonla kürlenmiş nanokompozitlerin Termogravimetrik analiz çalışmalarının, termal kararlılıkta iyileşmeler olduğunu göstermişlerdir.

El-Nemr vd. (2018), oda sıcaklığında nanopartikül vermikülit kili, hidroklorik asitle karıştırılarak elde edilen nanokompozit malzeme 300 °C'de kurutulmuşlardır. Asitle işlem görmüş vermikülit kili ((DVMT) farklı (0 Phr, 2,5 Phr, 5 Phr, 7,5 Phr, 10 Phr) oranlarda ve maleik anhidrit (MA), stiren-bütadien kauçuğu (SBR) ile karıştırılarak SBR/DVMT/MA nanokompozit malzeme üretimi gerçekleştirmişlerdir. Saf vermikülit kili (VMT), hidrolik asitle işlem görmüş vermikülit kili ((DVMT) ve maleik anhidritin gama ıslanmasının stiren-bütadien kauçuğunun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi araştırmışlardır. SBR/VMT kompozitleri ve SBR nanokompozitleri 25 ile 150 kGy arasında değişen farklı dozlarda C-60 kaynağından gama ıslamlarına maruz bırakmışlardır. DVMT nanopartiküllerinin ve MA'nın (3 Phr, 7 Phr, 10P hr) dâhil edilmesinin SBR/kil nanokompozitinin fiziko-kimyasal ve termal özelliklerini iyileştirdiğini göstermişlerdir. İyileştirme hem DVMT hem de MA'nın içeriği 10 phr ve ıslama dozu 100 kGy olduğunda elde etmişlerdir.

Abd El-Hameed vd. (2022), uzay radyasyon kaynaklarının uzay sistemleri ve havacılık endüstrileri için kullanılan kompozit malzemelerin üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Radyasyona maruz kalan kompozit malzemelerde bozulma, hasar ve optik, termofiziksel ve mekanik özelliklerde değişiklik olduğunu değerlendirmişlerdir. Radyasyon dozundaki artışın malzeme mukavemetinde azalmaya yol açtığı kantına varmışlardır. Mukavemetin azalması yüzeyde kırılmaya ve hasara yol açtığını belirtmişlerdir. Elektron ve partikül radyasyonu, moleküler ağırlıktaki malzemede bir azalmaya neden olabilmektedir. Yüksek enerjili protonlar, kompozitin genel dayanıklılığını etkileyebilir. Uzay ortamının kompozit malzemeler üzerindeki etkisinin radyasyon ortamının koşullarına ve bu malzemelerin radyasyon maruziyetleri tarafından değiştirilmeye karşı duyarlılığına bağlı olduğunu doğrulamışlardır. Radyasyon kalkanı, koruyucu kaplamalar ve yapıştırıcılar için kullanılan çeşitli kompozit malzemeler, radyasyon etkisinden kaynaklanan uzay sistemlerinin anormalliklerini ve arızalarını azaltma yeteneğine sahiptir. Bu malzemelerin kirletici olmayan, saldırıya dayanıklı, yüksek mukavemetli, uygun maliyetli, büyük boyutlara kolayca ölçeklenebilir, sert ve radyasyon ortamında daha kararlı olduğunu düşünmüşlerdir. Bu çalışmanın, özellikle zorlu radyasyon ortamında optimum performansı gerçekleştirmek için yeni teknolojide kullanılan yeni uzay malzemeleri olmak üzere kompozitlerin özelliklerinin daha da iyileştirilmesinin uygulanabilirliğini bulmaya yardımcı olacak bilgiler sağlayabileceği sonucuna varmışlardır.

Dadbin vd. (2014), Saf PLA ve döküm yöntemiyle üretmiş oldukları poli laktik asit/hidroksiapatit (PLA/HAP) nanokompozit filmler kullanmışlardır. Saf PLA, PLA/HAP (2, 4, 6, 10, 30, 50 ve 70 pph) içeren nanokompozit filmlerini 30 kGy dozunda gama radyasyonuna maruz bırakılmışlar. 30 kGy dozunda gama radyasyonu ile ışınlanan filmlerin kristallerinde bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar bu çalışmada 2 ve 10 pph HAP içeren hem ışınlanmış hem de ışınlanmamış PLA nanokompozitlerinde önemli derecede sünek davranışlar gözlemlemişlerdir. Yazarlar, radyasyona maruz bırakılmış nanokompozitlerde daha yüksek çekme mukavemeti artışı olduğunu belirtmişlerdir. Düşük içerikte HAP nanopartiküllerinin dâhil edilmesinin, saf PLA'nın 2,5 katına kadar daha iyi bir kopma uzaması sağladığını belirtmişlerdir. 2- 30 pph HAP içeren ışınlanmamış nanokompozitlerin kopma uzaması saf PLA'dan daha yüksekti ve daha sonra 70 pph'ye kadar HAP eklenmesiyle

azaldı. Uzamadaki maksimum değer 6 pph'lık bir HAP değerinde ortaya çıktı. Işınlanmış ve ışınlanmamış nanokompozitlerin çekme dayanımları saf ışınlanmamış PLA'nın kinden biraz daha düşük olduğunu, PLA'daki HAP miktarının değişmesiyle neredeyse hiç değişmeden kaldığını belirtmişlerdir.

İbrahim vd. (2011), nişastaya farklı oranlarda kil (%1, %2, %3, %4, %5 kil) katılarak, nanokompozitler hazırlamışlardır. Kompozit malzemeleri 10 kGy, 20 kGy, 30 kGy ve 40 kGy dozlarından gama radyasyonuna maruz bırakmışlardır. Kilin nişasta içinde dağılmasını, X-ışını difüz fraksiyonu (XRD) ile incelemişlerdir. Ayrıca mekanik ve termal özellikler, su buharı iletimi özellikleri, nişasta/kil kompozitinin jel içeriği ve şişme davranışı incelemişlerdir. Yazarlar, çalışmalarında jel içeriğinin, artan kil içeriği ve ışınlama dozuyla arttığını belirtmişlerdir. Çekme dayanımı 30 kGy'ye kadar artan ışınlama dozuyla artmış, 30 kGy'den daha fazla ışınlama dozundan çekme dayanımında bir azalma olduğunu belirtmişlerdir. Maksimum çekme dayanımının 30 kGy'de %4 kil konsantrasyonuyla görüldüğünü belirtmişlerdir. Çekme dayanımındaki artış, kompozitin radyasyonla indüklenen çapraz bağlanmasıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. %4 nişasta/kil oranında kompozitinin çekme mukavemetinde ve termal kararlılığından artış olduğunu belirtmişlerdir.

Biswal vd. (2009), PP/PALF (Polipropilen/Ananas yaprağı lifi) kompozitlerine nanokil ilave ederek, elde edilen kompozitin mekanik özelliklerini, kristalleşme davranışlarını, su emilimini ve termal kararlılıklarındaki değişimi incelemişlerdir. PP'nin çekme, eğilme ve darbe özelliklerinin, lif yüklemesinin %10'dan %30 ağırlıkça artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir. %30 ağırlıkça PALF ve %5 ağırlıkça MA- g -PP kullanılarak hazırlanan kompozitler, saf PP ile karşılaştırıldığında çekme dayanımında %31'e, eğilme dayanımında %45'e artışla optimum mekanik performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Nanokil ilavesi, PP/PALF kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımında sırasıyla %20 ve %24,3 oranlarına varan bir artışla sonuçlandığını tespit etmişlerdir.

Naikwadi vd. (2022), gama ışınlamasının polimer, polimer karışımları, kompozitler ve nanokompozitler gibi farklı polimerik malzemelerin geliştirilmesi üzerinde etkisini araştırmışlardır. Gama radyasyonun yüksek performanslı nano kil hibritlerin geliştirilmesi üzerine bir değerlendirme yapmışlardır. Birçok araştırmacılarının, karışmayan karışımları karıştırmak ve uyumlu hale getirmek için ışınlama işlemini ve mekanik

öğütmeyi incelemiştir. Polimer matrislerin Gama ışınlamasında hem zincir çapraz bağlanması hem de zincir kopması aynı anda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Kontrollü doz çalışmalarında (1–10 kGy) gama radyasyonu ile çapraz bağlanmış polimerler, yararlı özelliklerini korumuş olduklarını yüksek enerjili gama radyasyonuna ve yüksek sıcaklık ortamına dayandığını belirtmişlerdir.

Wasfy vd. (2018), etilen propilen dien monomer kauçuğunun (EPDM yalıtım kauçuğu) performansını iyileştirmek için EPDM bileşiklerine birçok katkı maddesi eklenebileceğini belirtmişlerdir. Bu amaçla farklı oranlarda nanokil (%0, %3, %5, %7, %10) ekleyerek EPDM kauçuğunun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırılmışlardır. Aynı zamanda nanokil katkılı EPDM kauçukları, farklı dozlarda (0-100-200-300-400-500-600 kGy) gama ışınlarına maruz bırakarak, radyasyon direncini araştırmışlardır. Yazarlar, en iyi fiziksel ve mekanik özellikleri %5 ve %7 nanokil içeren EPDM'den elde ettiklerini belirtmişlerdir. %5 ve %7 nanokil içeren EPDM kauçukları 200 kGy gama radyasyonuna kadar çekme dayanımının arttığını, sonra biraz azalma gösterdiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında nano kilin iyi bir katkı maddesi olduğunu ve gama radyasyonunda EPDM kauçuğu için iyi bir koruyucu malzeme olduğunu belirtmişlerdir.

Kim vd. (2010), epoksi reçinesi karboksil sonlandırılmış bütadien akrilonitril (CTBN) ve nanokil içeren bisfenol A tipi epoksi bozulma üzerinde radyasyon etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, numuneleri 8 kGy/saat doz hızında 500 kGy, 1000 kGy ve 1500 kGy gama ışınlarına maruz bırakmışlardır. Gama ışınlarına maruz kalan numunelerin, termogravimetrik analizör (TGA) kullanılarak bozunma özelliklerini ölçmüşlerdir. TGA sonuçlarına göre, emilim dozu arttıkça ve ısıtma hızı azaldıkça, numunelerin termogravimetrik eğrilerinin hızla azaldığını belirtmişlerdir.

Younes vd. (2019), farklı gama ışınlama dozlarının (0, 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 kGy) pirinç kabuğu-polivinil klorür yonga levha kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini üzerindeki rolünü incelemiştir Polivinil klorürün polimer ağırlığının %5, %10, %15 ve %20'si oranında farklı nano-cüruf yüzdeleriyle üretim gerçekleştirmişler. Yonga levha kompozitinin içinde en iyi fiziksel ve mekanik özellikleri polimer ağırlığının %10'una kadar dolgu maddesi kullanılan nano-cüruf

kompozit malzemeleri göstermiş olduğunu belirtmişlerdir. Eğilme mukavemeti ve sertlik gibi mekanik özelliklerde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. Gama radyasyonun 5 kGy dozuna kadar eğilme mukavemetinin arttığını, 5 kGy’lik bir dozun ötesinde, eğilme mukavemeti değerlerinde bir azalma olgusu belirtmişlerdir. Bu azalma ile birlikte zincir kopma işlemi meydana gelebilmiş olduğunu belirtmişlerdir. Hem işlenmemiş hem de işlenmiş yonga levha kompozitlerinde %10 kadar nano-cüruf içeriğinin artışıyla daha sert hale geldiğini belirlemişler. Gama ışınlaması hem işlenmiş hem de işlenmemiş yonga levha kompozitlerinde 5 kGy’ye kadar fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmiş ancak doz arttıkça yonga levha kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri azalmış olduğunu belirtmişlerdir.

El-kattan vd. (2019), çapraz ağırlı Polietilene (XLPE) kil nanopartiküllerini eklenmişlerdir. Kablolarda yalıtım malzemesi olarak kullanılabilen bu malzemenin elektriksel, dielektrik ve mekanik özelliklerini geliştirmeyi amaçlamışlardır. Katkı malzemesi olarak %1, %2,5, %3, %4, %5 oranlarında nanokil kullanmışlardır. XLPE/Kil – nanokompozitlerini 0 kGy, 100 kGy, 200 kGy, 300 kGy, 400 kGy ve 500 kGy gama radyasyon dozlarına maruz bırakmışlardır. Yazarlar, gama radyasyonuna maruz bırakılma deneyini hem XLPE/Kil hem saf XLPE kablo yalıtımında hem de doldurulmuş olanında, 50 °C sıcaklığında 1,87 KGy/saat ışınlama hızında 60 Co gama ışını kaynağı kullanarak gerçekleştirmişler. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile XLPE/Kil- nanokompozitlerin yüzey morfolojisini incelemişler. Yazarlar, çalışmalarında XLPE/kilin kırılma mukavemetinin, kil nanopartiküllerinin matrislerine dahil edilmesiyle, doldurulmamış XLPE’ye kıyasla arttığını belirtmişlerdir. İyi elektriksel özelliklerin %1 kil nanopartikülünün eklenmesinde elde edildiğini belirlemişlerdir. Hem elektriksel kapasitans hem de dielektrik sabiti, saf XLPE’nin %1’ine kıyasla 50 KGy’de XLPE/Kil için yaklaşık %20 oranında arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, XLPE kablo yalıtımında mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için kil nanopartikülünün optimum yükleme oranının ise %4 olduğunu belirtmişlerdir. Mou’ad vd. (2021), Karbon nanotüpler (CNT’ler) ve montmorillonit nano kilinden (DK4) oluşan hibrit nanodolgu maddelerinin aynı ağırlık oranına sahip termoplastik elastomer (TPE) bir nanokompozit, malzemeler hazırlamışlardır. CNT’lerin ve DK4’ün ağırlıkça oranları %2,5 olarak kullanmışlardır. Hazırlanan numuneleri 0 kGy, 100 kGy, 150 kGy, 200 kGy, 250 kGy gama radyasyonuna maruz bırakmışlardır.

Yazarlar çalışmalarında farklı dozlardaki gama radyasyonunun nanokompozit malzemelerinin mekanik özelliklerini değiştirme etkilerini araştırmışlardır. Eşit miktarda dolgu maddesinin varlığında, nanokompozitler için en büyük çekme dayanımı ve Young Modülünü, sırasıyla yaklaşık %44 ve %47 oranlarından 150 kGy radyasyon emilim dozunda elde etmişlerdir. Nanokompozit malzemeye etkileyen (150 kGy'ye) gama radyasyonuna kadar darbe dayanımında artış, ardından gama doz 250 kGy'ye kadar arttıkça darbe dayanımında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar darbe yayımını 150 kGy'ye oranlarından arttığını belirtmişlerdir. Ancak, 150 kGy'den daha büyük radyasyon dozlarından numunelerin özelliklerinin azaldığını bildirmişler.

Shahdan vd. (2024), NR (%50), LNR (%10) ve LLDPE'den (%40) oranında oluşturulan termoplastik doğal kauçuk (TPNR) matristi ve kompozitte dolgu maddesi olarak OMMT ve CNF kullanmışlardır. TPNR nanokompozitlerine dâhil edilen organokil (OMMT) ve selüloz nanofiber'nin (CNF) tek nano dolgularını (%3 ağırlıkça ve %6 ağırlıkça dolgu maddesi yüklemesi) ve hibrit nano dolgularını (1: 1, 1: 2 ve 2: 1) oranlarında aynı dolgu maddesi yüklemeleri hazırlamak için kullanmışlardır. %6 ağırlıkça CNF'nin sırasıyla %77 ve %82'lik bir artışla OMMT'den daha iyi çekme mukavemeti ve uzama göstermişlerdir. %3 ağırlıkça dolgu yüklemesinde, 1:1 oranındaki hibrit nanokompozit (OMMT: CNF) en iyi çekme özeliğini göstermiştir. 5 ila 15 kGy arasında değişen çeşitli radyasyon dozlarıyla Kobalt-60 radyasyon kaynağı kullanılarak gama ışınlarıyla ışınladı. Numuneleri 0 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 15 kGy dozlarındaki gama radyasyonuna maruz bırakmışlardır. 10 kGy gama radyasyonu kadar TPNR matrisindeki her bir nano dolgulu (OMMT ve CNF) malzemelerin, çekme mukavemeti ve çekme modülü artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Hibrit kompozitlerde, %3 ağırlıkta dolgu yüklemesine sahip 2:1 hibrit nano dolgular (OMMT: CNF) için 10 kGy ışınlama, sırasıyla %38 ve %53'lük bir artışla en yüksek çekme mukavemetine ve çekme modülüne sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Negm vd. (2024), Attapulgit (APL) kilini, farklı oranlarda iki farklı nanometal oksit olan CdO ve NiO ile birleştirerek AT 40 Cd X Ni 60-X olarak adlandırılan, nanokompozit malzeme geliştirmişlerdir. Bu malzemenin, gama ışınlarından koruma özelliklerine bakmışlardır. %40 APL +%15, %30 ve %45 (CdO), +%45, %30 ve %15

NiO oranlarda hazırlanan nanokompozit malzemeler deney çalışmalarında kullanmışlardır. Deneyde standart gama ışını kaynakları Cs-137 ve Co-60 kullanmışlardır. Zayıflama ölçümleri, yarıçapı 1,25 cm ve kalınlığı 0,3 cm olan disk şeklindeki numunelere uygulamışlardır. Gama radyasyonunu ölçmek için yüksek saflıkta bir germanyum (HPGe) dedektörü kullanmışlardır. Gama radyasyonunu ölçmek için yüksek saflıkta bir germanyum (HPGe) dedektörü kullanmışlardır. Dedektör, arka plan radyasyonun en aza indirmek için kullanmışlardır. Kil bazlı AT 40 Cd 45 Ni 15 nanokompozit numunesinin gama radyasyonuna karşı dikkate değer bir dayanma kabiliyetine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Abd El-Hameed vd., (2022), Epon 862/W numunelerinin üzerine gama radyasyonun etkisini incelemişlerdir. Gama radyasyonun numunelerin renginden değişim meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Bu renk değişimi gama radyasyonun dozundaki artışla numunede daha fazla koyulaşmanın meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. 1,6 Mrad'a maruz kalan numunenin 0,8 Mrad'a dozuna maruz kalan numuneden daha fazla koyulaştığını açıklamışlardır. Yüksek dozdan radyasyonun malzemelerin fiziksel özelliklerini değiştirdiğini belirtmişlerdir. Numunelerdeki renk koyulaşma seviyesinin maruz kalma süresiyle ve doz miktarıyla arttığını belirtmişlerdir.

Wu vd. (2013), ışınlanmamış numunelerin açık sarı ve şeffaf olduğunu belirtmişlerdir. 1 MGy'lik gama radyasyon dozuna maruz bırakılan numunelerden, açık sarıdan kahverengiye doğru renk değişimi olgunu ve yarı saydam hale geldiğini belirtmişlerdir. Gama dozu arttıkça, malzemenin belirgin bir renk değişimi gösterdiğini ve gözle görülür koyu kırmızı bir renk aldığı ve opak hale geldiğini belirtmişlerdir. UV bandının dalga bandında güçlü bir emilimi olduğunu belirtmişlerdir. İletimi, artan ışınlanma dozuyla beraber görünür ışık bölgesinde ve yakın kızılötesi bölgede azalır. Bu sonuçların, renk değişim derecesinin ışınlanma dozunun artmasıyla arttığına dair gözlemsel verilerle tutarlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçların, epoksi reçinesinin gama ışınları tarafından önemli ölçüde bozulduğunu göstermiş olgunu belirtmişlerdir.

Bayram (2022), yazar bu çalışmada katkısız, (%0,5, %1, %1,50) oranlarından nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerini incelemiştir. Nanokil katkılı

numunelerinin; çekme mukavemet, elastisite modülü, basma mukavemeti, kayma mukavemeti, kayma modülü değerlerinin katkısız numune değerlerine göre artığını belirtmişlerdir. Fakat bu artışın nanokil oranının artması ile aynı doğrultuda gerçekleşmediğini belirtmişlerdir. En yüksek çekme mukavemet değerinin %1 oranında nanokil takviyesine sahip numune de elde etiklerini belirtmişlerdir. %1,5 nanokil katkılı numunelerin çekme dayanımı, %1 nanokil katkılı numunenin çekme dayanımından %7,11 oranın daha düşük olduğunu da belirtmişlerdir.



3. KOMPOZİT MALZEMELER

Modern teknolojinin sunduğu olanaklarla birlikte kompozit malzemelere ilgi artmaktadır. Kompozit malzemeler, genellikle farklı iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulur ve bu sayede, her bir malzemenin avantajları birleştirilir (Üzümcü, 2017; Yudar, 2023). Kompozit malzemelerin özellikleri, bileşenlerin türüne, oranlarına ve yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Abd El-Hameed vd., 2022). Kompozit malzemelerin, metalik ve diğer geleneksel malzemelere göre daha hafif olmaları uygulama alanlarında avantaj sağlamaktadır. (Erdem vd., 2008). Farklı malzemelerin kombinasyonu ile üretilen kompozit malzemeler genellikle daha yüksek çekme, basma ve eğilme dayanımları sağlamaktadırlar. Yüksek mukavemet, düşük ağırlık ve korozyon direnci gibi özellikler, havacılık ve otomotiv gibi alanlarda performansı artırmak için ideal özelliklerdir (Abd El-Hameed vd., 2022; Qian G., Lan, 2003). Kompozitlerin birçok türü, korozyona karşı dirençli olduğu için uzun ömürlüdürler. Bazı kompozitler, ısı iletkenliğini azaltarak ısı yalıtımı sağlamaktadırlar. Ayrıca, işlevsellikleri sayesinde farklı uygulama alanlarında esneklik sunmaktadırlar. Bu bakımdan kompozit malzemeler denizcilik, havacılık, uzay, otomotiv, savunma sanayisi, inşaat, spor ekipmanlarında ve diğer alanlarda kullanılmaktadırlar (Radisson ve Kanso, 2023; Kaya, 2016).

Kompozit malzemelerin, metallere kıyasla pek çok avantajı bulunmasına rağmen bazı dezavantajları da mevcuttur. Kompozit malzemeler, yüksek performans ve dayanıklılık sunmalarına rağmen, maliyet ve üretim zorlukları gibi dezavantajları da beraberinde getirmektedirler (Nomi vd., 2021). Bu nedenle, uygulama alanına göre avantaj ve dezavantajların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir. Bu malzemelerin avantajları ve dezavantajları genel olarak şu şekildedir (Yudar, 2023; Üzümcü, 2017).

3.1 Kompozit Malzemelerin Avantajları ve Dezavantajları

3.1.1 Avantajları

- Yüksek mukavemet: Kompozitler, yüksek dayanıklılık ve mukavemet sunarak çeşitli uygulamalarda tercih edilmektedirler.

- Yüksek rijitlik: Yapısal bütünlüklerini koruyarak, deformasyona karşı direnç gösterirler.
- Yüksek yorulma dayanımı: Tekrar eden yüklemelere karşı daha dirençli olmaları ve uzun ömür sağlamaktadırlar.
- Yüksek aşınma direnci: Yüzey aşınmalarına karşı dayanıklıdırlar, bu da ömürlerini uzatmaktadır.
- Titreşim sönümleme: Ses ve titreşimleri etkili bir şekilde azaltabilirler.
- Korozyona ve kimyasal etkilere karşı direnç: Dış etkenlere karşı yüksek direnç sunarak, çeşitli ortamlarda kullanılabilirler.
- Termal ve ısı iletkenlik: Bazı kompozitler, belirli ısı ve termal koşullara dayanıklıdırlar.
- Düşük ağırlık: Hafif yapıları sayesinde taşıma ve uygulama kolaylığı sağlamaktadırlar.
- Kolay şekillendirme: Farklı formlara kolayca dönüştürülebilirler.
- Bakım gerektirmeme: Uzun süre bakım gerektirmeden kullanılabilirler (Üzümcü, 2017; Şahin Y, 2009; Kim vd., 2002).

3.1.2 Dezavantajları

- Yüksek maliyet: Kompozit malzemelerin üretim maliyetleri, metallere göre genellikle daha yüksektir.
- Yönlü mekanik özellikler: Farklı yönlerde farklı mekanik özellikler göstermeleri, belirli uygulamalarda zorluk yaratabilirler.
- Geri dönüşüm zorluğu: Doğal bir malzeme olmadıkları için geri dönüşüm süreçleri karmaşık ve maliyetli olabilir.
- Üretim güçlüğü: Kompozitlerin üretimi, özel yöntemler ve ekipman gerektirebilir, bu da süreci zorlaştırabilir.
- Kırılma uzaması: Kırılma uzaması, çoğu metal malzemeye kıyasla daha azdır; bu da ani yüklemelerde kırılma riskini artırabilir (Üzümcü, 2017; Şahin Y, 2009).

4. NANOKOMPOZİT MALZEMELER

Nanokompozitler, bir matris içerisinde nanometre büyüklüğünde parçacıkların dağılması ile oluşan malzemelerdir. Parçacıkların boyutları 1 ila 100 nm aralığındadır (Doğan, 2018). Nanoteknolojinin amacı moleküler boyutta çalışarak, moleküler yapısı yenilenmiş büyük yapılar elde etmektir. Amaç az enerji tüketen, çekme mukavemeti yüksek, darbelere karşı dayanıklı, neme ve kimyasal maddelere karşı direnç gösteren, uzun ömürlü, hafif, dayanıklı, ekonomik vb. özelliklere sahip performans yüksek nanokompozit malzeme üretmektir. Nano kompozit malzeme üretilirken nano parçacıklardan yararlanılır. En çok bilinen nanoparçacıklar kıl, bor karbür, silikatlar, grafen, silisyum karbür vb'dir (Erciyeş, 2022).

Nanopartiküllerin kullanımı, malzemelerin hafifliğini korurken daha yüksek performans göstermesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, nanoteknoloji sayesinde daha az miktarda malzeme kullanarak aynı veya daha iyi performans elde edilebilmektedir. Bu durum, sürdürülebilirlik açısından da önemli bir avantaj sağlamaktadır (Ahmed vd., 2024). Kompozit malzemeler ve plastikler içinde nanopartiküllerin kullanımı oldukça yaygındır. Bu nanopartiküller, malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek, termal dayanıklılığı artırmak ve hatta elektriksel iletkenliği geliştirmek gibi çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca nanokompozitler geleneksel kompozit malzemelere göre çekme mukavemeti, elastik modülü gibi mekanik özelliklerde ve daha iyi bariyer özellikleri, azaltılmış alevlenebilirlik gibi fiziksel özelliklerde iyileşmeler sağlamaktadırlar (Sobczak vd., 2024). Örneğin, karbon nanotüpleri, malzemelerin çekme ve dayanım özelliklerini önemli ölçüde artırabilirken, silika nanopartikülleri, malzemelerin yüzey sertliğini ve dayanıklılığını artırabilirler (Asçioğlu ve Adanur, 2003).

Nanokompozitler, ortopedik doku mühendisliğinde doğal kemik, kas, kıkırdak ve tendon dokularının nano mimarisini taklit etme potansiyeli taşımaktadırlar. Bu malzemeler, seramik, polimer ve metal matrislerin kombinasyonu sayesinde geniş bir mekanik ve kimyasal özellik yelpazesi sunmakta ve biyolojik aktivite göstermektedirler (Afify vd., 2024). Ancak, nanopartiküllerin üretimi ve kullanımıyla ilgili çevresel ve sağlık açısından dikkat edilmesi gereken noktalar da bulunmaktadır. Bu nedenle, bu malzemelerin geliştirilmesi ve uygulanması

sırasında güvenlik standartlarının göz önünde bulundurulması önemlidir (Sobczak vd., 2024).

4.1 Nanokil

Kil materyalleri, genellikle iki tetrahedral silika tabakasından oluşan montmorillonitlerdir. İnce taneli yapısı, su ile temas ettiğinde plastisite kazandırmaktadır. Su ile karıştırıldığında şekil alabilen ve biçimini koruyabilen bir özelliğe sahiptirler. Kil, doğal olarak oluşan ince taneli bir mineral malzemedir ve çoğunlukla çamur veya silt olarak bulunur. nanokil kimyasal birleşimine ve nanomoleküllerin morfolojisine göre, halloysit, illit, kaolinit, bentonit, klorit ve montmorillonithektorit gibi sınıflara ayırmışlardır (Abdo, 2017). Kil, çeşitli endüstriyel, ticari ve bilimsel, kozmetik ürünlerinde (cilt maskeleri, losyonlar, şampuanlar), kağıt, seramik ürünlerin (karo, fayans, seramik eşyalar), çamur, sıva ve harç gibi inşaat malzemelerinin üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılırlar. Kil nanoparçacıkları, polimer matris içinde dağıtılarak malzemenin mekanik ve termal özelliklerini artırabilirler. Polimer matrisine içine nanokil eklenmesi, gaz geçirgenliğini azaltma, çözücü direncini artırma, termal kararlılık ve mekanik özelliklerde artış ve alev geciktirici özellikleri eigentime gibi avantajlar sağlamaktadır (Mahmood, 2017). Çekme mukavemetini, basınç dayanımını artırmak için nanokiller, polimer ile birlikte kullanılmaktadır. Polimerlerin termal, mekanik ve yanmazlık özelliklerini, kilin yapı içinde kolay dağılımı ve kil tabakalarının birbirinden ayrılmasıyla geliştirirler (Okada vd., 2006). Kil, suyu yüksek oranda emme kapasitesine sahiptirler. Bu özellik, kilin şişmesine ve sertleşmesine neden olmaktadır. Bu durum kilin rengi, içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, demir oksit içeren kil kırmızımsı, kalsiyum oksit içeren kil beyaz veya gri olabilir. Kil, silikat mineralleri (örneğin, kaolinit, illit, montmorillonit) içermektedir. Bu minerallerin oranı, kilin özelliklerini belirlemektedir. Kil, çeşitli metal oksitleri ve organik maddeleri içermektedir. Bu bileşenler, kilin kimyasal reaktivitesini etkilemektedir. Kil, yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır (Üzümcü, 2017). Nono kilin özellikleri için (Bkz. Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Nanokil'in fiziksel özellikleri (Abdo, 2017)

Malzeme adı	Yoğunluk (gr/m ³)	Parçacık boyutu (nm)	Yüzey alanı (m ² /gr)
Nanokil	200-500	1-10	157

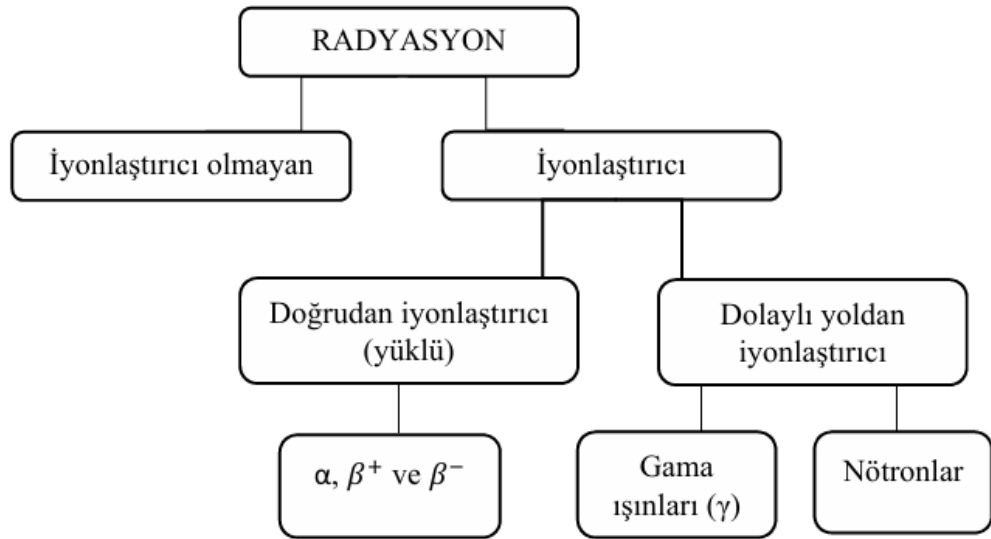
5. RADYASYON

Bir enerji olan radyasyon çeşitli kaynaklardan (doğal veya yapay) yayılarak, etkileşimde bulunduğu ortamda fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açabilmektedir. Radyasyon, elektromanyetik radyasyon ve parçacık radyasyonu olarak iki ana türe ayrılmaktadır (Sürücü ve Subaşı, 2021). Elektromanyetik radyasyon, elektromanyetik alan tarafından taşınan enerjidir ve radyo dalgalarından gama ışınlarına kadar çeşitli dalga boylarında olabilirler. Parçacık radyasyonu ise atom altı parçacıkların (örneğin alfa parçacıkları, beta parçacıkları, nötronlar) yayılmasıyla oluşur (Hameed vb., 2022). Ayrıca radyasyonun sınıflandırılması, etkileşimde bulunduğu atomların elektronlarını koparma kapasitesine ve moleküllerdeki kimyasal bağlara verdiği zararın enerji düzeyine göre atom veya molekülleri iyonlaştırabilen (örneğin X-ışınları ve gama ışınları) veya iyonlaştıramayan (örneğin mikrodalga radyasyonu) olarak sınıflandırılmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyon, atomlardan elektron kopararak iyonlaşmaya neden olurken, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon daha düşük enerjili hasar vererek kimyasal değişikliklere yol açmaktadır (Demir, 2013). Radyasyonun etkileri, maruz kalınan doza ve enerjiye bağlıdır. Yüksek dozda radyasyon, hücrelere ve dokulara ciddi zarar verebilirken, düşük dozlarda radyasyonun zararı genellikle daha azdır. Radyasyonun yoğun olduğu, enerji santralleri, tıp, uzay ortamındaki malzemeler ve ulaşım gibi sektörlerde zararlı radyoaktif kaynaklardan korunma önemli bir rol oynamaktadır (Abbasova vd., 2019; Wang vd., 2023). Kompozit malzemeler, parçacık dolu kompozit kapsüllemeler, kaplamalar, yapıştırıcılar ve yapısal malzemeler radyasyon kalkını olarak geliştirilerek kullanılabilmektedir (Abd El-Hameed vd., 2022; Abu Saleem, 2021).

Radyasyondan etkilenen malzemelerin özelliklerindeki değişimi: Mekanik özellikler; çekme gücü ve dayanıklılığı, esneklik ve elastikiyet derecesi, uzama seviyesi, çarpma özellikleri, yıpranma dayanıklılıkları, sertlik, kesme zorlaması ve her taraftaki sabitlik ve kararlılık oranı olarak bilinmektedir (Abd El-Hameed, 2022; Milkovich vd., 1986).

Işınlamanın matris kimyasıyla etkileşimi nedeniyle epoksi matrisini bozduğunu belirtmişlerdir. Bunun sonucu olarak kompozitlerin mekanik özelliklerinde değişiklik olduğunu belirtmişlerdir (Abd El-Hameed, 2022). Termal özellik: Bu, malzemenin içinde depolanan ısı ve enerjinin değişiminin sonucudur (Abd El-Hameed, 2022). Optik özellik: absorpsiyon ve yansımaya temsil eden parametreler (Abd El-Hameed, 2022).

Radyasyon, yapay ve doğal kaynaklı olarak ikiye ayrılabilindiğinin yanı sıra, iyonlaştırma özelliğine göre iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak sınıflandırılmaktadır (Bkz. Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Radyasyonun sınıflandırılması (Kalyon, 2019)

5.1 İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

Bu radyasyonlar, atomları iyonlaştırmak için yeterli enerjiye sahip değildir (Radisson ve Kanso, 2023). İyonlaştırıcı olmayan radyasyon dalga tipi özellik göstermektedir. Radyo dalgaları, radar dalgaları, güneş ışınları, mikrodalgalar, görülebilir ışık, kızıl ötesi dalgalar, mor ötesi ışık, bilgisayar ve televizyonların çalıştığı elektromanyetik dalgalar, cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgalar, baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik sinyaller bu tip radyasyonu içermektedirler (AFAD, 2024). İyonlaştırıcı olmayan radyasyon, atom veya moleküllerden elektronları tamamen koparabilen enerjiye sahip olmayan elektromanyetik radyasyon türleridir. Bu tür

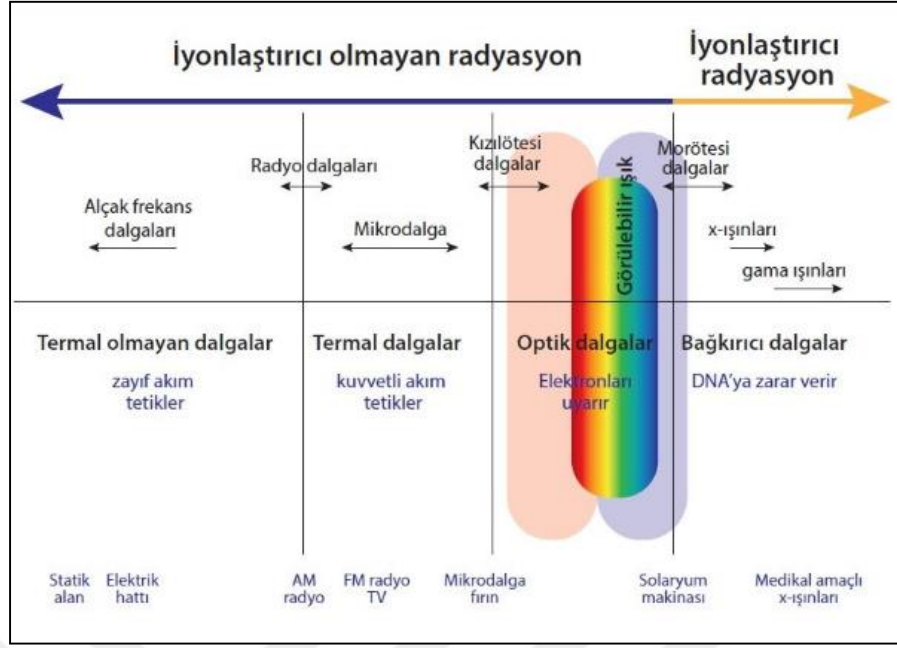
radasyon, maddenin içinden geçerken yüklü iyonlar üretmez; bunun yerine, bir elektronu daha yüksek enerji seviyelerine çıkarır (AFAD, 2024).

İyonlaşmanın gerçekleşmesi, taneciklerin veya dalgaların sayısından ziyade, taşıdıkları enerjiye bağlıdır. Yeterli enerjiye sahip olmayan taneciklerin veya dalgaların varlığı, iyonlaşmayı sağlamaz. Ancak, bir maddenin sıcaklığının, atom veya moleküllerin küçük bir kısmını termal iyonlaşma süreciyle iyonlaştıracak kadar yükselmesi durumunda, iyonlaşma gerçekleşebilir (Yudar, 2023).

5.2 İyonlaştırıcı Radyasyon

Atomlardan elektronları koparma kapasitesine sahiptir. Daha yüksek frekansa ve daha kısa dalga boyuna sahip olan iyonlaştırıcı radyasyon, nükleer santraller, tıbbi görüntüleme cihazları, radyoterapi ve endüstriyel alanlarda veya uzay yolculuğu gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Kim vd., 2010). İyonlaştırıcı radyasyon, biyolojik dokularda zararlı etkiler yaratabilir ve genellikle yüksek enerjili fotonlar (X ışınları, gamma ışınları) ve yüksek enerjili parçacıklar (alfa, beta, nötron) tarafından yayılırlar (Gültekin, 2023). İyonlaştırıcı radyasyon hem doğal kaynaklardan hem de insan yapımı kaynaklardan gelebilmektedir (Abd El-Hameed, 2022). İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkileri, hücrelerin DNA'sına zarar verebilir, bu da kanser, genetik mutasyonlar, hücre ölümü gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir (Sobczak vd., 2024; Nazlı vd., 2021). Afet ve Acil durum yönetmenliği tarafından 2024 yılında radyasyon sınıflandırması aşağıdaki gibi yapılmıştır (Bkz. Şekil 5.2).

Işınlamanın matris kimyasıyla etkileşimi nedeniyle epoksi matrisini bozduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 5.2 Radyasyon türleri (AFAD, 2024)

İyonlaştırıcı Radyasyonlar Alfa Radyasyonu, Beta Radyasyonu, Nötron Radyasyonu, X Işınları, Gama Radyasyonu olarak sınıflandırılmaktadır (Gültekin, 2023).

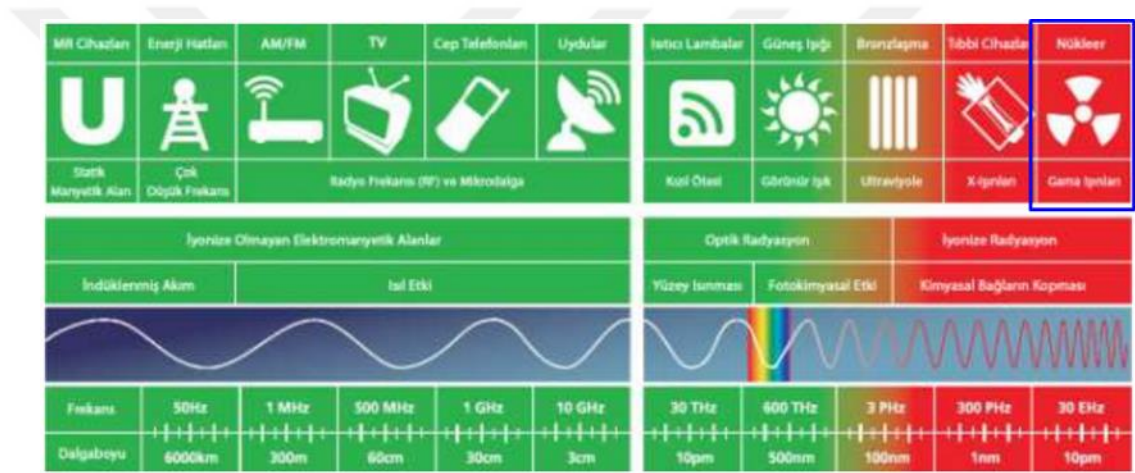
İyonlaştırıcı radyasyon, herhangi bir kimyasal başlatıcı veya bunları çözme ihtiyacı olmadan çok çeşitli malzemelerin çapraz bağlanmasına ve/veya zincir kopmasına neden olduğu için bileşik polimerlerin geri dönüştürülme olanağını sağlar. Bu durum mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlar (Hassan, 2015).

5.2.1 Gama radyasyonu

Gama radyasyonu, yüksek enerji seviyesine sahip radyoaktif maddeler tarafından yayılan bir elektromanyetik radyasyon türüdür. Kobalt 60 (^{60}Co) ve sezyum 137 (^{137}Cs) gama ışınları yayan başlıca kaynaklardır (Hameed vd., 2022; Gültekin, 2023). Gama radyasyonu, radyoaktif çekirdek tarafından yayımlanan elektromanyetik radyasyondur. Alfa ya da beta bozunması yapan radyoaktif çekirdeğin enerji seviyesi bozunmadan sonra hala yüksek ise, çekirdek kararlı olabilmek için gama radyasyonu yayımlayarak enerjisini azaltır (Sobczak vd.2024). Gama bozunumu, çekirdeğin proton ve nötron sayısında bir değişiklik yapmadan gerçekleşir. Gama ışınları, en kısa dalga boyuna sahip olan ve en yüksek enerjiyi taşıyan radyasyon türüdür. (Hameed vd., 2022; Gültekin, 2023). Nükleer reaksiyonlar ve kozmik olaylar sonucunda oluşur. İyonlaştırıcı özelliği nedeniyle canlı hücreler üzerinde zararlı etkileri olabilir (Cao vd.,

2020). Gama radyasyonu, yüksek enerjisi nedeniyle maddelerin içinden kolayca geçebilirler. Bu özelliğiyle, biyolojik dokulara ve maddelere derinlemesine nüfuz edebilir (Afify vd., 2024). Diğer radyasyon türlerine kıyasla gama ışınlarının nüfuz gücü daha yüksektir. Beton, kurşun veya kalın bir metal levha gibi yoğun malzemeler tarafından durdurulabilir (Kim vd., 2010).

Elektromagnetik spektrum; ışınların dalda boyu, frekansı ve enerji sevipleri hakkında bilgi verir. Şekil 5.3’de beyaz alan görünür ışıktır. Görünür ışıktan sağa doğru morötesi, x ışını, gama ışınlarını; sola doğru ise kızılötesi, mikrodalgalar ve radyo dalgalarını göstermektedir. Bu dizilim frekans ve enerji seviyelerine göre yapılmıştır.



Şekil 5.3 Elektromanyetik spektrum (AKRAD 2024)

Gama ışınlarının enerji seviyeleri genellikle 1 MeV’nin üzerindedir, frekansı çok fazladır bu da onları daha tehlikeli hale getirmektedir (Bkz.Şekil 5.3). Gama ışınları, X ışınlarına göre daha yüksek enerji seviyelerine sahiptirler (More vd., 2021). Gama ışınları ve X ışınları, maddelerin içine nüfuz etme kabiliyeti açısından alfa ve beta parçacıklarına göre çok daha etkilidirler. Örneğin, alfa parçacıkları yalnızca birkaç santimetre havada yol alabilirken, beta parçacıkları birkaç milimetre derinliğe nüfuz edebilir. Ancak gama ışınları, kalın kurşun veya beton gibi yoğun maddelerle bile ancak sınırlı bir şekilde engellenebilirler (El-ashhab vd., 2013).

Radyasyon zırhlama malzemelerinin tasarımında kullanılan geleneksel malzemeler, radyasyonun etkilerini azaltmak için gereken özelliklere sahip olmalıdırlar. Radyasyon zırhı tasarımında malzemenin kalınlığı ve yoğunluğu, radyasyonun ne

kadar etkili bir şekilde zayıflatılacağını belirlemektedir. Seçilen malzemenin işlenebilirliği ve uygulama kolaylığı, tasarım sürecinde önemli bir faktördür (Albano vd., 2010).

Gama ve elektron ışını radyasyonu, çeşitli polimer karışımları ve kompozit sistemlerinin çapraz bağlanması, uyumlaştırılması ve greftlemesi için en yaygın radyasyon teknikleri arasında yer almaktadır. Gama radyasyonu ile yapılan greftleme ve çapraz bağlama işlemleri, polimerik malzemelerin özelliklerini geliştirmek için etkili, hızlı, temiz, kullanıcı dostu ve iyi kontrol edilebilen tekniklerdir (Topçu vd. 2023).

Yüksek enerji radyasyonu ile modifiye edilmiş polimerler, otomotiv, kablo yalıtımı, ısıya dayanıklı tüpler, sterilizasyon, biyomedikal, nükleer ve uzay uygulamaları gibi birçok yüksek performans sektöründe kullanılmaktadırlar. Bu tekniklerin avantajları, polimerlerin dayanıklılığına ve işlevselliğini artırarak çeşitli endüstriyel uygulamalarda önemli bir rol oynamaktadırlar (Kaplan ve Özel, 2021).

Gamma radyasyonunun polimerler üzerindeki etkisi, yapısal modifikasyon, polimerizasyon, greftleme, sterilizasyon ve çeşitli termoplastikler ile elastomerlerin çapraz bağlanması için yaygın kullanılan bir teknik haline gelmiştir (Erizal vd., 2015; Ashfaq vd., 2020).

Radyasyonun polimerler üzerindeki etkileri, enerjinin depozisyonu ile ilgilidir. Enerji, Coulombik etkileşimler ve yüksek enerjili fotonlar aracılığıyla aktarılır ve bu süreç çok kısa zaman dilimlerinde gerçekleşmektedir. Bu, radyasyonun polimer içindeki değişimlerin hızını ve etkinliğini artırır (Naikwadi vd., 2022). Polimerlerin radyasyon ile modifikasyonu, alfa radyasyonu, X-ışınları, elektron ışını (E-Beam) ve gama radyasyonu gibi çeşitli türlere ayrılmaktadır. Her türün kendine özgü avantajları ve uygulama alanları vardır. Örneğin, gama radyasyonu derin penetrasyon özelliği ile dikkat çekerken, E-Beam belirli uygulamalarda daha kontrollü işlemler sunabilir. Kimyasal grafting ve çapraz bağlama işlemleri genellikle çeşitli katkı maddeleri gerektirir. Bu maddeler toksik olabilir, çevreye zarar verebilir ve maliyetli olabilir (Cao vd., 2020).

5.2.1.1 Gama radyasyonunun kompozit malzemeler üzerine etkisi

Gama radyasyonu, kararsız bir atom çekirdeği enerjisini kaybettiğinde meydana gelen yüksek enerjili elektromanyetik radyasyondur. Bu tür radyasyon, polimerlerin yapısında önemli değişiklikler yaratabilir. Özellikle zincir çapraz bağlanması ve zincir kırılması süreçlerinin aynı anda gerçekleşmesi, polimerlerin mekanik ve kimyasal özelliklerini iyileştirebilir. Gama radyasyonunun kontrollü dozlarda (1–10 kGy) uygulanması, polimerlerin yüksek enerjiye maruz kalma yeteneğini artırır. Bu doz aralığı, polimerlerin sıcaklık gibi zorlu çevre koşullarında bile işlevsel özelliklerini korumasını sağlamaktadırlar (Naikwadi vd., 2022; More vd., 2021). Bu, endüstriyel uygulamalarda dayanıklılık açısından büyük bir avantajdır. Gama radyasyonu ile modifiye edilmiş polimerler, çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmak üzere yüksek performanslı malzemeler olarak değerlendirilir. Bu tür malzemeler, çevresel koşullara karşı dayanıklı ve uzun ömürlülüğü ile dikkat çekmektedir.

Gama radyasyonu, termoplastik-elastomer ve elastomer-elastomer karışımlarındaki uyumluluğu artırır. Bu, mekanik, termal, morfolojik ve çevresel özelliklerin iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır. Gama radyasyonu ile işlenmiş polimerler, renk, fiziksel şekil ve boyutsal stabilitede herhangi bir değişiklik olmaksızın yüksek sıcaklıklara dayanabilir. Bu, polimerlerin sıcaklık değişimlerine karşı direncini artırır ve uzun ömürlü olmasını sağlar (Albano vd., 2010). Radyasyon, polimerlerin termal ve mekanik özelliklerinde geri dönüşümsüz değişikliklere neden olabilmektedir. Bu değişiklikler, zincir kırılması, çapraz bağlanma, yüksek enerji radyasyonu, bazı kovalent bağların parçalanması ve aktif serbest radikallerin salınması gibi süreçlerin sonucudur (Ashhab vd., 2013).

6. MALZEME VE YÖNTEM

6.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada katkısız ve nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit levhalar üretilmiştir. Kompozit levhaların üretimi 8 tabakalı olarak Fibermak Composites firmasında (İzmir/Türkiye) yapılmıştır. Ayrıca reçine ve cam fiber kumaşların temini de Fibermak Composites firmasında (İzmir/Türkiye) yapılmıştır. Kompozit malzeme üretiminde twill cam fiber takviye olarak kullanılmıştır. Nanokil malzemesi olarak Esan1-140 ürün, ESAN Eczacıbaşı firmasından temin edilmiştir. Reçine ve kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla nanokil katkı malzemesi kullanılmıştır. Epoksi reçineye, ağırlıkça %0,75, %1, %1,25 oranlarında nanokil katılarak tabakalar üretilmiştir. Sekiz tabakalı cam fiber takviyeli epoksi kompozit tabakalar, sıcak presleme yöntemiyle levha haline getirilmiştir.

Bu çalışmada nanokil ilavesi yapılmış kompozitler ile katkı malzemesi katılmamış katkısız (pure) kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırılmış ve nanokilin mekanik davranışlara etkisi incelenmiştir. Kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Kullanılan malzemelerin özellikleri

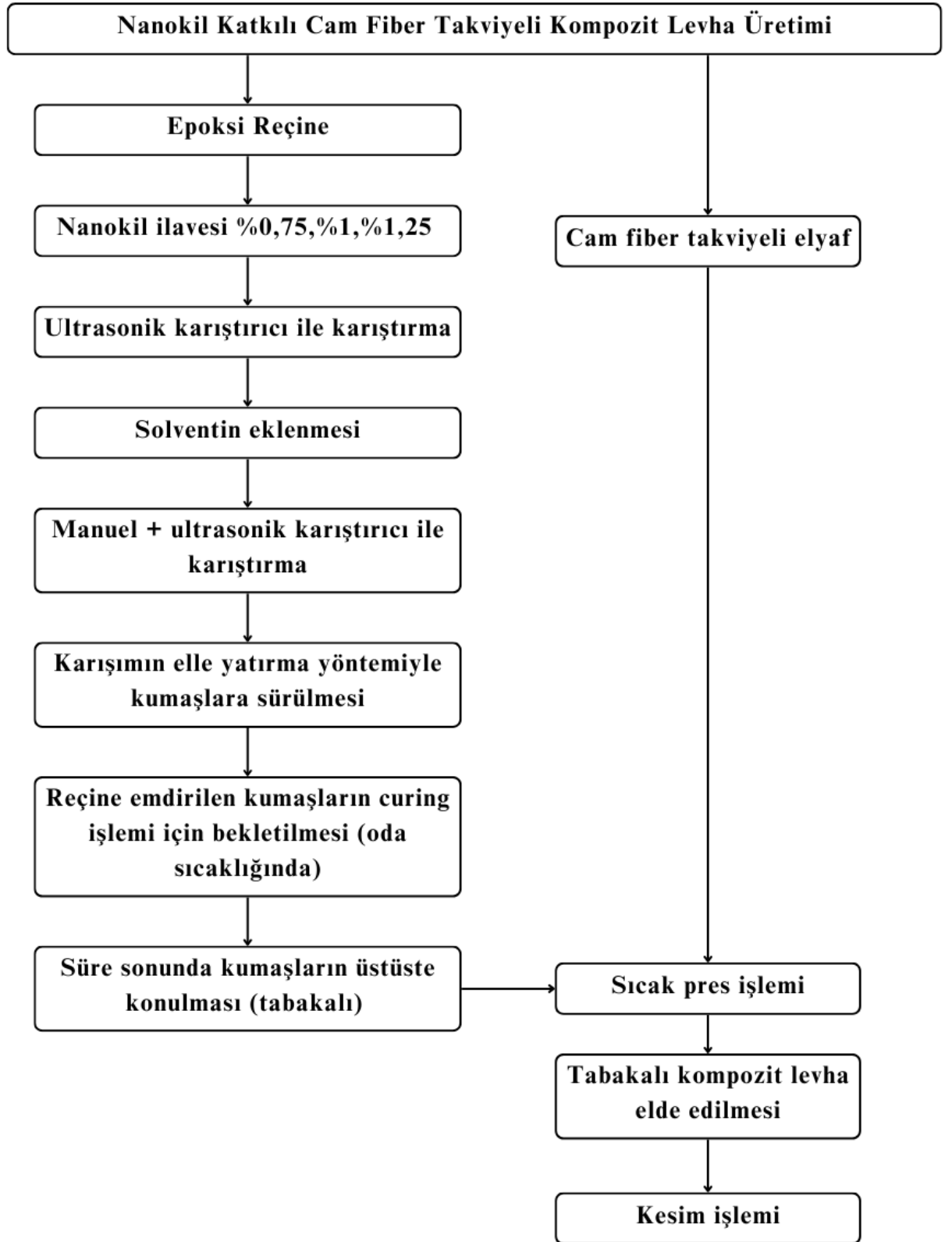
Türü	Reçine	Sertleştirici	Nanokil
Ticari Adı	F-1564	F-3487	Esan 1-140
Yoğunluk/boyut	1,15gr/cm ³	1 gr/cm ³	< 20 µm

Çalışmada reçine miktarının, %30’ü kadar solvent kullanılmıştır. Kullanılan reçine, kumaş, solvent ve kil miktarlarına ait bilgiler Tablo 6.2’de verilmiştir. Üretimde kullanılan kumaşın boyutuyla orantılı olarak epoksi ve solvent kullanılmıştır.

Tablo 6.2 Bu çalışmada üretimi yapılan kompozit levhalarda kullanılan malzeme miktarları

Kullanılan fiber malzeme ve teknik özellikleri		Kullanılan reçine+solvent + kil miktarı
1	Katkısız cam fiber takviyeli elyaf (Twill, 390 gr/m ²) 500x500 mm ²	reçine =250 gr solvent =75 gr
2	% 0,75 kil katkılı cam fiber takviyeli elyaf (Twill, 390 gr/m ²) 1500x1500 mm ²	reçine=750 gr solvent =225 gr kil =5,625 gr
	% 0,75 kil katkılı cam fiber takviyeli elyaf (Twill, 390 gr/m ²) 1000x1000 mm ²	reçine=500 gr solvent =150 gr kil =3,75 gr
3	% 1 kil katkılı cam fiber takviyeli elyaf (Twill, 390 gr/m ²) 1500x1500 mm ²	reçine=750 gr solvent =225 gr kil =7,5 gr
	% 1 kil katkılı cam fiber takviyeli elyaf (Twill, 390 gr/m ²) 1000x1000 mm ²	reçine=500 gr solvent =150 gr kil =5,0 gr
4	% 1,25 kil katkılı cam fiber takviyeli elyaf (Twill, 390 gr/m ²) 1500x1500 mm ²	reçine=750 gr solvent =225 gr kil =9,375 gr
	% 1,25 kil katkılı cam fiber takviyeli elyaf (Twill, 390 gr/m ²) 1000x1000 mm ²	reçine=500 gr solvent =150 gr kil =6,25 gr

Tablo 6.2’de belirtilen miktarlarda malzeme kullanılarak imalatı yapılan nanokompozitlerin üretiminde belli aşamalar izlenmiştir. Bu nanokompozit malzemelerinin üretimi sırasında aşağıdaki akış şeması uygulanmıştır (Bkz. Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Kompozit üretim akış şeması

6.2 Kompozit ve Nanokompozit Levhaların Üretimi

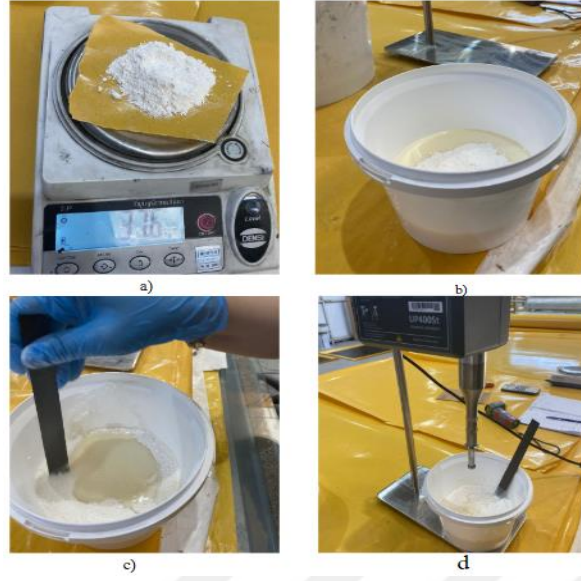
6.2.1 Matris malzemesinin hazırlanışı

Epoksi reçineye ilave edilecek kil malzemesi; reçine ağırlığına göre hesaplanarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, 750 gr epoksi reçinesine, ağırlıkça sırasıyla %0, %0,75, %1, %1,25 oranlarında (Bkz. Tablo 6.3) nanokil ilave edilmiştir. Tablo 6.3’de belirtilen oranlarda nanokil miktarları kullanılarak hazırlanan karışım, twill, (0,2 mm kalınlığında, 390 gr/m²) cam fiber takviyeli elyaflara uygulanmıştır.

Tablo 6.3 Ağırlıkça nanokil oranlarına göre malzeme miktarları

Ağırlıkça kil katkı oranı (%)	0	0,75	1	1,25
Epoksi reçine (gr)	750	750	750	750
Solvent (Sertleştirici) (gr)	225	225	225	225
Nanokil (gr)	0	5,625	7,5	9,375

Nanokil; reçineye ilave edildikten sonra topaklanmayı engellemek için tahta bir çubuk yardımıyla manuel olarak karıştırılmıştır (Bkz. Şekil 6.2c). Daha sonra ultrasonik karıştırıcıya geçilmiştir (Bkz. Şekil 6.2d). Kilin epoksi içinde homojen dağılmasını sağlamak amacıyla tüm karışımlar toplam güç 100 watt oluncaya kadar karıştırılmaya devam edilmiştir.



Şekil 6.2 Katkı malzemesi olarak nanokilin reçineye karıştırılması a) Nanokil oranının ayarlanması b) Nano kilin epoksi reçineye eklenmesi c) Reçinenin manuel karıştırma yapılması d) Karışımın ultrasonik karıştırıcıya alınması

Ultrasonikasyon ses dalgalarının yaydığı titreşim nano partiküllerin topaklanmasını önleyerek dolgu malzemesi içinde homojen dağılmasını sağlamaktadırlar. Bu işlemler nanokompozit malzemenin rijit olmasını ve uygulanacak kuvvetin her alana eşit dağılmasını sağlamaktadır. Kullanmış olduğumuz ultrasonik karıştırıcı Hielscher UP-400S tipindedir. Karıştırıcı ile karışım esnasında karıştırma kabının etrafına buz parçaları konularak soğutucu bir havuz oluşturulmuştur. Soğutucu oluşturma amacımız sonikasyon sırasında açığa çıkan ısınn nanokilin yapısını bozmasını önlemektir.

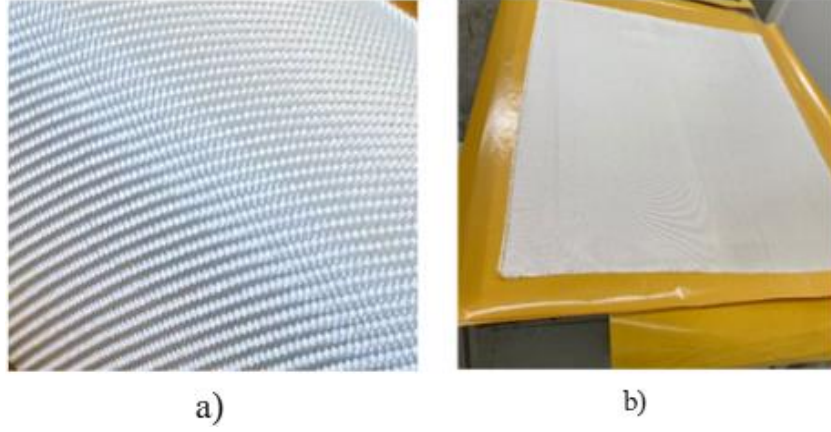


Şekil 6.3 Sonikasyon düzeneği

Sonikasyon sırasında dijital termometre ile karışımın sıcaklığı beş dakikada bir ölçülmüş ve 50°C'yi aşmamasına dikkat edilmiştir. Sonikasyon probu, karışım kabını aşındırmaması için kap tabanından yaklaşık iki veya üç santimetre yukarıya yerleştirilmiş ve sonikasyon süresince sabit tutulmuştur. Karışıma sonikasyon işlemi üç dakika yapıp bir dakika manuel olarak karıştırılmıştır. Reçineye ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,25 oranlarında nanokil ilave edilen karışımlar yaklaşık 45-60 dakika arasında karıştırılmıştır. Bu işlemlerden sonra karışım, tahta çubuk yardımıyla beş dakika daha manuel olarak karıştırılmıştır. Reçineye eklenen nanokil parçacık miktarı arttıkça karışım süresi artmıştır. Karıştırılma süresi en fazla olan %1,25 nanokil katkılı reçinelerdir.

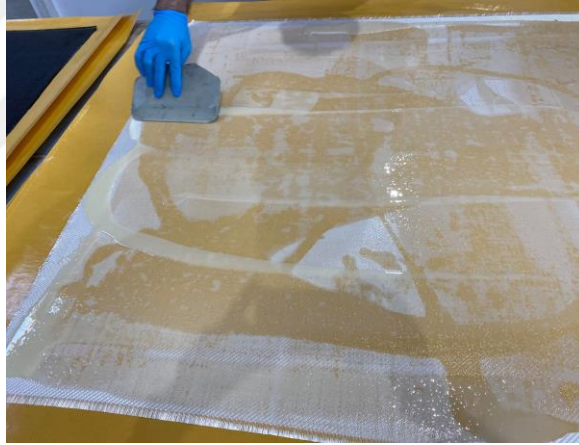
6.2.2 Takviye malzemesinin hazırlanışı

Takviye malzemesi olarak twill cam elyaf takviyeli fiber kumaş kullanılmıştır. Levhalar, 8 tabakalı 2,1 mm kalınlığında üretilmiştir. Her bir plaka için cam elyaf takviyeli kumaştan iki adet 1000 x 1000 m² olacak şekilde rulodan kesilmiştir (Bkz. Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Fiber kumaş a) Örgü biçimi b) 1000 x 1000 mm² kumaş

Elle yatırma yöntemi kullanılarak, cam elyaf takviyeli kumaşın üzerine hazırlanmış olduğumuz reçine dökülmüştür. Şekil 6.5’de gösterildiği gibi reçine, kumaş yüzeyinin tamamına dağıtılmıştır. Reçine bir spatula ile kumaşın her tarafına emdirilmiştir.



Şekil 6.5 Elle yatırma yöntemi ile kompozit tabakanın üretimi

Reçine emdirilen kumaşlar oda sıcaklığında kürleşme (jelleşmesi) için karanlık bir ortamda oda sıcaklığında 15 gün bekletilmiştir. Tabakalara, katkısız, %0,75 kil, %1 kil, %1,25 kil katkılı olarak etiketleme yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan twill bir E-cam olup bu camın diğer cam türleriyle özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 6.4’te verilmiştir.

Tablo 6.4 Cam fiberlerin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması (Sathishkumar vd., 2014)

Fiber	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (GPa)	Elastite Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)	Termal Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁷ /°C)	Poison oranı
E-cam	2,58	3,445	72,3	4,8	54	0,2
C-cam	2,52	3,310	68,9	4,8	63	-
S2-cam	2,46	4,890	86,9	5,7	16	0,22
A-cam	2,44	3,310	68,9	4,8	73	-
D-cam	2,11-2,14	2,415	51,7	4,6	25	-
R-cam	2,54	4,135	85,5	4,8	35	-
EGR-cam	2,72	3,445	80,3	4,8	59	-
AR-cam	2,7	3,241	73,1	4,4	65	-

6.2.3 Levhaların üretimi

Reçine emdirilmiş 1000 mm²'lik plakalar dört eşit parçaya bölünmüştür. Bu plakalardan 8 adet üst üste konularak, preslenmeden önce yanmaz jelatin ile kaplanmıştır. Kaplandıktan sonra bu plakalar Şekil 6.6'dan gösterilen sıcak presleme cihazında preslenmiştir. Bu jelatin aynı zamanda preslenmesi sırasında eriyen dolgu malzemesinin dışarıya akmasını engellemektedir. Aynı zamandan sıcak Presleme işlemi tabakalar arası yapışmayı güçlendirmek ve olası hava kabarcıklarının yok edilmesini sağlamak, pürüzsüz bir yüzey elde etmek içinde yapılmaktadır. Jelatin ile kaplanmış tabakalara, oda sıcaklığından 120°C'ye kadar kademeli olarak basınç uygulanmıştır. Basınç 200 bar'a geldiği zaman ısıtıcı kapatılmıştır. Cihaz kendiliğinde oda sıcaklığına gelinceye kadar cihaz açılmamıştır.



Şekil 6.6 üst üste konulmuş plakalara sıcak presleme uygulanması

6.3 Numunelerin Boyutlandırılması ve Kesim İşlemi

Üretimini gerçekleştirdiğimiz nanokil katkılı ve katkısız kompozit levhalar, bilgisayar destekli lazer kesim (CNC) tezgâhında ASTM standartlarına göre (Bkz. Tablo 6.5) numune kesimi yapılmıştır (Bkz. Şekil 6.7). Bu standartlara göre çekme, basma ve kayma testleri için numunelerin kesimi yapılmıştır. Aynı zamanda gama radyasyonuna maruz bırakılacak numune sayıları göz önüne alınarak kesim gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.7 Numunelerin boyutlandırılması

Tablo 6.5 Deneyi gerçekleştirilecek numunelere ait ASTM standartları

Deneyler	Standartlar	Numune ölçüleri
Çekme	ASTM 3039-17	250 mm boy, 25 mm genişlik ve 2,1 mm kalınlık
Basma	ASTM D 6641- 16	140 mm boy, 13 mm genişlik ve 2,1 mm kalınlık
Kayma	ASTM D 7078	76 mm boy, 56 mm genişlik ve 2,1 mm kalınlık

6.4 Numunelerin Çevresel Koşulların Oluşturulması ve Hazırlanması

Ağırlıkça %0, %0,75, %1, %1,25 kil oranlarına göre her birinden 3 adet numune hazırlanmıştır. Ağırlıkça kil oranına göre 3'er adet hazırlanan nanokompozit malzemeler Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu laboratuvarında 9, 99 kGy (yaklaşık 10 kGy) ve 19,7 kGy (yaklaşık 20 kGy) gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. C₀-60 ışınlama kaynağı tarafından 1,27 kGy/saat ışınlama doz hızıyla kompozit ve nanokompozit malzemeler gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Gama radyasyon doz miktarı ve radyasyona bırakılan malzeme miktarı Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6 Gama radyasyonun dozu ve malzeme miktarı

Gama radyasyonun maruz bırakılan numune grupları												
	0 kGy				10 kGy				20 kGy			
Ağırlıkça kil oranları	%0	%0,75	%1	%1,25	%0	%0,75	%1	%1,25	%0	%0,75	%1	%1,25
Çekme	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Basma	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Kayma	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Toplam numune sayısı	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Bu çalışmada çekme, basma ve kayma testlerinin her biri için 36 numune kullanılmıştır. Toplamda 108 adet numunenin; 36 adeti 10 kGy (9,9 kGy; yaklaşık 10 kGy olarak alınmıştır), 36 adeti ise 20 kGy (19,7 kGy; yaklaşık olarak 20 kGy alınmıştır) gama radyasyona maruz bırakılmıştır. Numunelerin 36 adeti ise gama radyasyona maruz bırakılmamıştır. Numuneler 10 kGy gama radyasyonuna 7 saat 47 dakika maruz bırakılmışlardır. 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numuneler ise 15 saat 30 dakika bırakılmıştır.

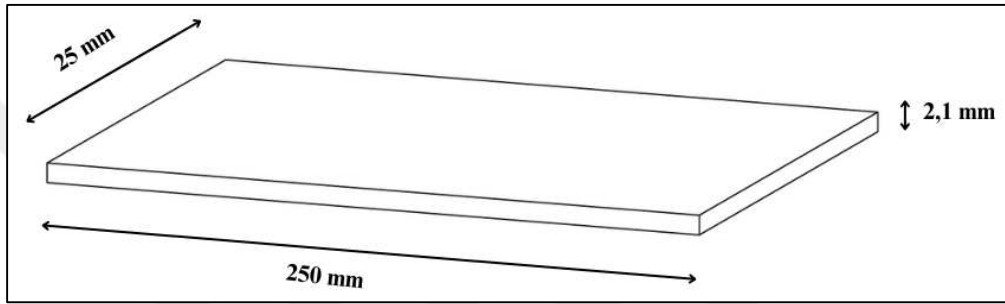
6.5 Yapılan Mekanik Deneyler

Konstrüksiyon, tasarım ve imalat aşamasında kullanılacak malzemelerin seçimi yapılırken malzemelerin mekanik özelliklerine bakılmaktadır. Bu mekanik özellikler (çekme, basma ve eğme mukavemeti, rijitlik, elastisite, tokluk, süneklik, kırılma ve sertlik gibi) mühendislik uygulamalarında çok önemli parametrelerdir.

6.5.1 Çekme deneyi

Çekme testinin yapılma amacı, malzemelerin statik yükleme altında mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Temel mekanik özellikler çekme deneyiyle belirlenebildiğinden çeşitli imalat, tasarım, mühendislik uygulama alanlarına uygun malzeme seçimi, malzemelerin kalite standartlarının belirlenmesi, malzemelerin geliştirilmesi, farklı çalışmak ortamlarında malzemelerin mekanik davranışlarının belirlenmesi için çekme deneyi kullanılmaktadır (William vd., 2015). Bu çalışmada

%0, %0,75, %1 ve %1,25 nanokil katkılı ve katkısız (pure) kompozit numuneler hazırlanmıştır. Çekme testi için kil oranlarına göre her oran için üç adet numune hazırlanmıştır. Üretilen levhalardan, ASTM 3039-17 standardına uygun 250 mm boy, 25 mm genişlik ve 2,1 mm kalınlığında numuneler kesilmiştir. Numune geometrisi Şekil 6.8’da verilmiştir. 36 adet numuneye çekme testi uygulanmıştır. Bu numunelerin 12 adeti gama radyasyonuna maruz bırakılmamıştır. 12 adet numune 10 kGy gama radyasyonuna, 12 adet numune de 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Amaç gama radyasyonunun çekme mukavemetini nasıl etkilediğini incelemektir.



Şekil 6.8 Çekme testi numunesinin geometrisi

Çekme deney numuneleri; Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu laboratuvarın ‘da gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Deneyler, Şekil 6.10’da gösterilen Dicle Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında bulunan Instron marka BS 8801 tipindeki 100 kN kapasiteli cihazda gerçekleştirilmiştir. ASTM 3039-17 standardında belirtildiği gibi çekme deneyleri 1 mm/dk hızında yapılmıştır.



Şekil 6.9 Instron marka test cihazı ve çekme testinin yapılışı

Çekme deney, standartlara göre hazırlanmış numunelere tek eksenle, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparılmaya kadar çekme kuvveti uygulanılmıştır. Çekme kuvveti ile beraber numunenin boyunda meydana gelen uzama, deney cihazı tarafından kaydedilmiştir.

Uygulanan çekme kuvveti sonucu numunede bir gerilme oluşur.

$$\text{Oluşan gerilme } \sigma = \frac{F}{A} \text{ formülü ile hesaplanır} \quad (6.1)$$

“ σ ” gerilme

“F” numuneye uygulanan kuvvet

“A” kesit alanını olarak tanımlanır.

$$\text{Gerilmenin birimi } \sigma = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{m^2} \text{ veya } Pa \right) \text{ dir.} \quad (6.2)$$

Numunelerden çekme sonucu oluşan birim uzama miktarı ϵ ise

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(l - l_0)}{l_0} \quad (6.3)$$

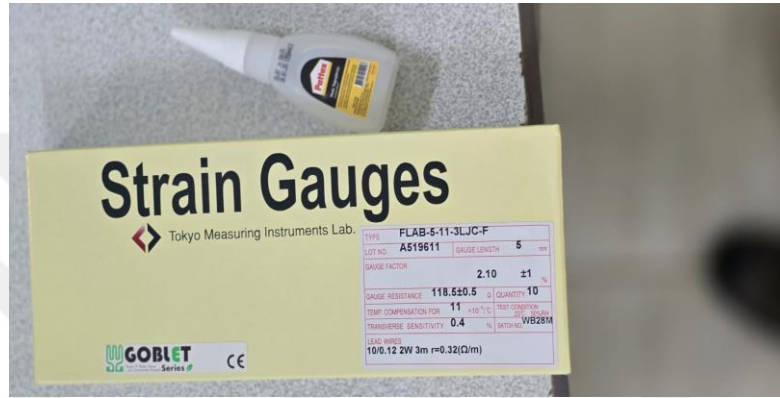
birim şekil değişimi formülü ile hesaplanır.

“ ϵ ” şekil değiştirme oranı göstermektedir.

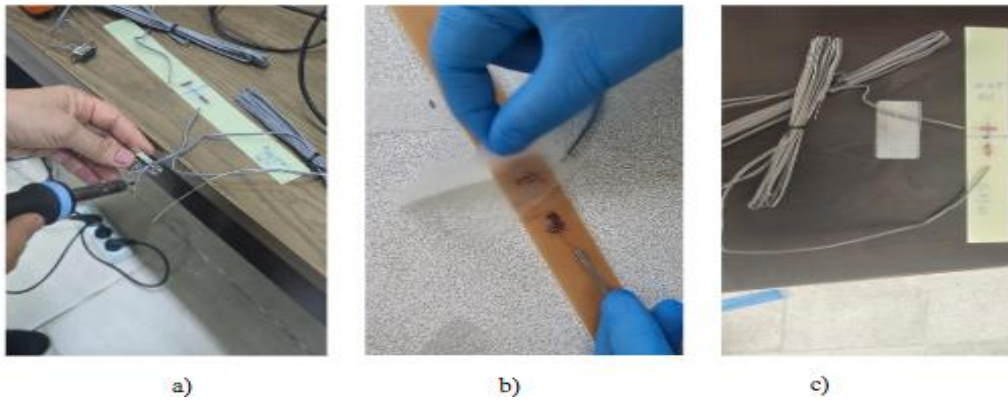
“l” numunenin çekme deneyden sonrasındaki boyunu göstermektedir.

“ l_0 ” ise çekme deneyi öncesi numunenin boyunu ifade etmektedir.

Numunelerin şekil değişimini ölçmek için strain-gauges faktörü 2.11 olan kullanılmıştır (Şekil 6.10). Çekme deneyinde ilk olarak lehim işlemi yapılmıştır (Şekil 6.11a). Numunelerin orta noktası belirlendikten sonra orta noktasının sağ ve sol tarafında 10 mm kadar numune yüzeyi strain gauges rozetleri yapıştırmak için temizlenmiştir. Daha sonra Pattex marka hızlı yüzey yapıştırıcısı ile strain-gauges rozetleri numune yüzeyine yapıştırılmıştır (Şekil 6.11b ve Şekil 6.11c'ye). Strain-gauges yapıştırılmış numunelere çekme deneyi uygulanmıştır.



Şekil 6.10 Kullanılan strain-gauges özellikleri ve yüzey temizleyici

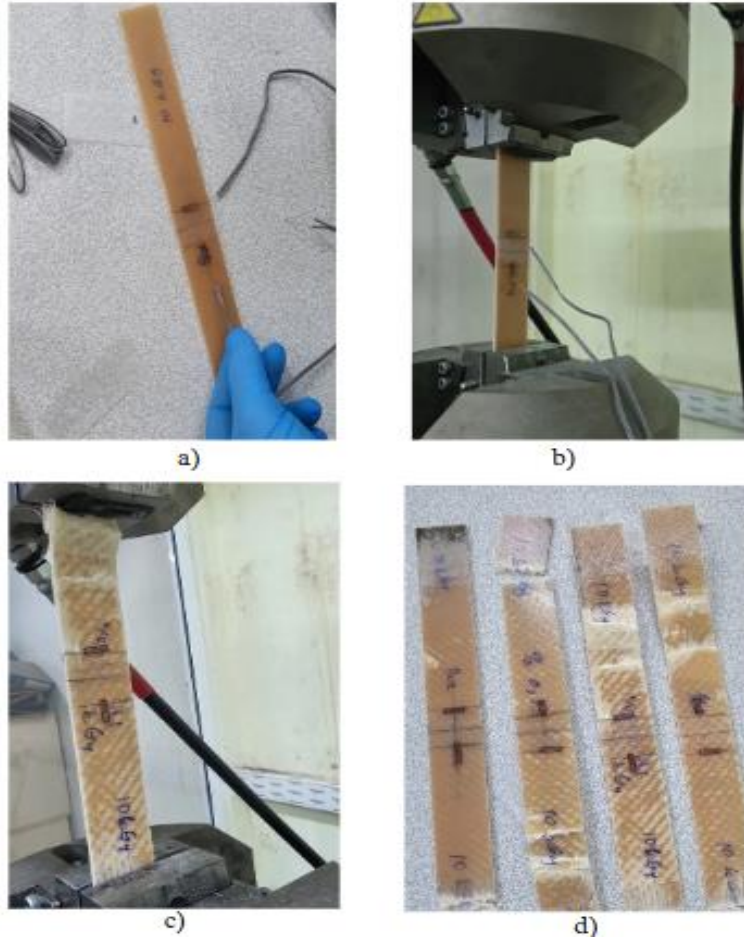


Şekil 6.11 Numunelerin strain-gauges bağlantısı

Elastisite modülü: malzemeye kuvvet uygulandığından meydana gelen elastik şekil değişimidir.

Poisson oranı için; enine ve elastisite modülü için, boyuna olmak üzere iki adet strain-gauges bağlantısı yapılmıştır (Şekil 6.12a). Numune boyutları ölçülerek kayda geçilmiştir. Çekme numuneleri, Çekme cihazının çeneleri arasına düzgün ve

ortalayacak bir şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 6.12b'ye). Çekme deney cihazının bilgisayarlı kontrol ünitesine numunesinin özellikleri, şekil ve boyutları girilmiştir. Çekme standardına uygun çekme hızı belirlendikten sonra cihaz set edilmiştir. Belirlenen çekme hızında numune eksenî yönünde kopana kadar çekilir (Şekil 6.12c ve Şekil 6.12d).



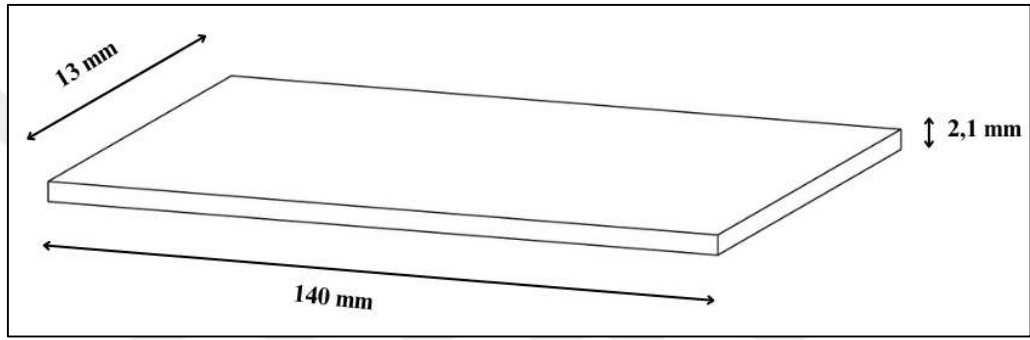
Şekil 6.12 Instron marka test cihazı ile çekme testinin yapılışı a) Numuneye strain-gauges yapıştırma b) Çekme testinin uygulanması c) Çekme testinin uygulanan numune d) Çekme deneyi uygulanmış numuneler.

6.5.2 Basma deneyi

Basma deneyi, çekme deneyinin tersi olarak uygulanmaktadır (Bayram vd., 2022). Çekme testi numune boyunda uzama sağlarken, basma testi numunelerinin boyunda kısalma sağlamaktadır.

Basma gerilmesi (6.1) formülü ile hesaplanır.

Basma deneyi için hazırlanan numuneler ASTM D 6641- 16 standartına göre, boy 140 mm, genişlik 13 mm ve kalınlık 2,1 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 6.13). Bu numunelerin basma testi 1 mm/dk hızında yapılmıştır. Basma testi 36 adet numuneye uygulanmıştır. 12 adet numune katkısız, 12 adet (%0, %0,75, %1, %1,25) nanokil katkılı 10 kGy gama radyasyonuna ve 12 adet (%0, %0,75, %1, %1,25) nanokil katkılı 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılmış numuneler kullanılmıştır. Bu numunelere basma testi uygulayarak gama radyasyonunun malzemelerin basma mukavemeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 6.13 Basma testi numunesinin geometrisi

Basma testi, Dicle Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında bulunan Instron marka BS8801 tipindeki 100 kN kapasiteli cihazda, basma aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Bkz. Şekil 6.14).



Şekil 6.14 Instron marka test cihazı ve basma testinin yapılışı

6.5.3 Kayma deneyi

Numune hazırlamada ASTM D 7078 standardı esas alınmıştır.

Malzemenin kayma mukavemeti 6.5 formülü ile hesaplanmaktadır.

$$\tau = G_{12} \cdot \gamma_{12} \quad (6.5)$$

“ τ ” kayma mukavemetini göstermektedir.

“ G ” kayma modülünü göstermektedir.

“ γ ”₁₂ kayma birim şekil değişimi göstermektedir.

Malzemenin poisson oranı 6.6 de verilen formül ile hesaplanmaktadır.

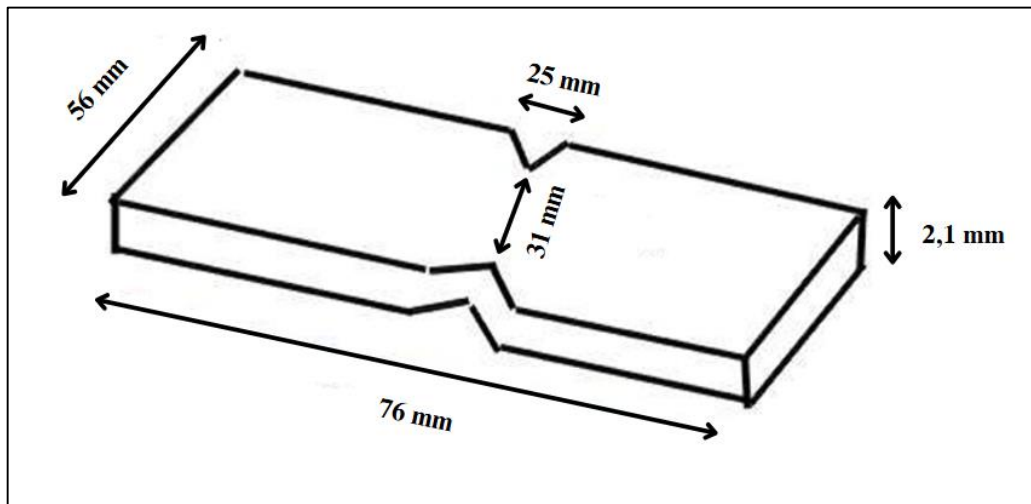
$$\nu = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} \quad (6.6)$$

Malzemenin Kayma modülü ise 6.7 de verilen formülü ile hesaplanmaktadır.

$$G_{12} = \frac{P}{A \cdot \Delta \epsilon} \quad (6.7)$$

Burada “ A ” kesit alanını, “ ϵ ” ise gerinimi ifade etmektedir.

Bu çalışmada ASTM D 7078 standartlarına uygun 76 mm boyunda, 56 mm genişliğinde ve 2.1 mm kalınlığında kayma numuneleri kullanılmıştır (Bkz. Şekil 6.15). Numunelerin orta hattından içeriye çentik açıldığından orta hat 31mm genişliğindedir (Bkz. Şekil 6.15).

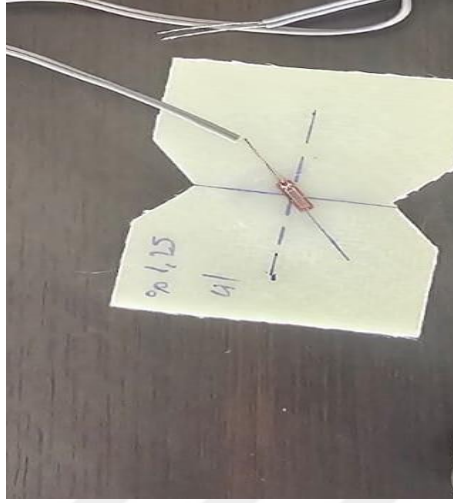


Şekil 6.15 Kayma test numune geometrisi

Deneylerde birim uzama miktarının tespiti için, strain gaugeler rozetleri kullanılmıştır.

Şekil 6.16’de gösterildiği gibi, kayma modülü tespiti için numunelere 45°’lik açıyla

strain gauge'ler bağlanmıştır. Strain gaugelerin bağlantısı için Pattex marka yapıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 6.16 Kayma testi numunesi strain gauges bağlantısı

Deneyler Instron marka BS8801 tipindeki 100 kN kapasiteli cihaza kayma çene aparatı takılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.17). Deney hızı 1 mm/dk olarak ayarlanmıştır.



Şekil 6.17 Instron marka test cihazı ile kayma testinin yapılışı

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında üretilen nanokompozit numunelere çekme, basma ve kayma testleri uygulanmış ve sonuçları incelenip raporlanmıştır.

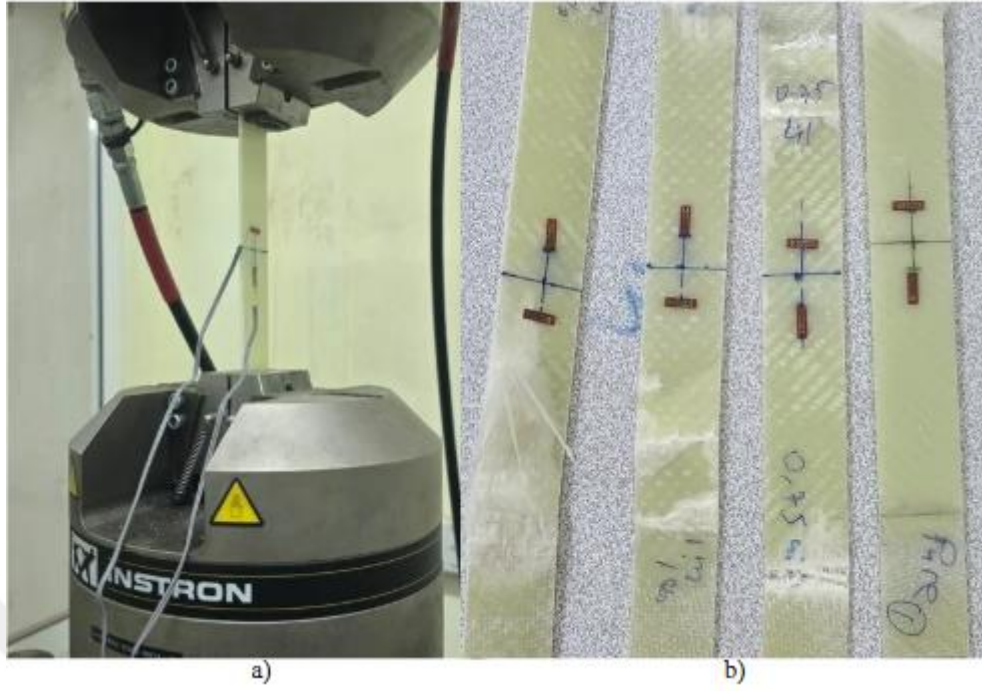
7.1 Numunelerin Çekme Testi Sonuçları

Katkısız ve ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,25 oranlarında nanokil katkılı numuneler ASTM 3039-17 standardına uygun bir şekilde çekme testi için hazırlanmıştır. Hem katkısız hem de nanokil katkılı numuneler 10 kGy ve 20 kGy dozlarında gama radyasyonuna maruz bırakılmıştır. Daha sonra bu numuneler Instron marka 8801 tipindeki 100 kN kapasitesine sahip çekme cihazında 1mm/dakika hızında 36 adet numune oda sıcaklığından çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testine tabi tutulan tüm numune sayıları tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 Çekme testine tabi tutulan numune sayıları

	Katkısız	Nanokil		
		%0,75	%1	%1,25
0 kGy	3	3	3	3
10 kGy	3	3	3	3
20 kGy	3	3	3	3
Toplam	9	9	9	9

Her numuneden 3 adet, teste tabi tutulmuş ve aritmetik ortalamaları alınarak, numunelerin çekme gerilmesi (X_T) elde edilmiştir. Aynı zamanda numunelere strain-gauge rozetleri yapıştırılarak yapılan çekme testinde numunelerin elastisite modülleri (E_{12}) ve poisson (ν_{12}) oranları elde edilmiştir. Çekme testinin yapılışı ve çekme testi uygulanmış malzemenin görünümü Şekil 7.1’de verilmiştir.

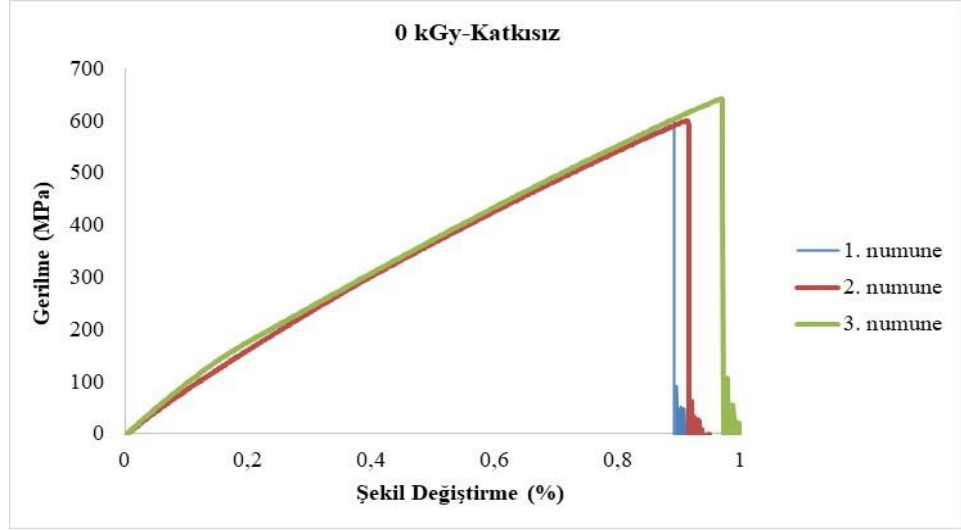


Şekil 7.1. Numunelerin çekme testine teste tabi tutulması ve sonuçları a) Strain-gauge bağlantılı çekme testi b) Çekme testi uygulama sonrası numune görünümü

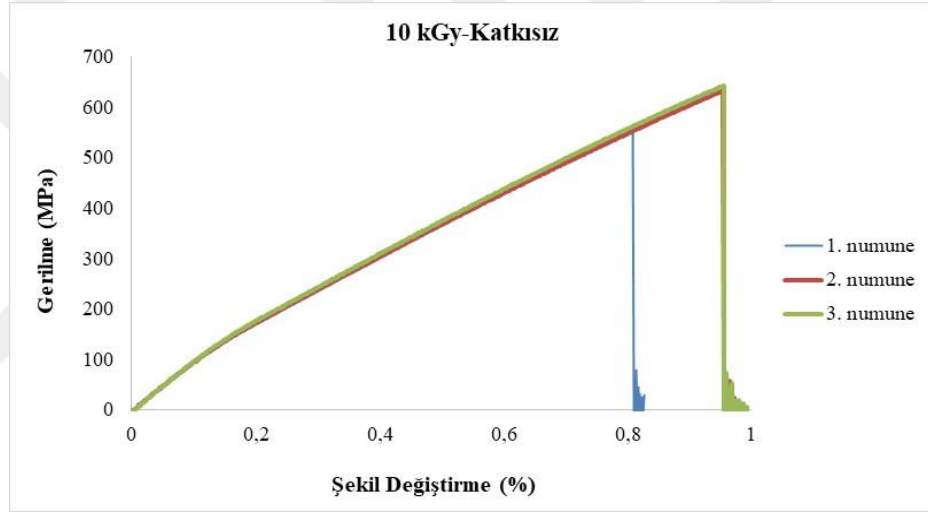
Numune testlerinde elde edilen sonuçlarla numunelere ait gerilme – şekil değiştirme grafikleri çizilmiş ve elde edilen verilerin ortalama değerleri tablolar halinde verilmiştir.

7.1.1 Katkısız numunelerin çekme testi sonuçları

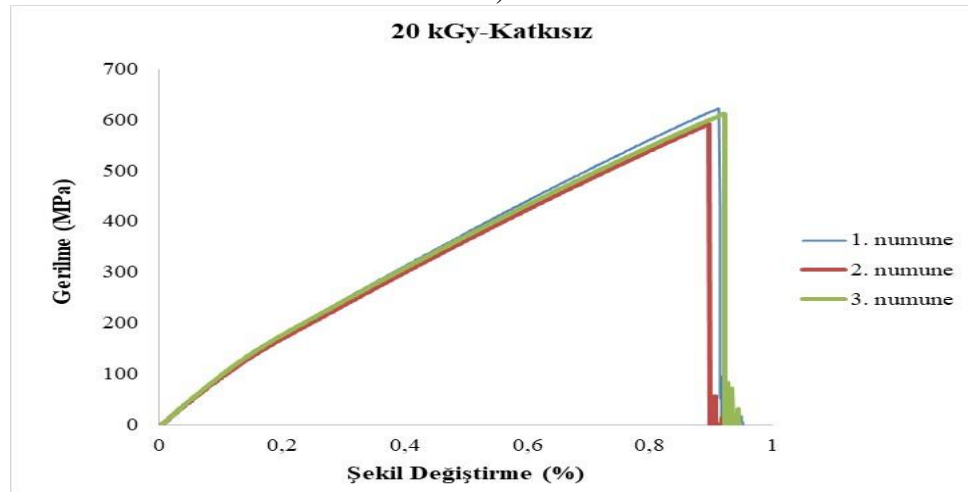
Katkısız (%0 kil) cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve (10 kGy, 20 kGy) gama radyasyonuna maruz bırakılan numuneler çekme testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 3 adet test edilmiş olup, katkısız cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 7.2a, Şekil 7.2b ve Şekil 7.2c’de verilmiştir. Yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.2’de verilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 7.2a) Katkısız (0 kGy) numunelerin çekme testi sonuçları b) 10 kGy katkısız numunelerin çekme testi sonuçları c) 20 kGy -katkısız numunelerin çekme testi sonuçları

Deneyler sonucunda her numuneye ait çekme gerilmeleri (X_T), Elastisite modülleri (E_{12}) ve poisson oranları (ν_{12}) elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.2).

Tablo 7.2 Katkısız (%0 kil) numunelerden elde edilen çekme gerilmeleri, elastisite modülleri ve poisson oranları

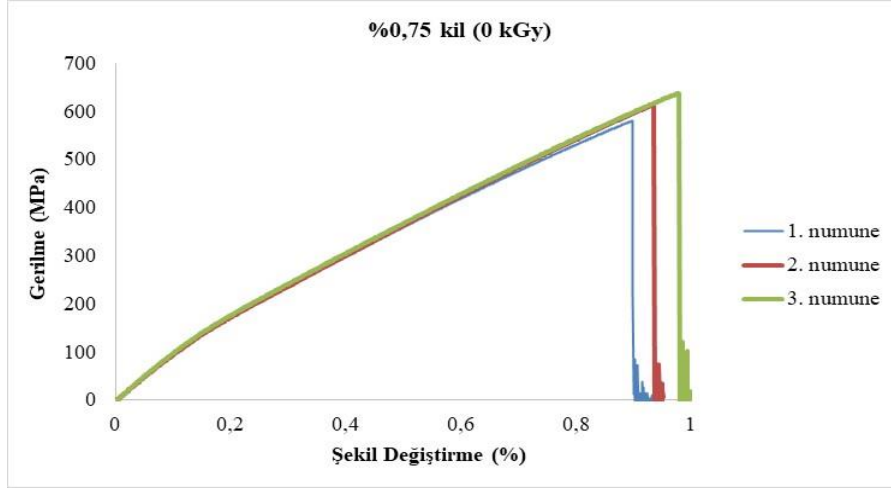
Gama Dozu	Çekme Gerilmesi (X_T) (MPa)	Elastisite Modülü (E_{12}) (MPa)	Poisson Oranı (ν_{12})
0 kGy	610,730	17100,920	0,127=0.13
10 kGy	609,110	17074,540	0,132=0.13
20 kGy	608,869	16893,881	0,132=0.13

Katkısız numunelerin gama radyasyonuna maruz bırakılması sonucu elde edilen çekme gerilmesi, elastisite modülleri ve poisson oranları incelendiğinde elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Katkısız (0 kGy) numunelerden elde edilen çekme gerilmesinin sırasıyla 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen çekme gerilmesine göre; %0,26 ve %0,30 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yine katkısız (0 kGy) numunelerden elde edilen elastisite modülünün, 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen elastisite modüllerine göre sırasıyla %0,96 ve %1,76 oranlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir. Poisson oranlarını incelediğimizde ise 0 kGy, 10 kGy ve 20 kGy numunelerden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Tablo 7.2).

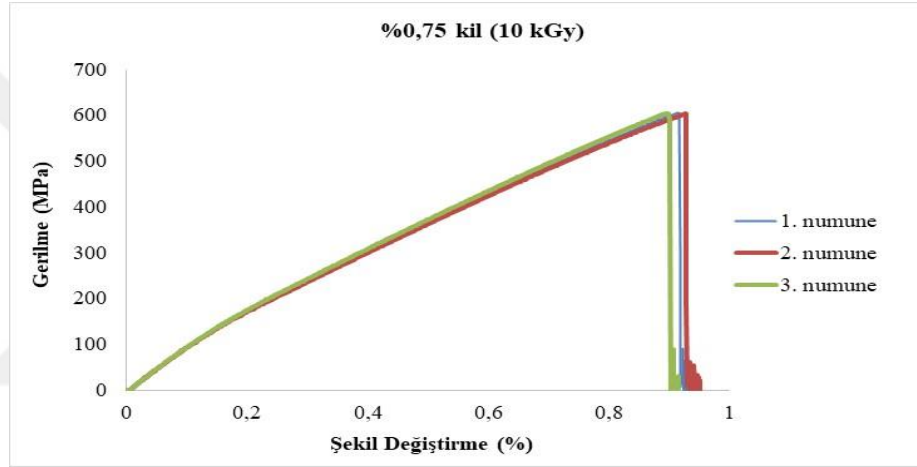
Gama radyasyonuna maruz kalan numunelerde birbirine yakın değerler elde edildiği ancak çok az fark olsa da gama radyasyon dozunun artmasına bağlı olarak çekme gerilmesinin ve elastisite modül değerlerinin düştüğü görülmüştür.

7.1.2 %0.75 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları

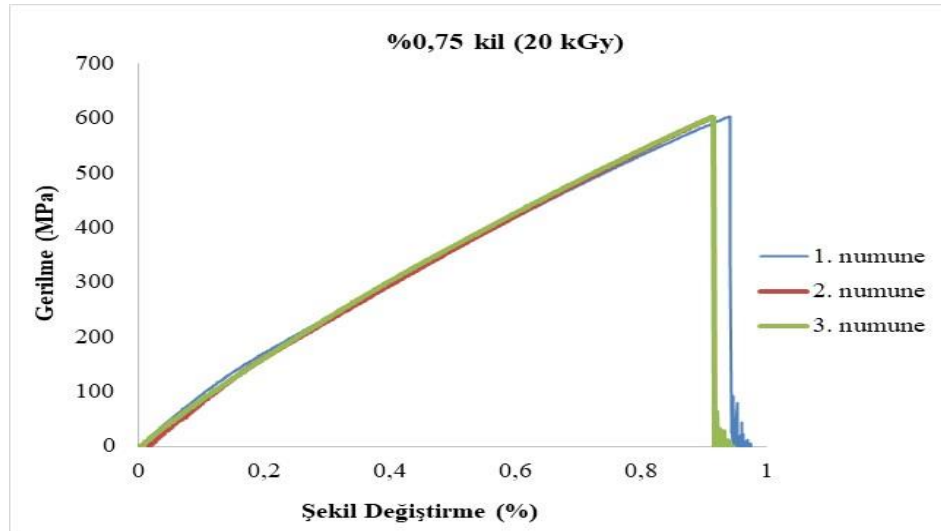
Gama radyasyonuna maruz bırakılmış ve maruz bırakılmamış ağırlıkça %0.75 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri Şekil 7.3’de verilmiştir.



(a)



b)



c)

Şekil 7.3 a) %0,75 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları b) 10 kGy- %0,75 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları c) 20 kGy- %0,75 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları

Deneyler sonucunda her numuneye ait çekme gerilmeleri (X_T), Elastisite modülleri (E_{12}) ve poisson oranları (ν_{12}) elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.3).

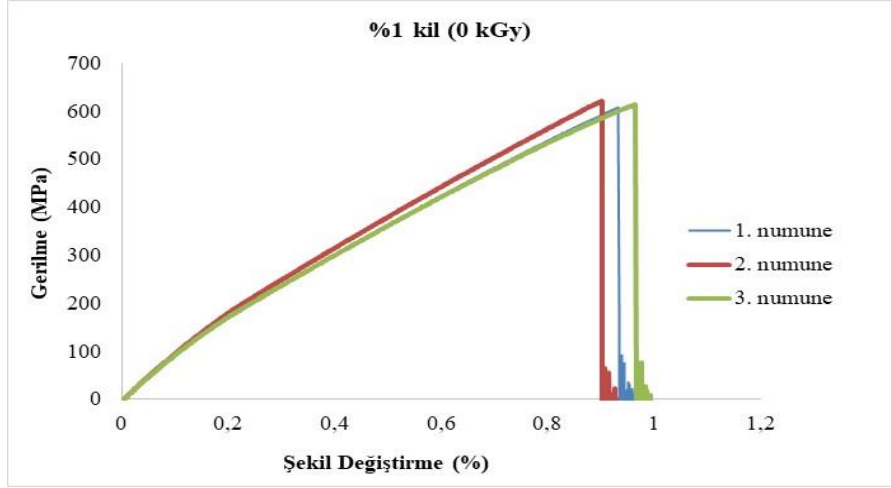
Tablo 7.3 %0.75 nanokil katkılı numunelerden elde edilen çekme gerilmeleri, elastisite modülleri ve poisson oranları

Gama dozu	Çekme Gerilmesi (X_T) (MPa)	Elastisite Modülü (E_{12})	Poisson oranı (ν_{12})
0 kGy	611,073	17240,401	0,132
10 kGy	604,467	17119,331	0,13
20 kGy	601,415	16949,011	0,13

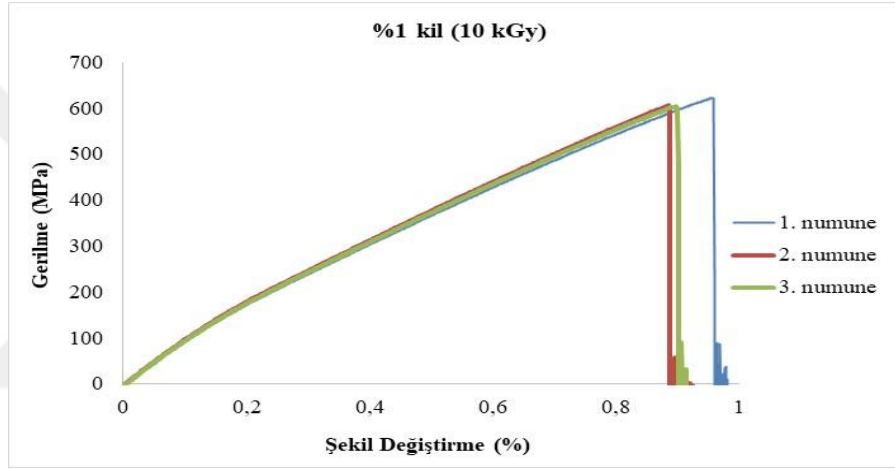
%0,75 Nanokil katkılı numunelerin gama radyasyonuna maruz bırakılması sonucu elde edilen çekme gerilmesi, elastisite modülleri ve poisson oranları incelendiğinde elde edilen en yüksek değer gamma radyasyonuna maruz bırakılmayan numuneden tespit edilmiştir. %0.75 kil katkılı (0 kGy) numunelerden elde edilen çekme gerilmesi sırasıyla 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen çekme mukavemetine göre; %1.08 ve %1.58 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yine %0.75 kil katkılı (0 kGy) numunelerden elde edilen elastisite modülünün, 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen Elastisite modüllerine göre sırasıyla %0.70 ve %1.69 oranlarında daha fazla gerçekleşmiştir. Poisson oranlarını incelediğimizde ise 0 kGy, 10 kGy ve 20 kGy numunelerden elde edilen değerlerin birbirine eşit olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Tablo 7.3).

7.1.3 %1 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları

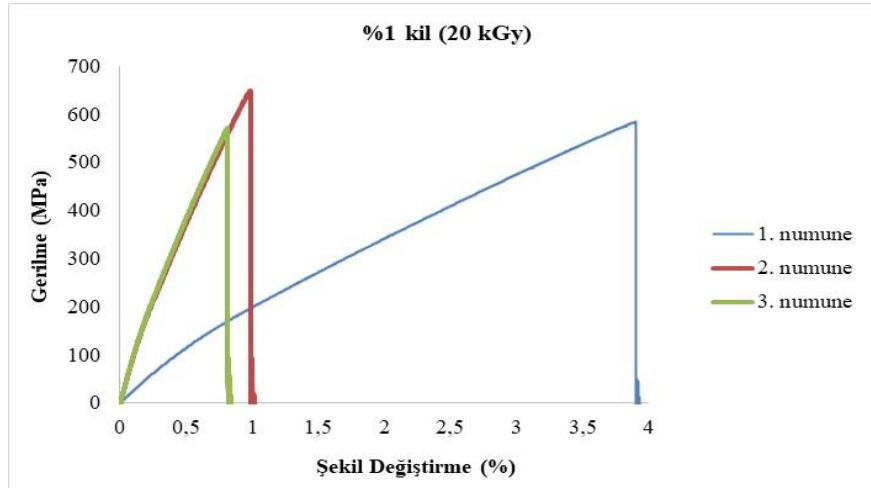
Gama radyasyonuna maruz bırakılmış ve maruz bırakılmamış ağırlıkça %1 Nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri Şekil 7.4’de verilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 7.4a) %1 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları b) 10 kGy- %1 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları c) 20 kGy- %1 nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları

Deneyler sonucunda her numuneye ait çekme gerilmesi (X_T), Elastisite modülleri (E_{12}) ve poisson oranları (ν_{12}) elde edilmiştir (Bkz.Tablo 7.4).

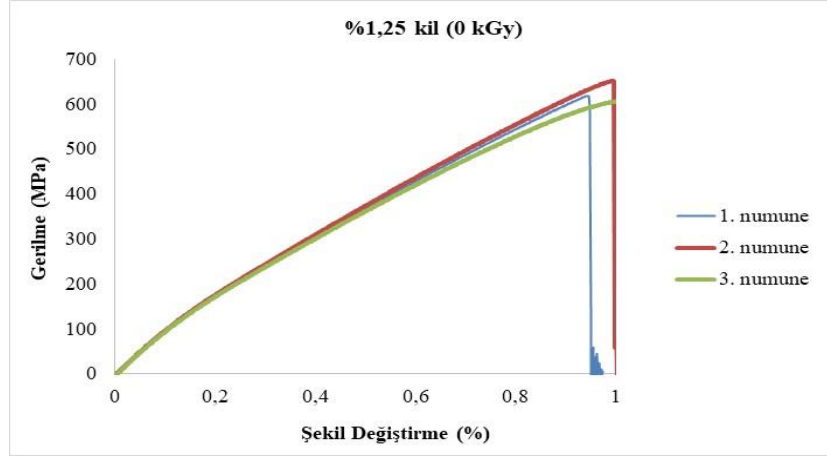
Tablo 7.4 ve Gerilme-Şekil değiştirme grafikleri incelendiğinde %1 nanokil katkıli numunelerden, gama radyasyonuna maruz kalmayan numuneden en yüksek değerlerin elde edildiği tespit edilmiştir. %1 kil katkıli (0 kGy) numunelerden elde edilen çekme gerilmesinin sırasıyla 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen çekme gerilmesine göre; %0.48 ve %1.87 oranlarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. %1 kil katkıli (0 kGy) numunelerden elde edilen elastisite modülünün, 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen Elastisite modüllerine göre sırasıyla %0.89 ve %1.73 oranlarında daha fazla gerçekleşmiştir. Poisson oranlarını incelediğimizde ise 0 kGy, 10 kGy ve 20 kGy numunelerden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir (Bkz.Tablo 7.4).

Tablo 7.4 %1 Nanokil katkıli numunelerden elde edilen çekme mukavemetleri, elastisite modülleri ve poisson oranları

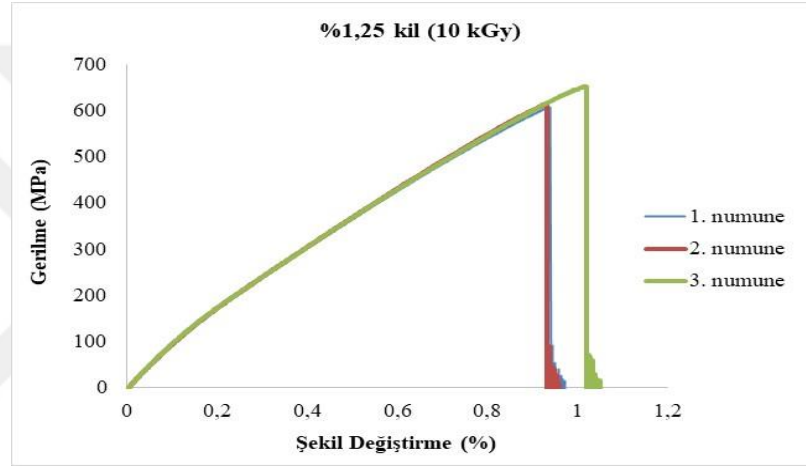
Gama dozu	Çekme Gerilmesi (X_T) (MPa)	Elastisite Modülü (E_{12})	Poisson oranı (ν_{12})
0 kGy	614,441	17776,491	0,147
10 kGy	611,516	17618,775	0,144
20 kGy	602,954	17469,017	0,141

7.1.4 %1,25 Nanokil katkıli numunelerin çekme testi sonuçları

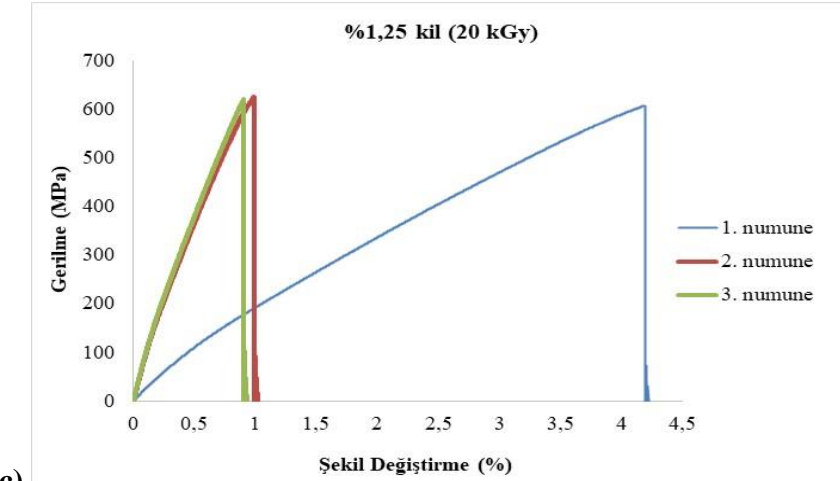
Gama radyasyonuna maruz bırakılmış ve maruz bırakılmamış ağırlıkça %1.25 nanokil katkıli cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri Şekil 7.5’de verilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 7.5 a) %1,25 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları b) 10 kGy -%1,25 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları c) 20 kGy -%1,25 Nanokil katkılı numunelerin çekme testi sonuçları

Deneyler sonucunda her numuneye ait çekme gerilmeleri (X_T), Elastisite modülleri (E_{12}) ve poisson oranları (v_{12}) elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.5).

Tablo 7.5 %1,25 Nanokil katkılı numunelerden elde edilen çekme mukavemetleri, elastisite modülleri ve poisson oranları

Gama Dozu	Çekme Gerilmesi (X_T) (MPa)	Elastisite Modülü (E_{12})	Poisson Oranı (v_{12})
0 kGy	626,401	18131,647	0,142
10 kGy	624,720	18113,925	0,140
20 kGy	618,976	18005,077	0,141

Tablo 7.5 ve Gerilme -Şekil değiştirme grafikleri incelendiğinde %1.25 nanokil katkılı numunelerden, gama radyasyonuna maruz kalmayan numuneden en yüksek değerlerin elde edildiği tespit edilmiştir. %1 kil katkılı (0 kGy) numunelerden elde edilen çekme mukavemetinin sırasıyla 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen çekme mukavemetine göre; %0,27 ve %1,87 oranlarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. %1 kil katkılı (0 kGy) numunelerden elde edilen elastisite modülünün, 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz bırakılan numunelerden elde edilen elastisite modüllerine göre sırasıyla %0.89 ve %1.19 oranlarında daha fazla gerçekleşmiştir. Poisson oranlarını incelediğimizde ise 0 kGy, 10 kGy ve 20 kGy numunelerden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir (Tablo 7.5).

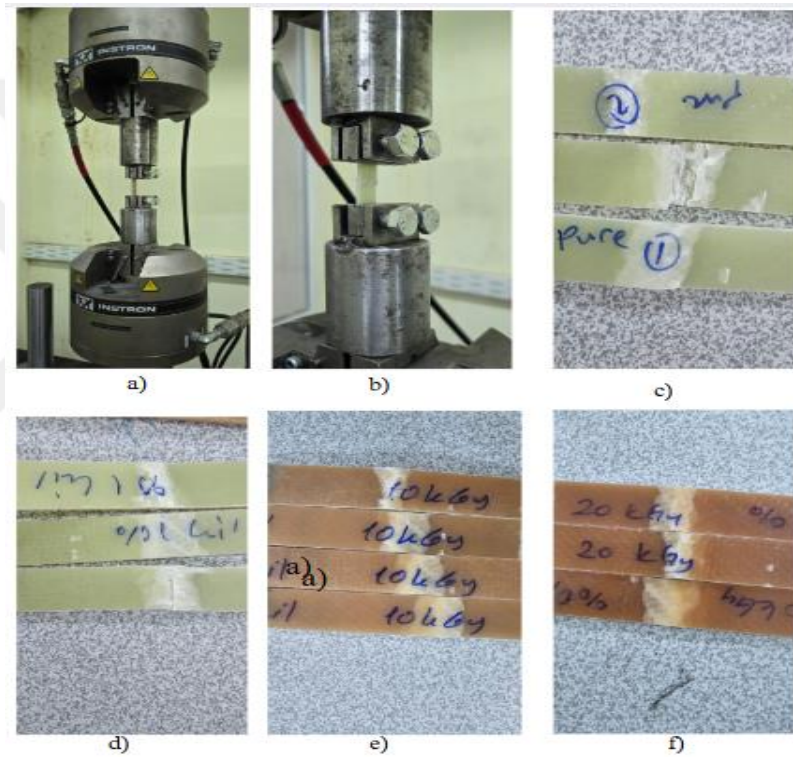
7.2 Numunelerin Basma Testi Sonuçları

Katkısız ve ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,25 oranlarında nanokil katkılı olarak üretilen, numuneler ASTM D 6641-16 standardına uygun bir şekilde basma testi için hazırlanmıştır. Daha sonra bu numunelere 0 kGy, 10 kGy ve 20 kGy Instron marka 8801 tipindeki 100 kN kapasitesine sahip cihazda 1mm/ dakika hızında basma testine tabi tutulmuşlardır. Toplam 36 numune basma testine tabi tutulmuştur. Basma testine tabi tutulan tüm numune sayıları aşağıdaki Tablo 7.6’de belirtilmiştir. Numuneler özel aparatta basma testine tutulmuşlardır (Bkz. Şekil 7.8)

Tablo 7.6 Basma testine tabi tutulan numune sayıları

Gama dozu	Katkısız	Nanokil oranları		
		%0,75	%1	%1,25
0 kGy	3	3	3	3
10 kGy	3	3	3	3
20 kGy	3	3	3	3
Toplam	9	9	9	9

Her numuneden 3 adet teste tabi tutulmuş ve aritmetik ortalamaları alınarak, numunelerin basma gerilmeleri (X_c) elde edilmiştir.



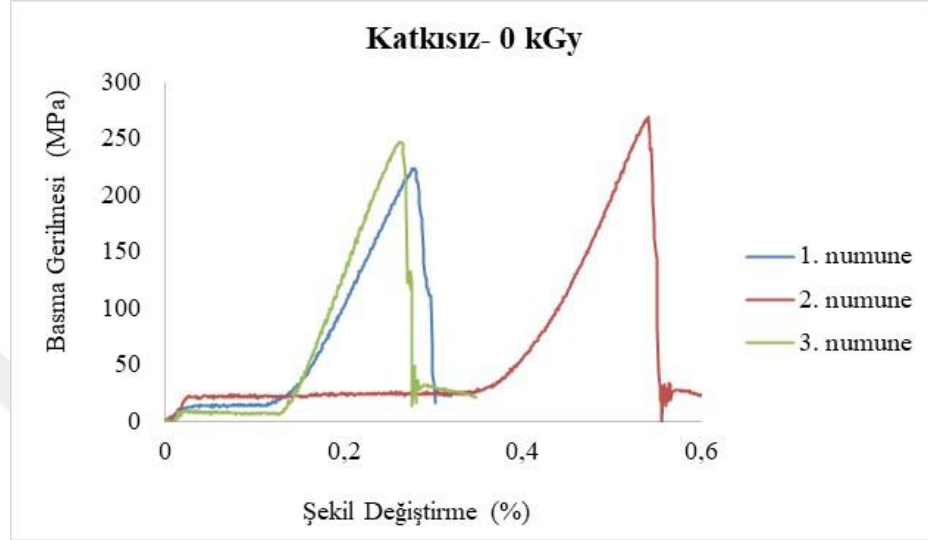
Şekil 7.6 Basma testine tabi tutulması ve test sonucu numune görüntüsü

Test sonucu elde edilen sonuçlarla numunelere ait gerilme – şekil değiştirme grafikleri çizilmiş ve elde edilen ortalama değerler tablolar halinde verilmiştir.

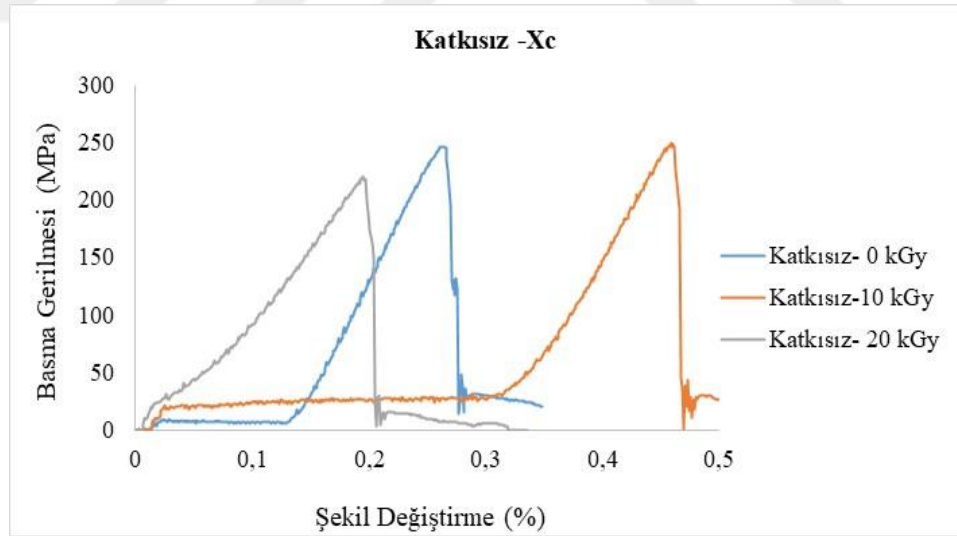
7.2.1 Katkısız numunelerin basma testi sonuçları

Katkısız (%0 kil) cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve maruz bırakılmış (10 kGy, 20 kGy) numuneler basma testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 3 adet test edilmiş olup, katkısız cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme

grafikleri sırasıyla Şekil 7.7’de verilmiştir. Ayrıca katkısız numunelerin 10 ve 20 kGy radyasyona maruz kalmaları ile elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları, 0 kGy numuneden elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları ile Şekil 7.8’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 7.7 Katkısız 0 kGy numunelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramları



Şekil 7.8 Katkısız (0,10,20 kGy) numunelerin ortalama gerilme -şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması

Aynı zamanda yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.7’de verilmiştir.

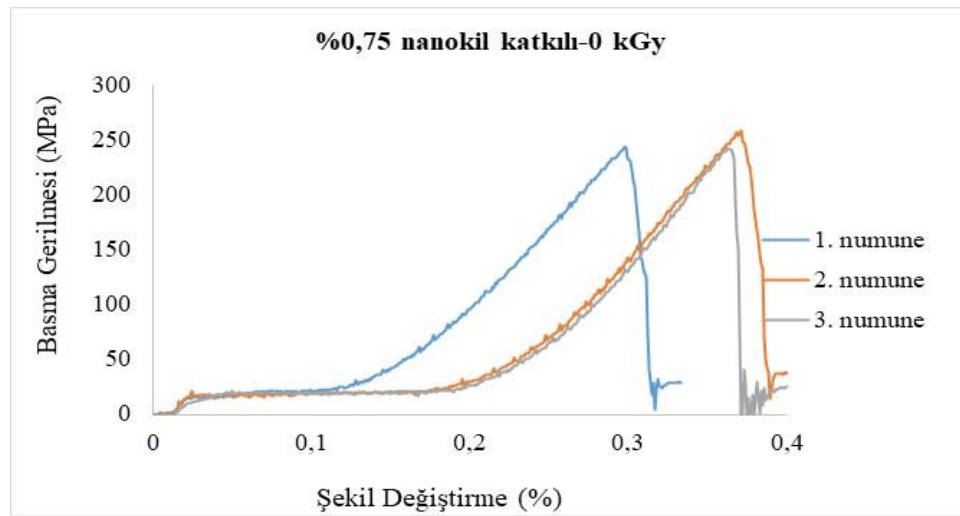
Tablo 7.7 Katkısız numunelerin basma testi sonuçları

Nanokil	Gama dozu (kGy)	Basma Gerilmesi (Xc) (MPa)
Katkısız	0 kGy	246.96
	10 kGy	245.73
	20 kGy	229.67

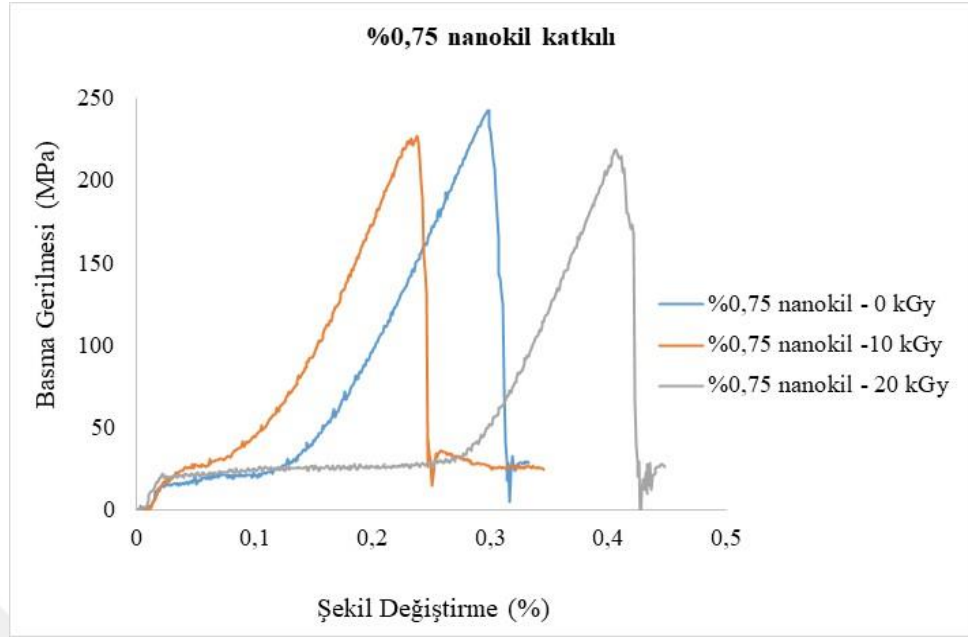
En yüksek basma gerilmesinin radyasyona maruz bırakılmamış numuneden elde edilmiş olup 10 kGy, 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %0.50 ve %7.00 oranlarında fazla gerçekleşmiştir.

7.2.2 %0,75 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları

%0,75 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve maruz bırakılmış 10 kGy, 20 kGy numuneler olarak basma testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 3 adet test edilmiş olup, %0,75 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 7.9’de verilmiştir. Ayrıca %0,75 nanokil katkılı numunelerin 10 kGy, 20 kGy radyasyona maruz kalmaları ile elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları, 0 kGy numuneden elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları ile Şekil 7.10’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 7.9 %0,75 Nanokil katkılı 0 kGy numunelerin gerilme- şekil değiştirme diyagramları



Şekil 7.10 %0,75 Nanokil katkılı 10 kGy, 20 kGy ortalama gerilme -şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması

Aynı zamanda yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.8’de verilmiştir. En yüksek basma gerilmesinin radyasyona maruz bırakılmamış numuneden elde edildiği tespit edilmiştir. Bu değer, 10 kGy, 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %7,05 ve %11,96 oranlarında fazla gerçekleştiği elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.8).

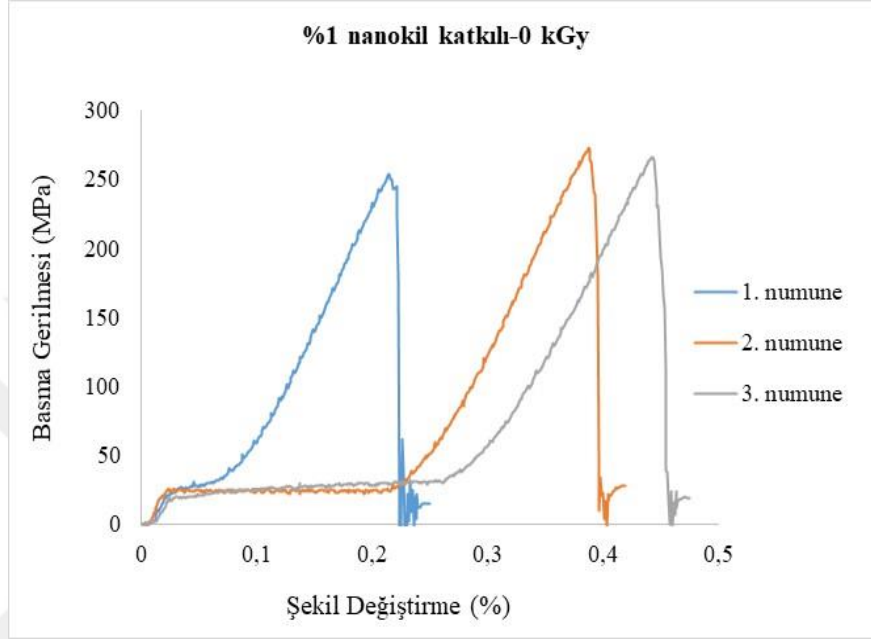
Tablo 7.8 %0,75 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları

	Gama dozu (kGy)	Basma Gerilmesi (Xc) (MPa)
%0,75 Nanokil	0 kGy	247,99
	10 kGy	230,51
	20 kGy	218,32

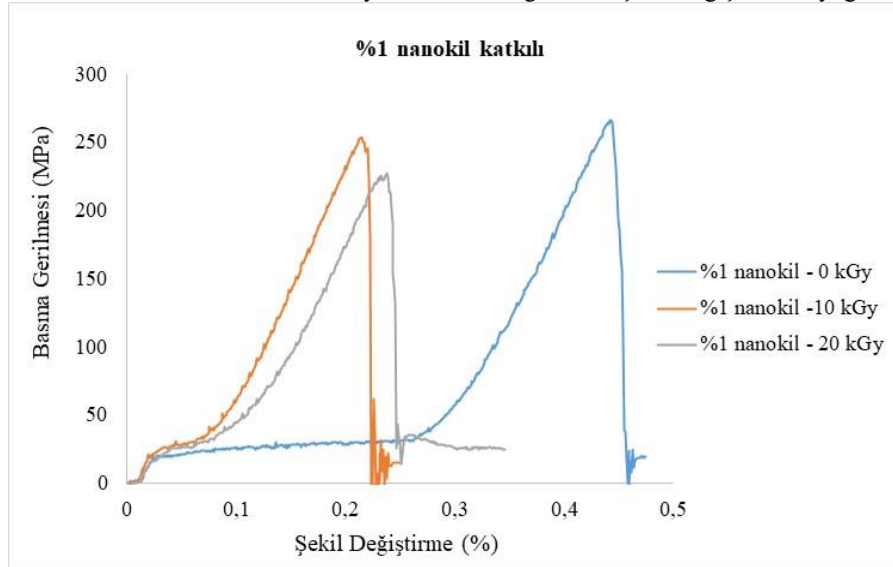
7.2.3 %1 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları

%1 Nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve maruz bırakılmış 10 kGy, 20 kGy numuneler olarak basma testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 3 adet test edilmiş olup, %1 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde

edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 7.11’de verilmiştir. Ayrıca %1 nanokil katkılı numunelerin 10 kGy, 20 kGy radyasyona maruz kalmaları ile elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları, 0 kGy numuneden elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları ile Şekil 7.12’de verilmiştir.



Şekil 7.11 %1 Nanokil katkılı- 0 kGy numunelerin gerilme- şekil değiştirme diyagramları



Şekil 7.12 %1 Nanokil katkılı (0,10,20 kGy) ortalama gerilme -şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması

Aynı zamanda yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.9’de verilmiştir.

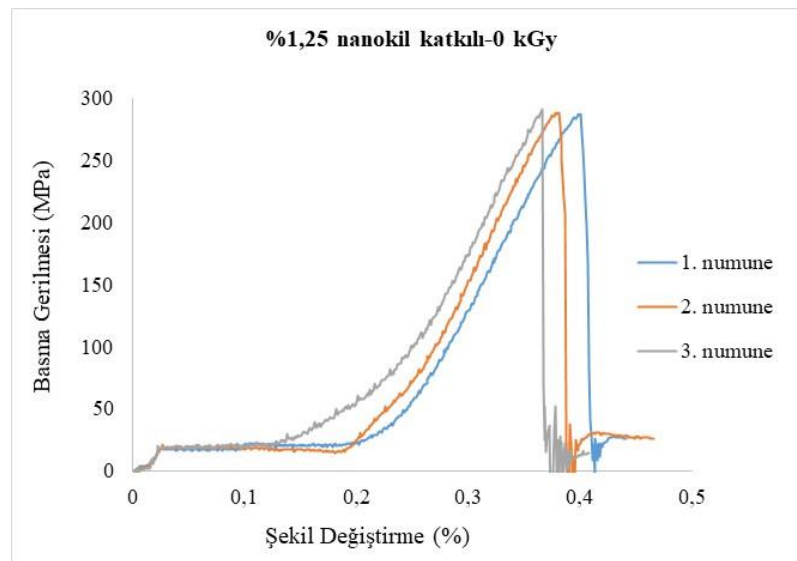
En yüksek basma gerilmesinin radyasyona maruz bırakılmamış numuneden elde edildiği tespit edilmiştir. Bu değer, 10 kGy ve 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %3,88 ve %13,32 oranlarında fazla gerçekleştiği elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.9).

Tablo 7.9 %1 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları

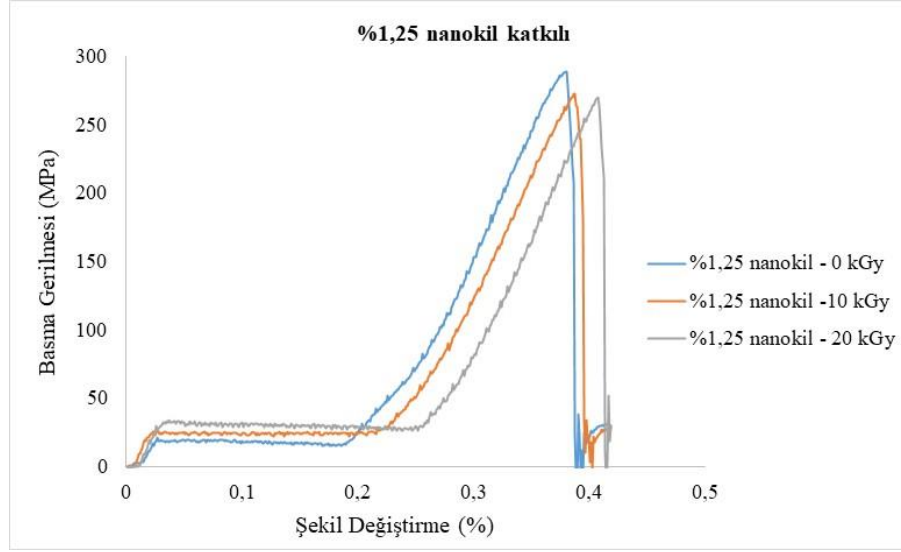
	Gama dozu	Basma Gerilmesi (Xc) - (MPa)
%1 nanokil	0 kGy	264.66
	10 kGy	254.39
	20 kGy	229.41

7.2.4 %1,25 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları

%1.25 Nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve maruz bırakılmış 10 kGy, 20 kGy numuneler olarak basma testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 3 adet test edilmiş olup, %1.25 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 7.13’de verilmiştir. Ayrıca %1.25 Nanokil katkılı numunelerin 10 kGy, 20 kGy radyasyona maruz kalmaları ile elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları, 0 kGy numuneden elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları Şekil 7.14’de verilmiştir.



Şekil 7.13 %1,25 Nanokil katkılı- 0 kGy numunelerin gerilme- şekil değiştirme diyagramları



Şekil 7.14 %1,25 Nanokil katkılı (0,10,20 kGy) ortalama gerilme -şekil değişirme grafiklerinin karşılaştırılması

Aynı zamanda yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.10’da verilmiştir.

En yüksek basma gerilmesinin radyasyona maruz bırakılmamış numuneden elde edildiği tespit edilmiştir. Bu değer 10 kGy, 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %3.39 ve %4.78 oranlarında fazla gerçekleştiği elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.10).

Tablo 7.10 %1.25 Nanokil katkılı numunelerin basma testi sonuçları

	Gama dozu (kGy)	Basma Gerilmesi (Xc) (MPa)
%1.25 Nanokil	0 kGy	289,47
	10 kGy	279,65
	20 kGy	275,63

7.3 Numunelerin Kayma Testi Sonuçları

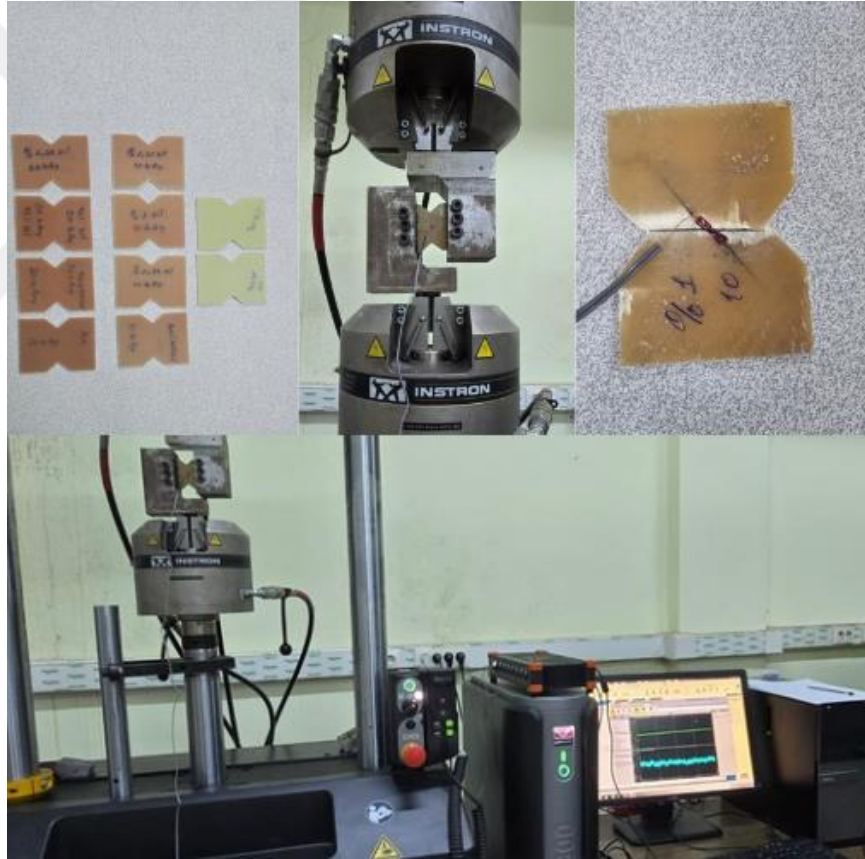
Katkısız ve ağırlıkça %0.75, %1, ve %1.25 oranlarında nanokil katkılı olarak üretilen, numuneler ASTM D 7078 standardına uygun bir şekilde kayma testi için hazırlanmıştır. (0 kGy, 10 kGy, 20 kGy) gama radyasyonuna maruz bırakılan numuneler Instron marka 8801 tipindeki 100 kN kapasitesine sahip cihazda 2 mm/dakika hızında kayma testine tabi tutulmuşlardır. Toplam 36 numune kayma testine tabi tutulmuştur. Kayma testine tabi tutulan numune sayıları Tablo 7.11’de verilmiştir.

Numuneler strain-gauge rozeti bağlantısı yapılarak, özel bir kayma aparatına yerleştirilmiş ve teste tabi tutulmuştur (Bkz. Şekil 7.15).

Tablo 7.11 Kayma testine tabi tutulan numune sayıları

Gama dozu	Katkısız	Nanokil oranları		
		%0.75	%1	%1.25
0 kGy	3	3	3	3
10 kGy	3	3	3	3
20 kGy	3	3	3	3
Toplam	9	9	9	9

Her numuneden 3 adet teste tabi tutulmuş ve aritmetik ortalamaları alınarak, numunelerin kayma gerilmeleri (S_{12}) ve kayma modülleri (G_{12}) elde edilmiştir.

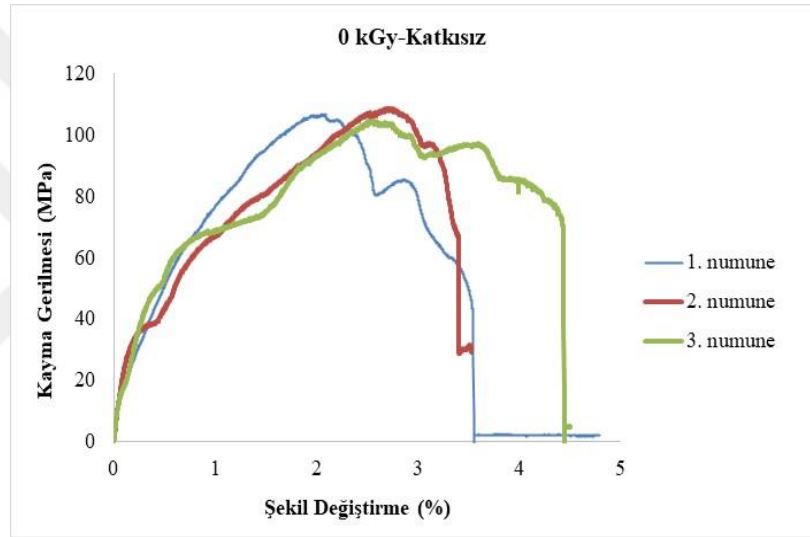


Şekil 7.15 Numunelerin kayma testine hazırlanması ve teste tabi tutulması

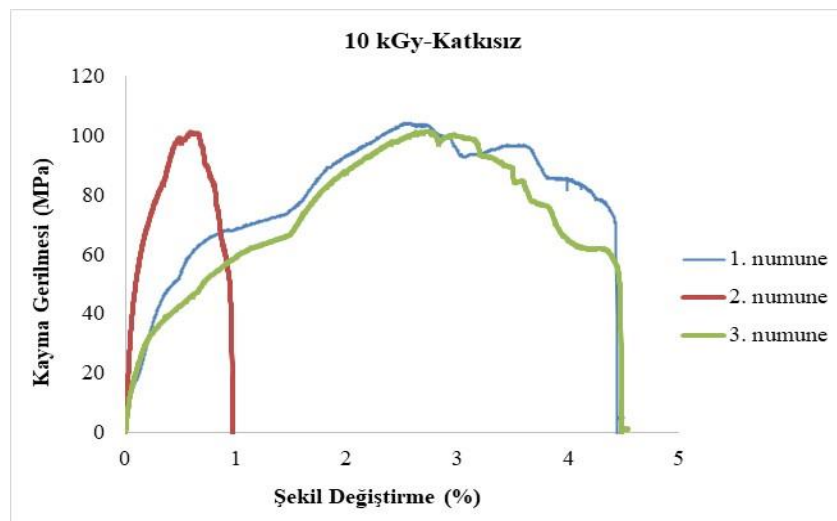
Test sonucu elde edilen sonuçlarla numunelere ait gerilme – şekil değiştirme grafikleri çizilmiş ve tablolara aktarılmıştır.

7.3.1 Katkısız numunelerin kayma testi sonuçları

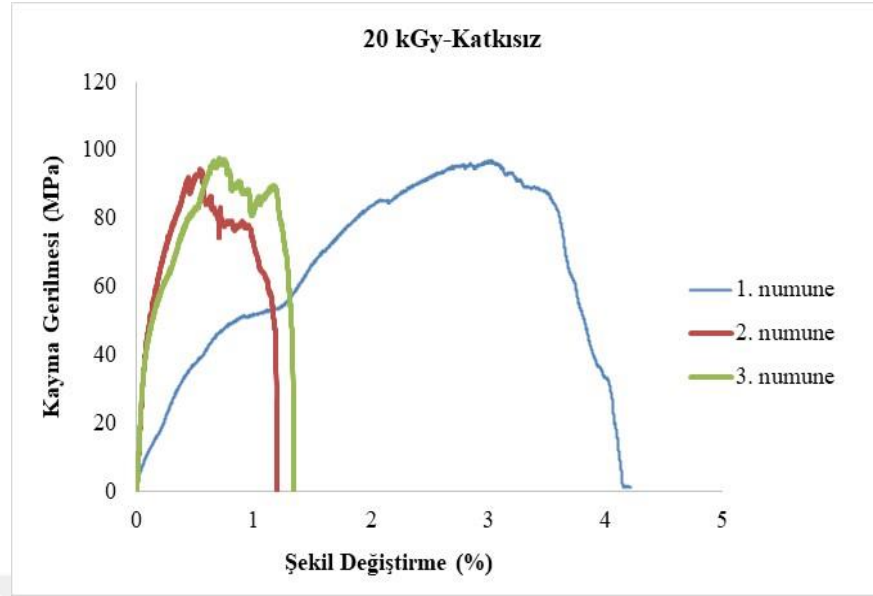
Katkısız (%0 kil) cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve maruz bırakılmış (10 kGy ve 20 kGy) numuneler olarak kayma testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 36 adet test edilmiş olup, katkısız cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 7.16’de verilmiştir. Ayrıca katkısız numunelerin 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz kalmaları ile elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları da sırasıyla Şekil 7.16a, Şekil 7.16b Şekil 7.16c’de verilmiştir.



a)



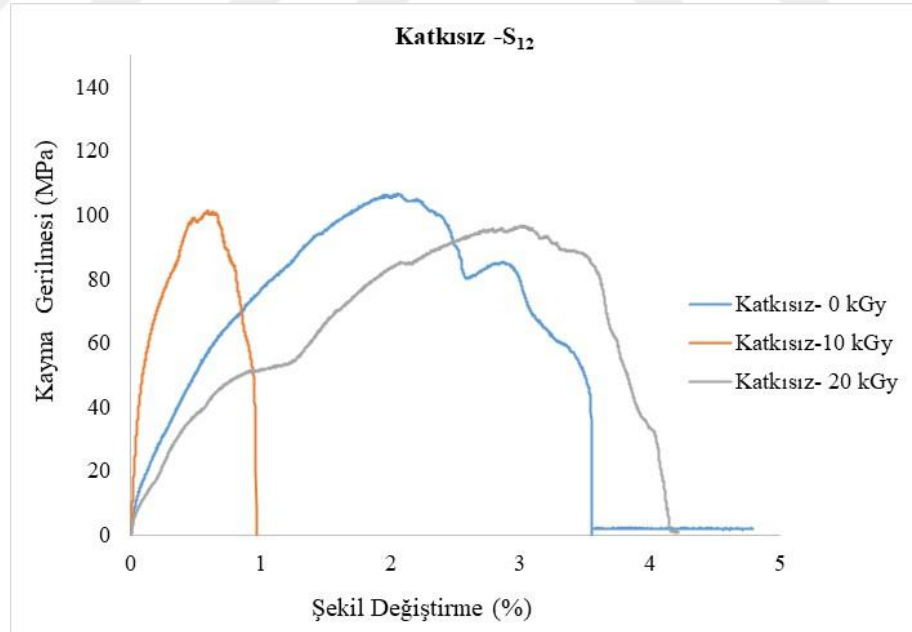
b)



c)

Şekil 7.16 Katkısız numunelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramları

Katkısız numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Bkz. Şekil 7.17).



Şekil 7.17 Katkısız 0 kGy, 10 kGy ve 20kGy numunelerin gerilme-şekil değiştirme diyagramları karşılaştırılması

Aynı zamanda yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.12’de verilmiştir. Strain-gauge bağlantısı ile elde edilen değerlerden de kayma modülleri hesaplanmış ve Tablo 7.12’de verilmiştir.

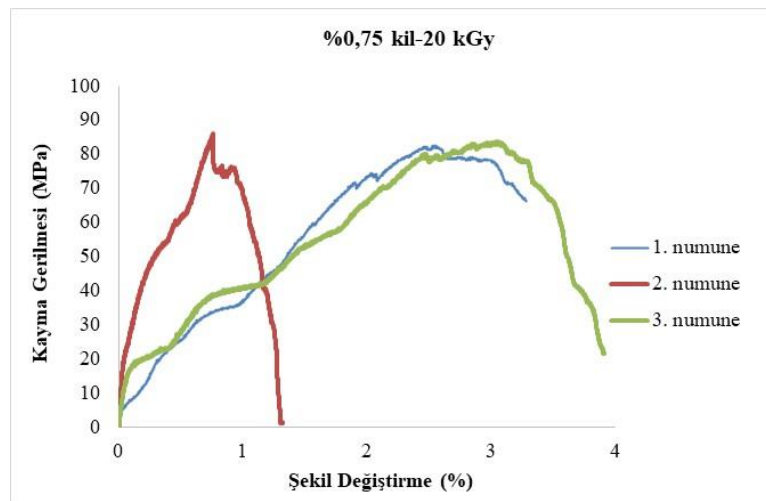
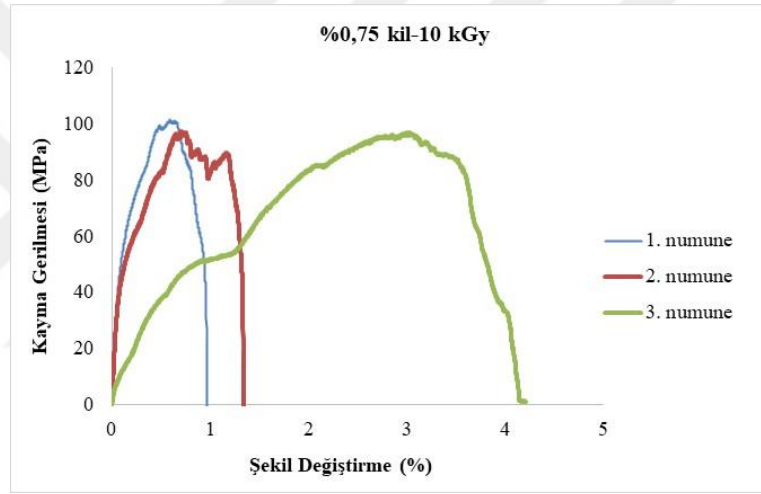
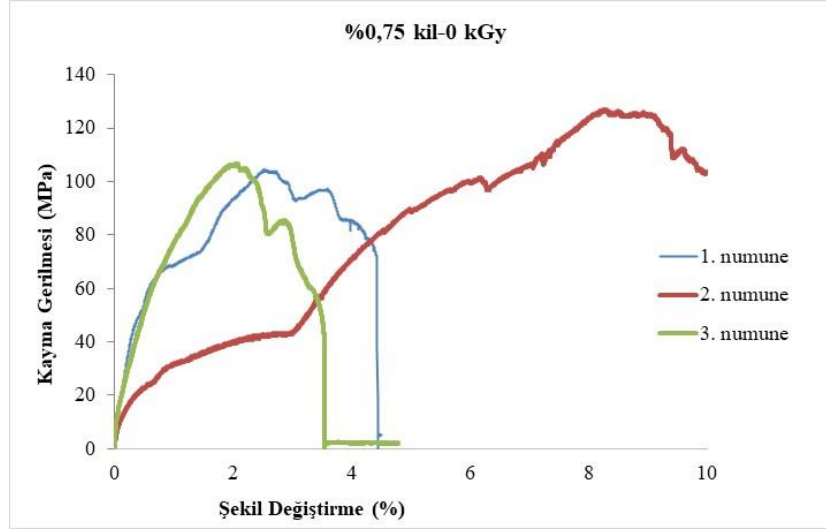
En yüksek kayma gerilmelerinin radyasyona maruz bırakılmamış numuneden elde edildiği tespit edilmiştir. Bu değerin 10 kGy ve 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %3.01 ve %9.89 oranlarında daha fazla gerçekleşmiştir. Yine en yüksek kayma modül değeri 0 kGy numuneden elde edilmiş olup 10 kGy ve 20 kGy numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %3.96 ve %30.14 oranlarında daha yüksek elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.12).

Tablo 7.12 Katkısız numunelerin kayma testi sonuçları

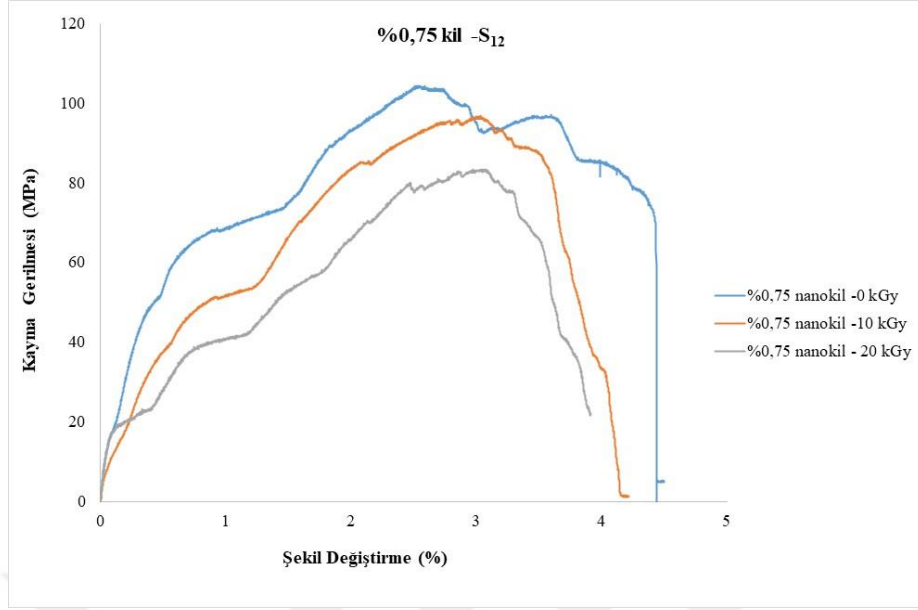
	Gama dozu	Kayma Gerilmesi (S_{12}) - (MPa)	Kayma Modülü (G_{12}) (MPa)
Katkısız	0 kGy	106.189	3088.479
	10 kGy	102.99	2966.148
	20 kGy	95.69	2157.512

7.3.2 %0,75 Nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları

%0,75 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve maruz bırakılmış 10 kGy ve 20 kGy numuneler olarak kayma testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 3 adet test edilmiş olup, %0.75 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 7.18a, Şekil 7.18b, Şekil 7.18c’de verilmiştir. Ayrıca %0.75 nanokil katkılı numunelerin 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz kalmaları ile elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları da karşılaştırmalı Şekil 7.19’de verilmiştir.



Şekil 7.18 %0,75 nanokil katkıli cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri a) 0 kGy b) 10kGy c) 20 kGy



Şekil 7.19 %0,75 nanokil katkılı numunelerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme – şekil değiştirme grafikleri

Aynı zamanda yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.13’de verilmiştir. Strain-gauge bağlantısı ile elde edilen değerlerden de kayma modülleri hesaplanmış ve Tablo 7.13’de verilmiştir.

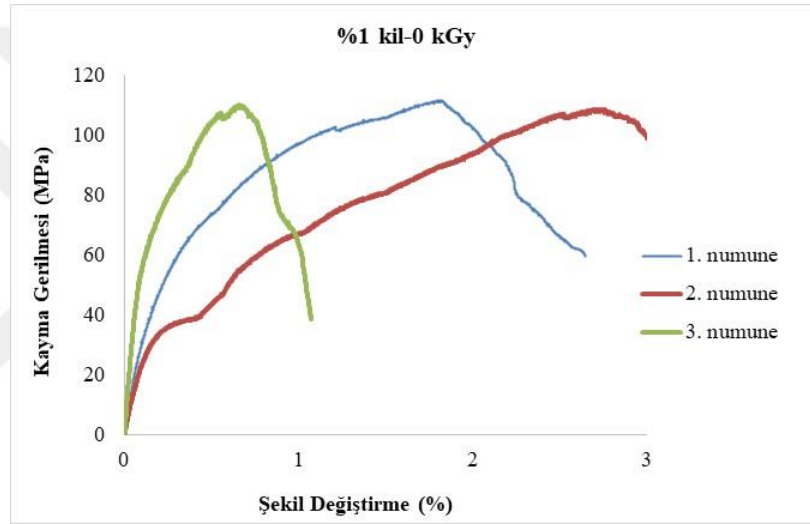
En yüksek kayma gerilmesi, radyasyona maruz bırakılmamış numunelerden elde edilmiştir. Radyasyona maruz bırakılmamış numunelerin kayma gerilmesi, 10 kGy ve 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %7.16 ve %20.85 oranlarında daha fazla olduğu görülmüştür. Yine en yüksek kayma modül değeri 0 kGy numunelerden elde edilmiş olup, 10 kGy ve 20 kGy numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %0.48 ve %1.98 oranlarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Tablo 7.13).

Tablo 7.13 %0,75 nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları

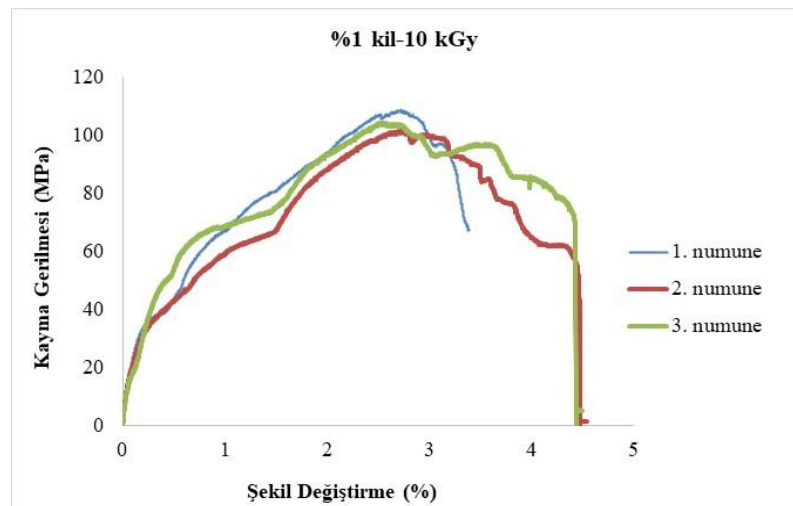
	Gama dozu	Kayma Gerilmesi (S_{12}) (MPa)	Kayma Modülü (G_{12}) (MPa)
%0.75 nanokil	0 kGy	106.251	3130.466
	10 kGy	98.64	3115.481
	20 kGy	84.096	3068.332

7.3.3 %1 Nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları

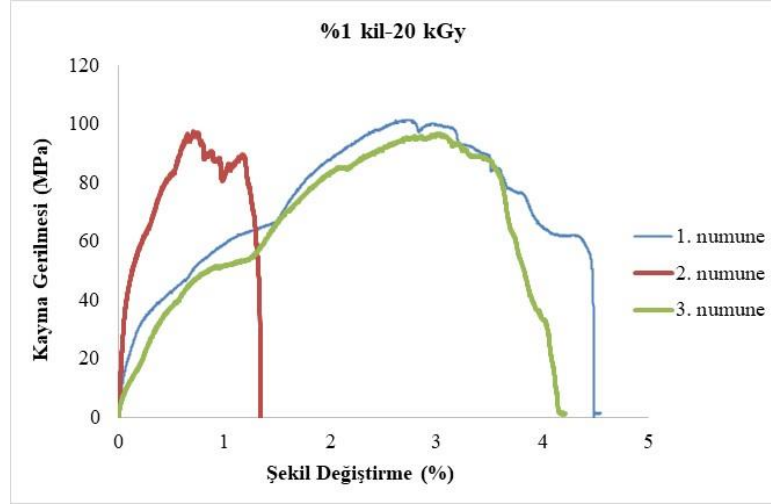
%1nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve maruz bırakılmış (10 kGy ve 20 kGy) numuneler olarak kayma testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 3 adet test edilmiş olup, %1 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 7.20a, Şekil 7.20b, Şekil 7.20c’de verilmiştir. Ayrıca %1 nanokil katkılı numunelerin 10 kGy ve 20 kGy radyasyona maruz kalmaları ile elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları da karşılaştırmalı Şekil 7.21’de verilmiştir



a)

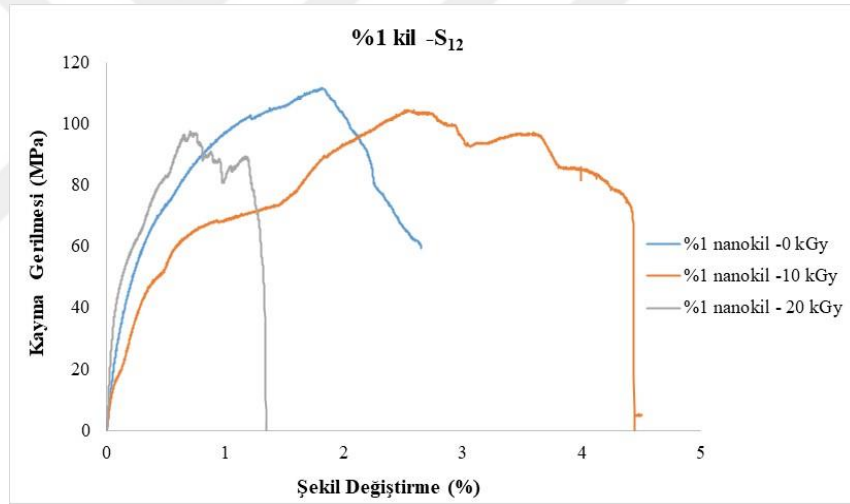


b)



c)

Şekil 7.20 %1 Nanokil katkı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri a) 0 kGy b) 10kGy c) 20 kGy



Şekil 7.21 %1 nanokil katkı numunelerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme – şekil değiştirme grafikleri

Aynı zamanda yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.14’de verilmiştir. Strain-gauge bağlantısı ile elde edilen değerlerden de Kayma modülleri hesaplanmış ve Tablo 7.14’de verilmiştir.

En yüksek kayma gerilmesinin radyasyona maruz bırakılmamış numuneden elde edildiği tespit edilmiştir. Bu değer, 10 kGy ve 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %3.60 ve %9.25 oranlarında daha fazla gerçekleşmiştir. Yine en yüksek kayma modül değeri 0 kGy

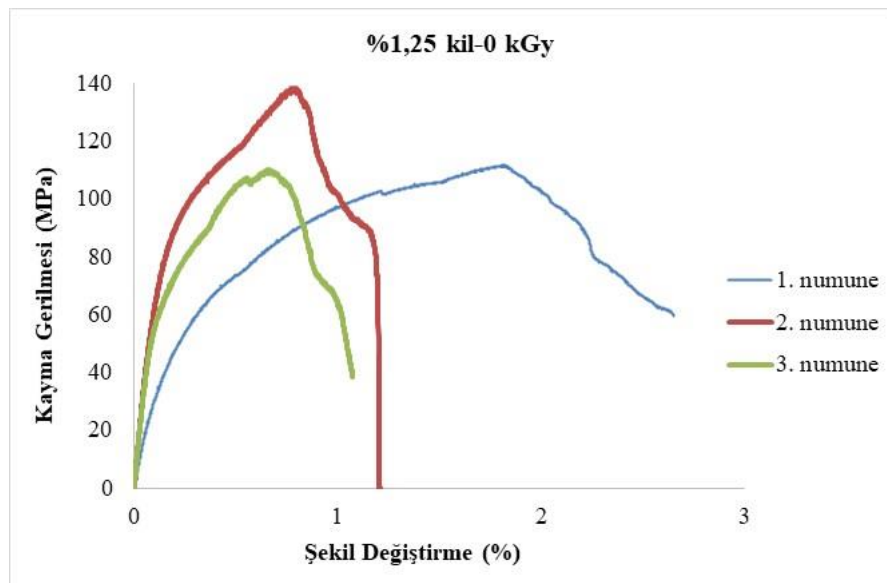
numuneden elde edilmiş olup, 10 kGy ve 20 kGy numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %1.22 ve %4.37 oranlarında daha yüksek elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.14).

Tablo 7.14 %1 Nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları

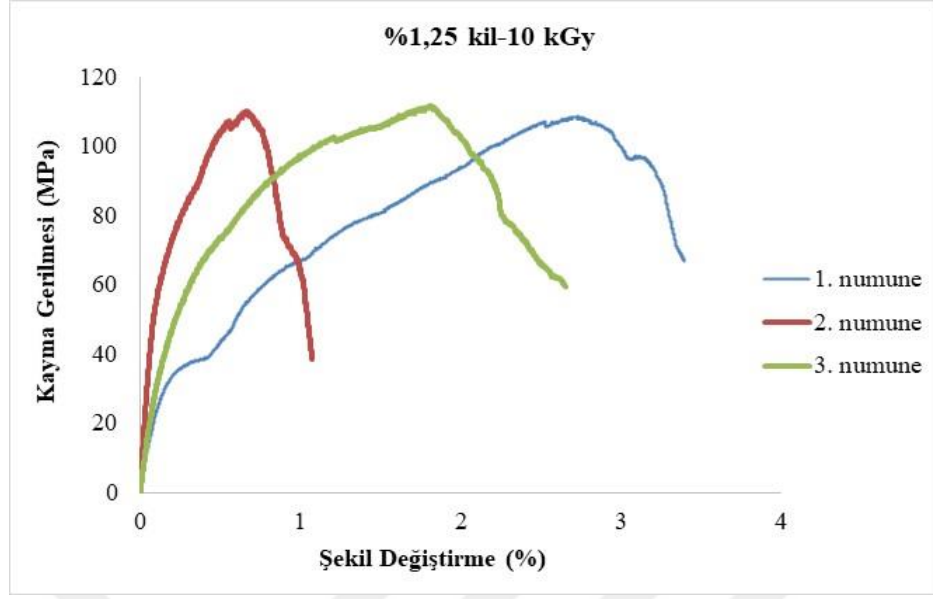
	Gama Dozu	Kayma Gerilmesi (S_{12})- (MPa)	Kayma Modülü (G_{12}) (MPa)
%1 Nanokil	0 kGy	108,725	4002,492
	10 kGy	104,815	3953,682
	20 kGy	98,666	3827,701

7.3.4 %1,25 Nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları

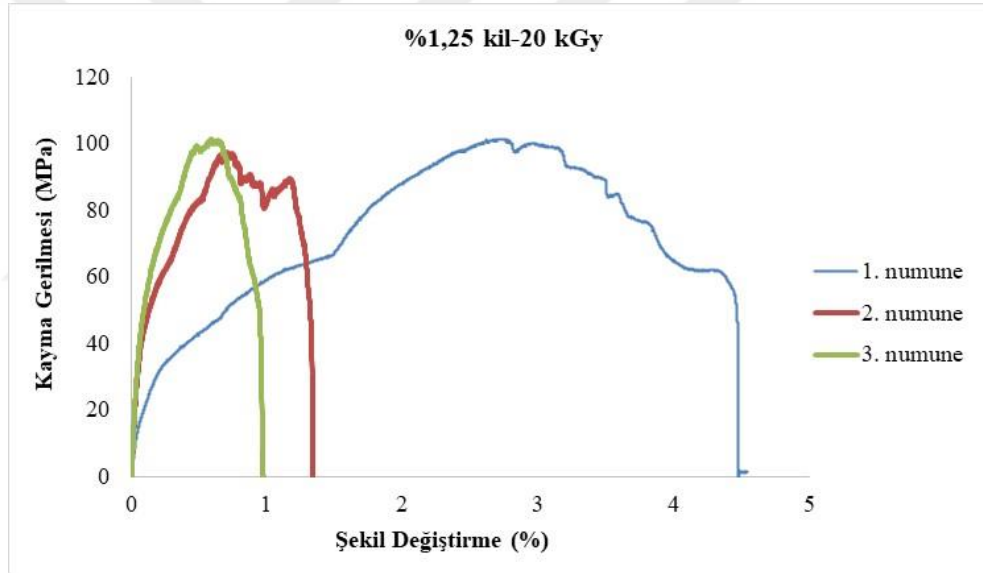
%1.25 Nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numuneler; gama radyasyonuna maruz bırakılmamış (0 kGy) ve maruz bırakılmış (10 kGy ve 20 kGy) numuneler olarak kayma testine tabi tutulmuşlardır. Her numuneden 3 adet test edilmiş olup, %1.25 nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 7.22a, Şekil 7.22b, Şekil 7.22c’de verilmiştir. Ayrıca %1.25 nanokil katkılı numunelerin 10 ve 20 kGy radyasyona maruz kalmaları ile elde edilen ortalama gerilme-şekil değiştirme diyagramları da karşılaştırmalı Şekil 7.23’da verilmiştir.



a)

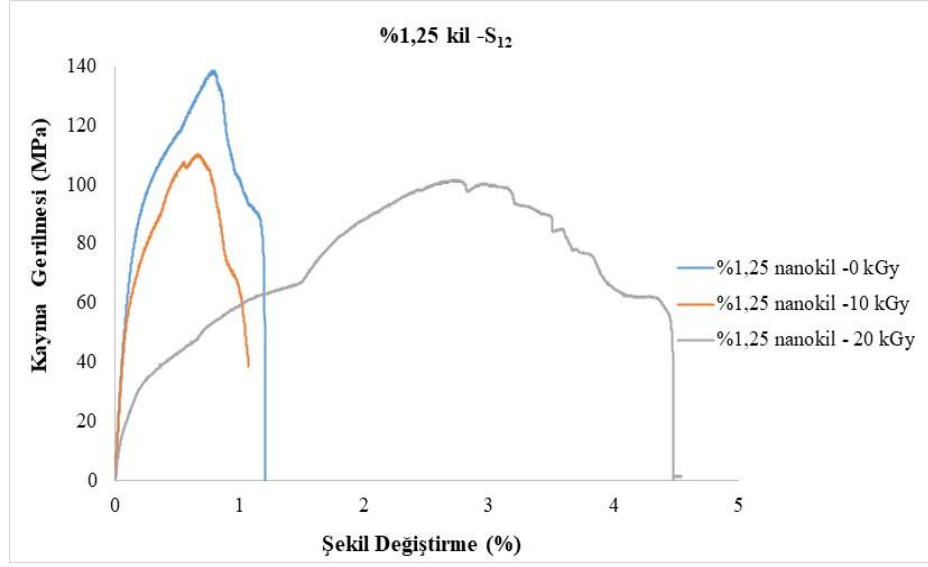


b)



c)

Şekil 7.22 %1 Nanokil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit numunelerden elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri a)0 kGy b)10kGy c)20 kGy



Şekil 7.23 %1.25 Nanokil katkılı numunelerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme – şekil değiştirme grafikleri

Aynı zamanda yapılan üç testin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler Tablo 7.15’de verilmiştir. Strain-gauge bağlantısı ile elde edilen değerlerden de kayma modülleri hesaplanmış ve Tablo 7.15’de verilmiştir.

En yüksek kayma gerilmesi radyasyona maruz bırakılmamış numuneden elde edildiği tespit edilmiştir. Bu değer, 10 kGy ve 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %8.25 ve %16.60 oranlarında daha fazla gerçekleşmiştir. Yine en yüksek kayma modül değeri 0 kGy numuneden elde edilmiş olup, 10 kGy ve 20 kGy numunelerden elde edilen değerlere göre sırasıyla %3.00 ve %6.60 oranlarında daha yüksek elde edilmiştir (Bkz. Tablo 7.15).

Tablo 7.15 %1.25 Nanokil katkılı numunelerin kayma testi sonuçları

	Gama dozu (kGy)	Kayma Gerilmesi (S_{12}) (MPa)	Kayma Modülü (G_{12}) (MPa)
%1.5 Nanokil	0 kGy	120.124	4102.606
	10 kGy	110.213	3979.497
	20 kGy	100.184	3831.863

7.4 Deney Sonuçlarının Toplu Grafikler ile Yorumlanması

Katkısız, (%0,75, %1, %1,25) kil katkılı numunelerin çekme mukavemeti, elastisite modülü, poisson oranları tablo 7.16 verilmiştir.

Tablo 7.16 Çekme testi sonuçları

Numune tipi	Gama dozu	Çekme Mukavemetleri (X_T) (MPa)	Elastisite Modülü (E_{12}) (MPa)	Poisson oranı (ν_{12})
Katkısız	0 kGy	610,730	17100,920	0,127=0,13
	10 kGy	609,110	17074,540	0,132=0,13
	20 kGy	608,869	16893,881	0,132=0,13
%0,75 kil	0 kGy	611,073	17240,401	0,132
	10 kGy	604,467	17119,331	0,13
	20 kGy	601,415	16949,011	0,13
%1 kil	0 kGy	614,441	17776,491	0,147
	10 kGy	611,516	17618,775	0,144
	20 kGy	602,954	17469,017	0,141
%1,25 kil	0 kGy	626,401	18131,647	0,142
	10 kGy	624,720	18113,925	0,140
	20 kGy	618,976	18005,077	0,141

Deney sonuçları Tablo 7.16'deki gibi raporlanmıştır. Bu veriler kullanarak Şekil 7.24'da numunelerin çekme gerilmesi- gama doz sütun grafiği oluşturulmuştur. Bu verilere göre gama radyasyonuna maruz bırakılmayan, katkısız ve ağırlıkça (%0,75, %1, %1,25) oranlarında kil katlı numunelerin kil oranı artıkça çekme gerilmesi artmış olduğu deney sonuçları ile raporlanmıştır (Bkz. Şekil 7.24). En yüksek çekme gerilmesi ağırlıkça %1,25 kil oranları taşıyan numuneler göstermiştir (Bkz. Şekil 7.24).

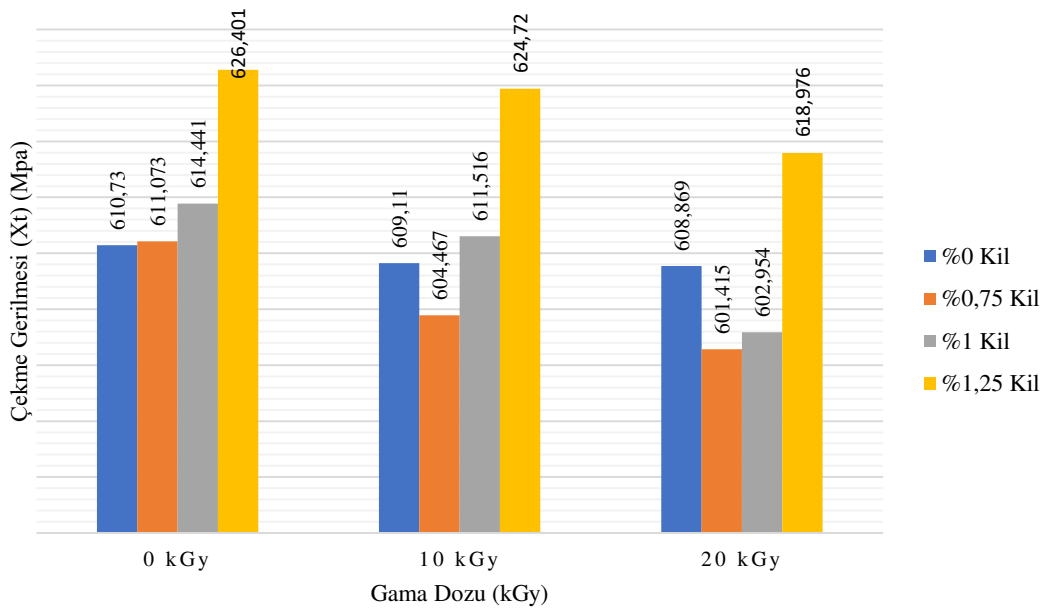
Gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerin çekme gerilmeleri, gama radyasyon dozunun artmasıyla beraber, katkısız ve (%0,75, %1, %1,25) kil katlı numunelerin tümünde çekme gerilmesinin azaldığı tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 7.24).

Gama radyasyona maruz bırakılmayan (0 kGy) numunelerin, çekme gerilmeleri karşılaştırıldığında; %1,25 nano kil katkılı numunelerden elde edilen çekme gerilme

değeri, katkısız (%0) ve (%0,75- %1) kil katkılı numunelerinden elde edilen çekme gerilme değerlerine göre sırasıyla; %2,5, %2,4 ve %1,9 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Tablo 7.24).

10 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerin çekme gerilmeleri karşılaştırıldığından; %1,25 nano kil katkılı numunelerden elde edilen çekme gerilme değeri, katkısız (%0) ve (%0,75 - %1) kil katkılı numunelerinden elde edilen çekme gerilme değerlerine göre sırasıyla; %2,5, %3,2 ve %2,1 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Tablo 7.24).

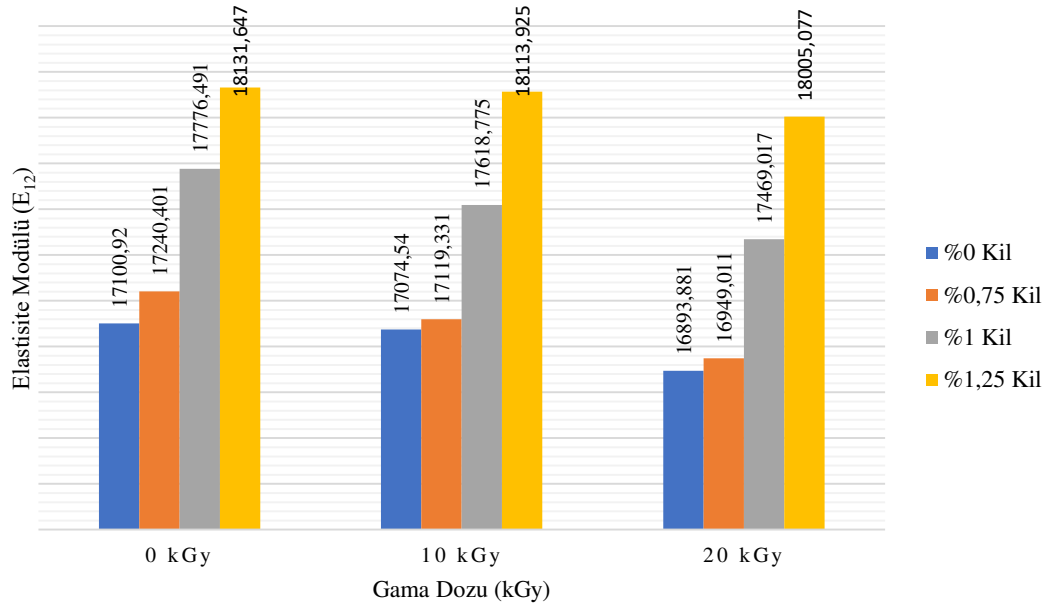
20 kGy gama radyasyona maruz bırakılan numunelerin çekme gerilme değerlerinin karşılaştırılmasında; %1,25 nano kil katkılı numunelerden elde edilen çekme gerilmesi (%0) ve (%0,75 ve %1) kil katkılı numunelerden elde edilen çekme gerilme değerlerine göre sırasıyla; %1,6, %2,8 ve %2,5 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Tablo 7.24).



Şekil 7.24 Gama radyasyonun çekme gerilmesi üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

Gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numunelerin deney sonuçlarında elde edilen elastisite modülü- gama doz sütun grafiği Şekil 7.25’de verilmiştir.

Gama radyasyonuna maruz bırakılmayan, katkısız ve (%0,75, %1, %1,25) kil katkılı numunelerin elastisite modülünün kil oranı artmasıyla beraber artışı görülmüştür (Bkz. Şekil 7.25). Bu numuneler arasında en yüksek elastisite değerini, %1,25 nano kil katkılı numune göstermiştir. Gama radyasyon dozu artıkça bütün numunelerin elastisite modülünde azalma meydana gelmiştir. En fazla elastisite modülü düşüşü %0,75 kil oranındaki numunelerde 20 kGy gama radyasyon dozundan meydana gelmiştir (Bkz. Şekil 7.25). Gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numunelerin elastisite modülünü karşılaştırılmasında; %1,25 nano kil katkılı numunelerden elde edilen elastisite modülü değeri sırasıyla, katkısız (%0) ve (%0,75 ve %1) kil katkılı numunelerinde elde edilen elastisite modüllü değerlerine göre sırasıyla %5,7, %4,9 ve %1,95 oranlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir (Bkz. Şekil 7.25). 10 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numuneler karşılaştırıldığında; %1,25 nano kil katkılı numunelerden elde edilen elastisite modülü değeri katkısız (%0) ve (%0,75 ve %1) kil katkılı numunelerinde elde edilen değerlerine göre sırasıyla %5,7, %5,5 ve %2,7 oranlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir (Bkz. Şekil 7.25). 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numuneler karşılaştırıldığında; %1,25 nano kil katkılı numunelerden elde edilen elastisite modülü değeri %0, %0,75 ve %1 kil katkılı numunelerinde elde edilen değerlerine göre sırasıyla %6,1, %5,8 ve %2,9 oranlarında daha fazla olduğu belirlenmiştir (Bkz. Şekil 7.25). Poisson oranlarını incelediğimizde ise numunelerden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Tablo 7.24).



Şekil 7.25 Gama radyasyonun Elastisite Modülü (E_{12}) üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

Gama radyasyonuna maruz bırakılan katkısız, (%0,75, %1, %1,25) kil katkılı nano kompozit malzemelerin basma test sonuçları Tablo 7.17’de verilmiştir.

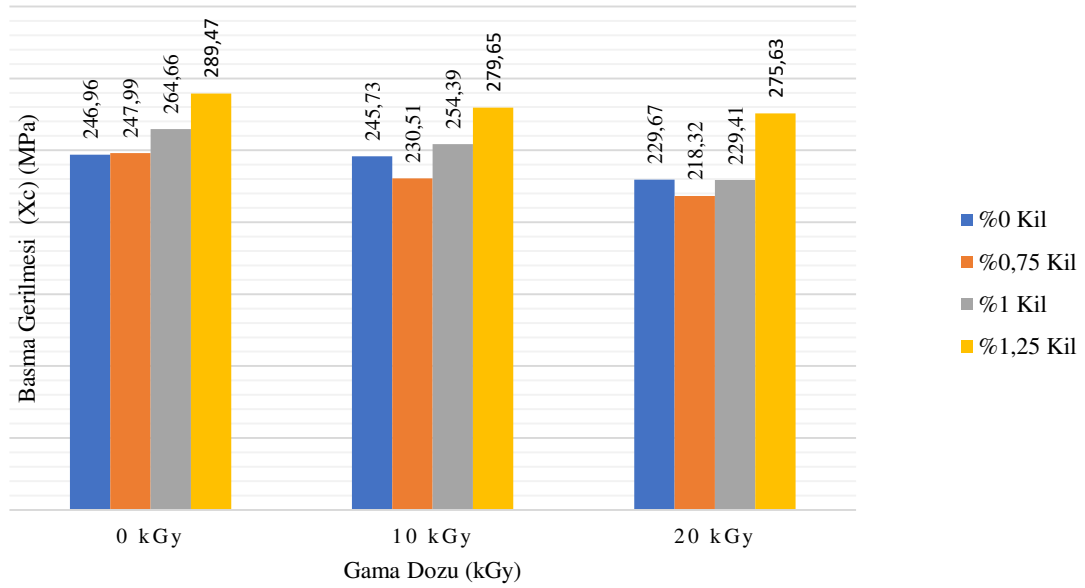
Tablo 7.17 Basma testi sonuçları

Numune tipi	Gama dozu	Basma Gerilmesi (X_c) - (MPa)
Katkısız	0 kGy	246,96
	10 kGy	245,73
	20 kGy	229,67
%0,75 nanokil	0 kGy	247,99
	10 kGy	230,51
	20 kGy	218,32
%1 nanokil	0 kGy	264,66
	10 kGy	254,39
	20 kGy	229,41
%1,25 nanokil	0 kGy	289,47
	10 kGy	279,65
	20 kGy	275,63

Gama radyasyonuna maruz bırakılmayan (0 kGy) numunelerin deney sonuçları karşılaştırıldığında, numunelerin nano kil oranı artıkça basma gerilmesi artığı görülmüştür (Bkz. Şekil 7.26). En yüksek basma gerilme değerini %1,25 kil katkılı

numunede elde edilmiştir. %1,25 kil katkılı numunelerin basma gerilme değeri sırasıyla katkısız (%0) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin basma gerilme değerlerinden %14,69, %14,3 ve %8,57 daha fazla olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 7.26). Gama radyasyon dozu artıkça katkısız ve kil katkılı bütün numunelerin basma gerilme değeri radyasyon doz oranı ile azalmıştır. Bu azalma önem arz eden derecede olmadığı görülmüştür. 10 kGy gama radyasyon dozuna maruz bırakılan numunelerinin basma gerilmesi karşılaştırıldığında, %1,25 kil katkılı numunelerin basma gerilme değeri sırasıyla katkısız (%0) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin basma gerilme değerinden %12,1, %17,57 ve %9 daha fazla olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 7.26).

20 kGy gama radyasyon dozuna maruz bırakılan numunelerinin basma gerilme değeri karşılaştırıldığında, %1,25 kil katkılı numunelerin basma gerilme değeri sırasıyla katkısız (%0) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin basma gerilmesinden %16,68, %20,79 ve %16,76 daha fazla olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 7.26).



Şekil 7.26 Gama radyasyonun basma gerilmesi üzerindeki etkisi

Gama radyasyonuna maruz bırakılan katkısız, (%0,75, %1, %1,25) kil katkılı nano kompozit malzemenin kayma test sonuçları Tablo 7.18’de verilmiştir.

Tablo 7.18 Kayma testi sonuçları

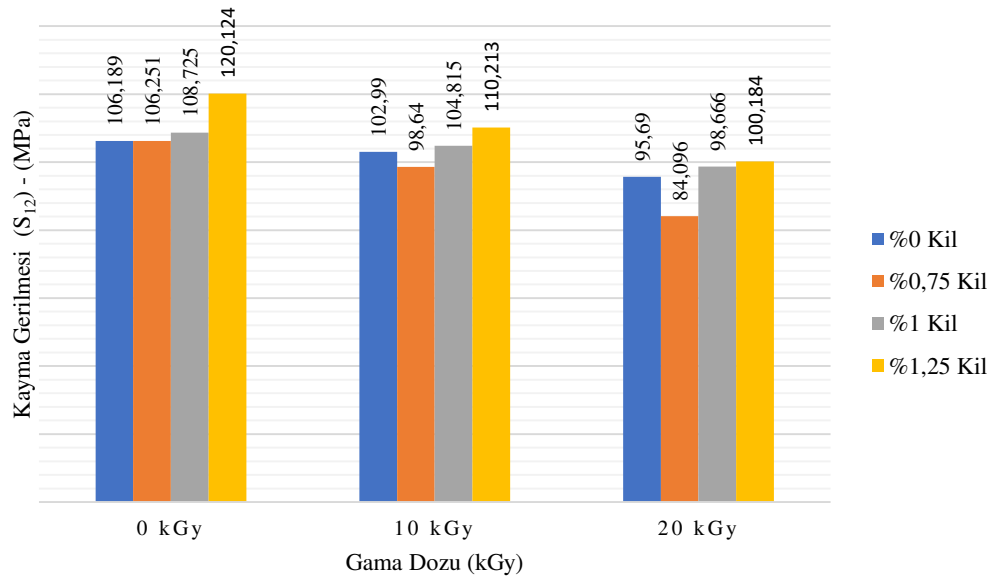
Numune Tipi	Gama Dozu	Kayma Gerilmesi (S_{12}) - (MPa)	Kayma Modülü (G_{12}) - (MPa)
Katkısız	0 kGy	106,189	3088,479
	10 kGy	102,99	2966,148
	20 kGy	95,69	2157,512
%0,75 kil	0 kGy	106,251	3130,466
	10 kGy	98,64	3115,481
	20 kGy	84,096	3068,332
%1 kil	0 kGy	108,725	4002,492
	10 kGy	104,815	3953,682
	20 kGy	98,666	3827,701
%1,25 kil	0 kGy	120,124	4102,606
	10 kGy	110,213	3979,497
	20 kGy	100,184	3831,863

Gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numunelerin kil oranı artıkça kayma mukavemet değeri çok küçük oranlarda artı görülmüştür. En büyük kayma mukavemet değeri % 1,25 nano kil oranı taşıyan numunelerden görülmüştür (Bkz. Şekil 7.27). %1,25 kil katkılı numunelerin kayma mukavemet değeri, katkısız (%0 kil) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin kayma mukavemet değerlerine göre sırasıyla %11,6, %11,54 ve %9,49 daha fazla olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 7.27).

Gama radyasyon dozu artıkça bütün numunelerin kayma mukavemet değerinin azaldığı görülmüştür (Bkz. Şekil 7.27).

10 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerin kayma mukavemet değeri, katkısız (%0 kil) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin kayma mukavemet değerine göre sırasıyla %6,5, %10,5 ve %4,89 daha fazla olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 7.27).

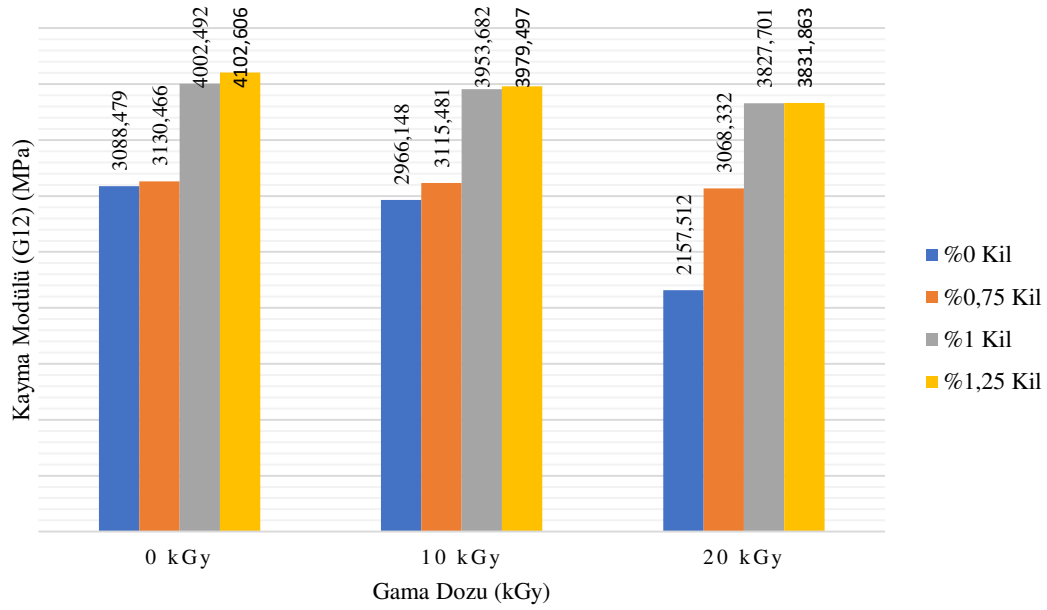
20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerin kayma mukavemet değeri, katkısız (%0 kil) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin kayma mukavemet değerine göre sırasıyla %4,48, %16 ve %1,5 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 7.27).



Şekil 7.27 Gama radyasyonun kayma gerilmesi üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

Gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numunelerin kayma modülü değerleri, nano kil oranı arttıkça numunelerin kayma modülü değerlerinin artmış olduğu görülmüştür. %1,25 kil katkılı numunelerin kayma modül değeri, katkısız (%0 kil) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin kayma modül değerine göre sırasıyla %,24,7, %,23,69 ve %,2,4 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 7.28).

10 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerin kayma modül değeri, katkısız (%0 kil) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin kayma modül değerine göre sırasıyla %,25,46, %,21,7 ve %,3,81 daha fazla olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 7.28). 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerin kayma modül değeri, katkısız (%0 kil) ve (%0,75, %1) kil katkılı numunelerin kayma modül değerine göre sırasıyla %,43,7, %,19,9 ve %,1,1 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 7.28). Gama radyasyonuna maruz bırakılan bütün numunelerin kayma modülü değeri azaltmıştır. Fakat kayma modülü değeri en çok azalan 20 kGy gama dozundan katkısız numune olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 7.28).



Şekil 7.28 Gama radyasyonun kayma modülü üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

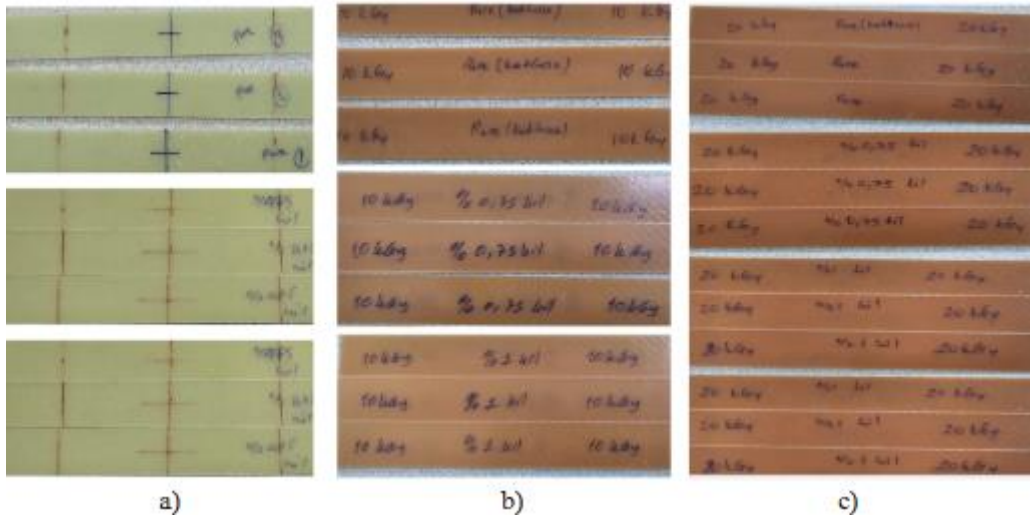
Önceki çalışmalardan; Bayram (2022), kil oranlarıyla çekme mukavemetinin değişiminden bahsetmişlerdir. Wu ve arkadaşları (2013), da kayma mukavemet değerlerinden bahsetmişlerdir.

Bayram (2022), bu çalışmada nanokil katkılı numunelerinin; çekme mukavemet, elastisite modülü, basma mukavemeti, kayma mukavemeti, kayma modülü değerlerinin katkısız numune değerlerine göre arttığını belirtmişlerdir. Fakat bu artışın nanokil oranının artması ile aynı doğrultuda gerçekleşmediğini belirtmişlerdir. En yüksek çekme mukavemet değerinin %1 nanokil katkılı numune de elde etiklerini belirtmişlerdir. %1,5 nanokil katkılı numunelerin çekme mukavemet değerlerinin, %1 nanokil katkılı numunenin çekme mukavemet değerlerinden %7,11 oranında daha düşük olduğunu da belirtmişlerdir. Bu çalışmamızda ise en yüksek kil oranımız %1,25 olup, kil oranı arttıkça numunelerin çekme, basma, kayma mukavemetleri, elastisite ve kayma modüllerinin arttığı elde edilmiştir. Dolayısıyla literatürle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Wu vd., (2013), cam elyaf takviyeli epoksi numunelerini 1 MGy, 5 MGy, 10 MGy dozlarında gama radyasyonuna maruz bırakmışlardır. Gama radyasyonuna maruz bırakılmayan ve maruz bırakılan numunelerin kayma dayanımlarını test etmişlerdir.

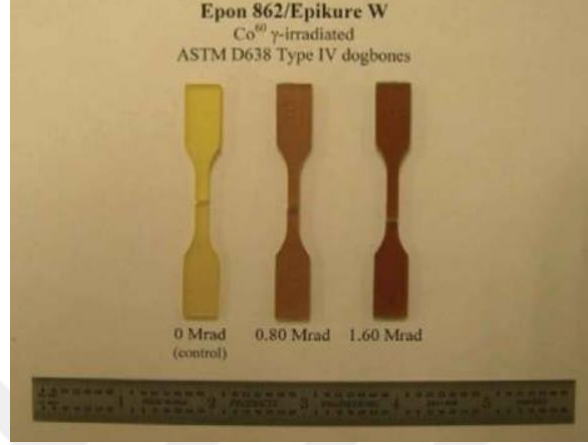
Kayma dayanım değeri en yüksek gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numunede elde etiklerini belirtmişlerdir. 5 MGy'den küçük radyasyon dozlarından kayma dayanımından önemli ölçüde azalma olmadığını belirtmişlerdir. Ancak, kayma dayanım değerinin 10 MGy ışınlama dozundan sonra yaklaşık %58 oranında azalmış olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmamızda ise kullanmış olduğumuz gama radyasyon dozları 10 ve 20 kGy' dir. Elde ettiğimiz sonuçlarda özellikle katkısız numunelerde 10 kGy dozlarında etkilenmenin çok (%0,78) fazla olmadığı, 20 kGy dozunda daha belirgin düşüş olduğu elde edilmiştir. Dolayısıyla bu düşüşün gama ışınlamasının epoksi matrisin çapraz bağlanmasına ve zincir kopmasına neden olduğu sonucuna varılmıştır (Wu vd., 2013).

Gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerden renk değişimi olduğu gözlemlenmiştir. Renk değişimi gama doz miktarı arttıkça dahada koyulaşmanın artmış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca kil oranı arttıkça koyulaşma artmış olduğu gözlenmiştir. Örneğin 20 kGy gama radyasyonuna maruz kalan numuneler 10 kGy gama radyasyonuna maruz kalanlardan daha koyu bir renk almıştır (Bkz. Şekil 7.29a, Şekil 7.29b ve Şekil 7.29c'ye). Yine kil oranı %1,25 olan numuneler daha koyu bir renk almışlardır.



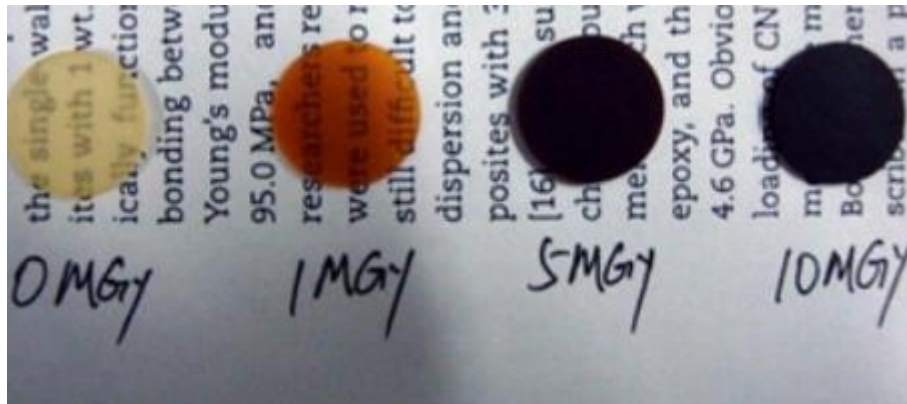
Şekil 7.29 Gama radyasyonuna bırakılan numuneler a) gama radyasyona maruz bırakılmayan numuneler b) 9, 99 kGy (yaklaşık 10 kGy) gama radyasyonuna c) 19,7 kGy (yaklaşık 20 kGy) gama radyasyonuna maruz bırakılan numuneler

Önceki çalışmalardan; Abd El-Hameed vd., (2022) ile Wu vd., (2013), renk değişiminden bahsetmişlerdir. Abd El-Hameed vd., (2022). Numunelerdeki renk koyulaşma seviyesinin maruz kalma süresiyle ve doz miktarıyla arttığını Şekil 7.30'daki resimdeki gibi belirtmişlerdir.



Şekil 7.30 Numunelerin gama dozlarıyla ışınlamasından sonra Epon 862/W. (Abd El-Hameed vd., 2022).

Wu vd., (2013), ışınlanmamış numunelerin açık sarı ve şeffaf olduğunu belirtmişlerdir. 1 MGy'lık gama radyasyon dozuna maruz bırakılan numunelerden, açık sarıdan kahverengiye doğru renk değişimi olgunu ve yarı saydam hale geldiğini belirtmişlerdir. Daha büyük dozlardan gözle görülür koyu kırmızı bir renk aldığı ve opak hale geldiğini belirtmişlerdir. Gama dozu arttıkça, malzemeden renk değişimi meydana geldiğini belirtmişlerdir (Bkz. Şekil 7.30).



Şekil 7.31 Epoksi reçinelerin ışınlamadan önce ve sonraki renk görünümleri (Wu vd., 2013)

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada katkısız ve nano kil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit levhaların mekanik özellikleri üzerinde gama radyasyonunun etkisi araştırılmıştır. Nano kil oranları ağırlıkça %0,75, %1 ve %1,25 olarak alınmıştır. Katkısız ve nano kil katkılı cam fiber takviyeli epoksi kompozit levhalar 8 tabakalı olarak, elle yatırma yöntemi ile üretilmiştir. Katkısız ve nano kil katkılı kompozit levhaların radyasyon etkisini belirlemek için 9,99 kGy (yaklaşık olarak 10kGy) ve 19,97 kGy (yaklaşık 20kGy) dozlarında gama radyasyonuna maruz bırakılmışlardır. Daha sonra numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için mekanik deneylere tabi tutulmuşlardır. Yapılan deneysel çalışmada, numunelerin radyasyona maruz kalmadan ve gama radyasyonuna maruz kaldıktan sonra mekanik özellikleri elde edilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Çalışmada numunelerin çekme gerilmeleri, basma gerilmeleri, kayma gerilmeleri, elastisite modülleri, kayma modülleri ve poisson oranları elde edilmiştir.

Bu çalışmada yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Nano kil oranı arttığı zaman, numunelerin mekanik özelliklerin iyileştiği tespit edilmiştir.
- Nano kil katılan numunelerde çekme gerilmesi, basma gerilmesi, kayma gerilmesi, elastisite modülleri, kayma modülleri ve poisson oranları artmıştır. En yüksek değerler epoksiye ağırlıkça %1,25 oranında nano kil katılan numunelerden elde edilmiştir.
- Gama radyasyonuna maruz bırakılan bütün numunelerin çekme gerilmesinde önemli derecede bir azalış olmamıştır. 10 kGy dozuna maruz bırakılan katkısız numunelerden elde edilen çekme gerilmesi, 0 kGy katkısız numuneden elde edilen değere göre % 0,27 oranında düşük elde edilmiştir. 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan katkısız numunelerden elde edilen çekme gerilme değeri, 10 kGy katkısız numuneden elde edilen değere göre %0,04 oranında düşük elde edilmiştir.
- %1.25 nano kil katkılı numunelerin, 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakıldığında elde edilen çekme gerilmesi değerinin, 10 kGy gama dozuna maruz bırakıldığında elde edilen değere %0,93 oranında düşük elde edilmiştir.

10 kGy gama dozuna maruz bırakılan numunenin, gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numuneden elde edilen değere göre % 0,27 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

- Gama radyasyonuna maruz bırakılan numunelerde elastisite modülünün azaldığı tespit edilmiştir. Ancak bu azalışın büyük oranlarda olmadığı tespit edilmiştir. 10 kGy gama radyasyon dozuna maruz bırakılan katkısız numunelerden elde edilen değerin, 0 kGy katkısız numuneden elde edilen değere göre %0,15 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakılan katkısız numunelerden elde edilen elastisite modül değerinin, 10 kGy katkısız numuneden elde edilen değere göre ise %1,07 oranında düşük elde edilmiştir.
- %1.25 nano kil katkılı numunelerin, 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakıldığında elde edilen elastisite modül değerinin, 10 kGy gama dozuna maruz bırakıldığında elde edilen değere % 0,60 oranında düşük elde edilmiştir. 10 kGy gama dozuna maruz bırakılan numunenin, gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numuneden elde edilen değere göre % 0,09 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Gama radyasyonu doz miktarının poisson oranlarını etkilemediği tespit edilmiştir.
- Gama radyasyon doz miktarı artıkça numunelerin basma gerilmesinin azaldığı tespit edilmiştir. Ancak bu azalışın önemli bir oranda olmadığı tespit edilmiştir. En yüksek oran olan %1.25 nanokil katkılı numunelerin 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakıldıklarında elde edilen basma gerilmesinin, 10 kGy gama radyasyonuna maruz kalan numuneden elde edilen değere göre %1,46 oranında azalış tespit edilmiştir. 10 kGy gama radyasyonuna maruz kalan numuneden elde edilen basma gerilmesi değerinin, gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numuneden elde edilen değere göre % 3,51 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Gama radyasyon doz miktarı artıkça numunelerin kayma gerilmesi ve kayma modülünün düştüğü tespit edilmiştir. En yüksek oran olan %1.25 nanokil katkılı numunelerin 20 kGy gama radyasyonuna maruz bırakıldıklarında elde edilen kayma gerilmesi ve kayma modül değerinin, 10 kGy gama radyasyonuna maruz kalan numuneden elde edilen kayma gerilmesi ve kayma

modül değerlerine göre sırasıyla %10,01 ve %3,85 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. 10 kGy gama radyasyonuna maruz kalan numuneden elde edilen kayma gerilmesi ve kayma modül değerlerinin, gama radyasyonuna maruz bırakılmayan numuneden elde edilen kayma gerilmesi ve kayma modül değerlerine göre sırasıyla %8,99 ve %3,09 oranlarında daha düşük elde edilmiştir.

- Bu alışma daha yüksek gama radyasyon doz miktarlarının uygulanmasıyla geliştirilebilir.

Bu çalışmanın sonuçlarının özellikle uzay, havacılık alanlarında, radyasyona maruz kalan kompozit ve nanokompozit malzemelerin kullanımına katkı sağlayacağı ve literatüre kaynak oluşturacağı inancındayız.

KAYNAKLAR

- A. Abu Saleem, R., Abdelal, N., Alsabbagh, A., Al-Jarrah, M., & Al-Jawarneh, F. (2021). Radiation shielding of fiber reinforced polymer composites incorporating lead nanoparticles—an empirical approach. *Polymers*, 13(21), 3699.
- Abbasova, N., Yüksel, Z., Abbasov, E., Gülbiçim, H., & Tufan, M. Ç. (2019). Investigation of gamma-ray attenuation parameters of some materials used in dental applications. *Results in Physics*, 12, 2202-2205.
- Abd El-Hameed, A. M. (2022). Radiation effects on composite materials used in space systems: A review. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 11(1), 313-324.
- Abd El-Rehim, H., Kamal, H., Hegazy, E. S. A., Soliman, E. S., & Sayed, A. (2018). Use of gamma rays to improve the mechanical and barrier properties of biodegradable cellulose acetate nanocomposite films. *Radiation Physics and Chemistry*, 153, 180-187).
- Abdel-Aziz, M. M., Amer, H. A., Atia, M. K., & Rabie, A. M. (2017). Effect of gamma radiation on the physicomechanical characters of EPDM rubber/modified additives nanocomposites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 23, E188-E200).
- Abdo, A.R.A. (2017). Impact Behavior of Nano-clay and Nano-SiO₂ Filled Epoxy Matrix Based Fiber Reinforced Composite Laminates. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Adeiza Stephen, A., Olarinoye, O. I., Kolo, M., & Kasim, I. (2024). Assessment of Environmental Background Gamma Radiation Variation in Minna Area of Nigeria. *Environmental Forensics*, 25(5), 275-286.
- AFAD. (2024). Radyasyon nedir?. <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-nedir> (Erişim: 30.09.2024).
- Afify, A., Ali, H. M., & Sayed, R. M. (2024). Estimating the Impact of Gamma Radiation on Biochemical Aspects and DNA Damage by Comet Assay in *Galleria mellonella* Male. *Entomological News*, 131(1), 30-42.
- Ahmadi, S. J., Huang, Y. D., Ren, N., Mohaddespour, A., & Ahmadi-Brooghani, S. Y. (2009). The comparison of EPDM/clay nanocomposites and conventional composites in exposure of gamma irradiation. *Composites Science and Technology*, 69 (7-8), 997-1003.)
- Ahmed, M. S., Haque, M. M., Khan, R. A., & Miah, M. A. H. (2024). A Review on Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites: Effect of Gamma Radiation and Nano particles. *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, 9(1), 15-29.
- Albano, C., Perera, R. P., and Silva, P. (2010). Effects of Gamma Radiation in Polymer Blends, in composites with micro and nano fillers and in functionalized polyolefins. *Rev. Latin Am. Metal Mater.* 30.

- Alothman, O. Y., Fouad, H., Al-Zahrani, S. M., Eshra, A., Al Rez, M. F., & Ansari, S. G. (2014). Thermal, creep-recovery and viscoelastic behavior of high density polyethylene/hydroxyapatite nano particles for bone substitutes: effects of gamma radiation. *Biomedical engineering online*, 13, 1-15.
- Asçıoğlu, B. Adanur, S., (2003), Nano Engineered Fire Resistant Composite Fibers. Auburn University Annual Research Forum, Auburn.
- Ashfaq, A., Clochard, M.-C., Coqueret, X., Dispenza, C., Driscoll, M. S., Ulański, P., et al. (2020). Polymerization Reactions and Modifications of Polymers by Ionizing Radiation. *Polymers* 12, 2877. doi:10.3390/polym12122877
- Attallah, M. F., Abdelbary, H. M., Elsofany, E. A., Mohamed, Y. T., & Abo-Aly, M. M. (2020). Radiation safety and environmental impact assessment of sludge
- Attia, M. K. (2020). Improving thermal stability and electrical insulation of gamma-irradiated silicone rubber nanocomposites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 26(3), 354-361.
- Bayram, D. (2022) *Nanokil Katkılı Tabakalı Kompozit Levhaların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi Duygu Bayram* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bekhit, M., El-Sabbagh, S. H., Mohamed, R. M., El-Sayyad, G. S., & Sokary, R. (2021). Mechanical, thermal and antimicrobial properties of LLDPE/EVA/MMT/Ag nanocomposites films synthesized by gamma irradiation. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 1-15.
- Biswal, M., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2009). Influence of organically modified nanoclay on the performance of pineapple leaf fiber-reinforced polypropylene nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 114(6), 4091-4103.
- Büyük, B., & Tuğrul, A. B. (2014). An investigation on gamma attenuation behaviour of titanium diboride reinforced boron carbide–silicon carbide composites. *Radiation physics and Chemistry*, 97, 354-359
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2015). *Materials science and engineering* (K. Genel, Ed.). Wiley.
- Cao, D., Yang, G., Bourham, M., & Moneghan, D. (2020). Gamma radiation shielding properties of poly (methyl methacrylate)/Bi₂O₃ composites. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(11), 2613-2619.
- Dadbin, S., & Naimian, F. (2014). Gamma radiation induced property modification of poly (lactic acid)/hydroxyapatite bio-nanocomposites. *Polymer International*, 63(6), 1063-1069.
- Demir, Mustafa (2013). Radyasyon Güvenliği ve Radyasyondan Korunma. İstanbul: Yazın Basın Yayın.
- Doğan, K. (2018). Karbon Nano Tüp ve Grafen Nano Partikül Katkılı Fenolik Reçine Matrisli Nanokompozitlerin Üretimi (Master's thesis, Necmettin Erbakan University (Turkey)).

- El-ashhab, F., Sheha, L., Abdalkhalek, M., and Khalaf, H. A. (2013). The Influence of Gamma Irradiation on the Intrinsic Properties of Cellulose Acetate Polymers. *J. Assoc. Arab Universities Basic Appl. Sci.* 14, 46–50. doi:10.1016/j.jaubas.2012.12.001
- El-kattan, W. A. E., Ezz-eldin, M. R., A Said, E. S. S., & Othman, E. S. A. E. A. (2019). A reduced gamma radiation effects on the electrical insulating cables using XLPE/clay nanocomposites. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 14(53), 1392-1402.
- El-Nemr, K. F., Ali, M. A., El-Sayed, S. N., & Zahran, M. K. (2018). Physical and chemical properties of gamma-irradiated styrene–butadiene rubber/vermiculite clay nanocomposites modified using maleic anhydride. *Polymer Bulletin*, 75, 3587-3606.
- Elshereafy, E., El-Zayat, M. M., Shaltout, N. A., Zeid, M. M. A., & El-Miligy, A. A. (2016). Effect of gamma radiation on the properties of ethylene propylene diene monomer/styrene butadiene rubber/waste polyethylene/clay nanocomposites. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 307, 1325-1333.
- Erciyeş, O. (2022) Korozi Ortamın, Grafen Katkılı Bazalt-Cam Hibrit/Epoksi Nanokompozit Kolonların Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi).
- Erdem, N., Erdoğan, Ü. H., & Akşit, A. (2008). Nano-kompozit polipropilen filamentlerin üretimi ve özellikleri. *Tekstil*, 3, 4.
- ErizalAbbas, E., Abbas, B., Sukaryo, S. G., and Barleany, D. R. (2015). Synthesis and Characterization Superabsorbent Hydrogels of Partially Neutralized Acrylic Acid Prepared Using Gamma Irradiation; Swelling and Thermal Behavior. *Indones. J. Chem.* 15, 281–287. doi:10.22146/ijc.21197
- Gültekin, B (2023) research and development of abs filament's capability for gamma and neutron radiation shielding. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop.
- Hameed, A. A. Z., Al-Ani, M. S., & Khalaf, R. H. (2022). Study the Effects of Gamma Radiation on Nano Composite Material (Nano MgO): Image Analysis. *NeuroQuantology*, 20(4), 578.
- Hassan, M. M. (2015). Synergistic effect of montmorillonite–clay and gamma irradiation on the characterizations of waste polyamide copolymer and reclaimed rubber powder nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 79, 28-34.
- Hegazi, E. M., Elsharkawy, E. R., & Abd El-megeed, A. A. (2018). Effect of Gamma Radiation on the Characterization of HDPE/Nanoclay Composites. *Int. J. Adv. Sci. Tech. Res.*, 2.)
- Inoue, K., Fukushi, M., Van Le, T., Tsuruoka, H., Kasahara, S., & Nimelan, V. (2020). Distribution of gamma radiation dose rate related with natural radionuclides in all of Vietnam and radiological risk assessment of the built-up environment. *Scientific reports*, 10(1), 12428.

- İbrahim, S. M. (2011). Characterization, mechanical, and thermal properties of gamma irradiated starch films reinforced with mineral clay. *Journal of Applied Polymer Science*, 119(2), 685-692.
- Kalyon, M (2019). Radyasyon içeren birimlerin zırhlanmasında kullanılan farklı tipteki betonların radyasyon güvenliği ile iş sağlığı ve güvenliği açısından incelenmesi. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Üsküdar üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaplan, A. N., & Özel, C. (2021). Perlit ve Pomza Agregalı Polimer Betonların Radyasyon Zırhlama Performanslarının Araştırılması. *Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science*, 16(1), 287-300.
- Kavitha, C. M., Eshwarappa, K. M., Shetty, S. J., Gurumurthy, S. C., Surabhi, S., Niranjana Prabhu, T., & Morales, D. V. (2024). Modification of thermal and electrical characteristics of hybrid polymer nanocomposites through gamma irradiation for advanced applications. *Discover Nano*, 19(1), 34.
- Kaya, A. İ. (2016) Kompozit Malzemeler ve Özellikleri
- Kiani, M. A., Ahmadi, S. J., Outokesh, M., Adeli, R., & Kiani, H. (2019). Study on physico-mechanical and gamma-ray shielding characteristics of new ternary nanocomposites. *Applied Radiation and Isotopes*, 143, 141-148.
- Kim, K. Y., Im, D. S., Choi, J. H., & Lee, K. Y. (2010, October). Degradation properties of the epoxy nanocomposite caused by a gamma-ray irradiation. In 2010 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (pp. 1-3). IEEE.
- Mahmood, M. H. M. (2017). Tensile and Flexural Behavior of Nanoclay Filled Epoxy Matrix Based Fiber Reinforced Composite Laminates. (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- More, C. V., Alsayed, Z., Badawi, M. S., Thabet, A. A., & Pawar, P. P. (2021). Polymeric composite materials for radiation shielding: a review. *Environmental chemistry letters*, 19, 2057-2090.
- Mou'ad, A. T., Sarairoh, S. A., Chen, R. S., Ahmad, S. H., Al-Tarawni, M. A., & Yu, L. J. (2021). Gamma irradiation influence on mechanical, thermal and conductivity properties of hybrid carbon nanotubes/montmorillonite nanocomposites. *Radiation Physics and Chemistry*, 179, 109168.
- Naikwadi, A. T., Sharma, B. K., Bhatt, K. D., & Mahanwar, P. A. (2022). Gamma radiation processed polymeric materials for high performance applications: a review. *Frontiers in Chemistry*, 10, 837111.
- Naikwadi, A. T., Sharma, B. K., Bhatt, K. D., & Mahanwar, P. A. (2022). Gamma radiation processed polymeric materials for high performance applications: a review. *Frontiers in Chemistry*, 10, 837111.
- Nazlı Mehmet Ali, Karaçetin Didem ve Yılmaz Burçak (2021). Radyasyon Güvenliği El Kitabı, İstanbul: Selen Yayıncılık.
- Negm, H. H., Allam, E. A., Nabil, I. M., Abdeltwab, E., Mostafa, M., & El-Taher, A. (2024). Exploring the potential of attapulgite clay composites containing intercalated nano-cadmium oxide and nano-nickel oxide for efficient radiation shielding applications. *Radiation Physics and Chemistry*, 225, 112149.

- Niang, B., Ndiaye, D., Khol, M., Babacar, L., Diallo, A., & Badji, A. (2017). Gamma radiation induced HDPE/wood composite: studies of morphological, mechanical and thermal properties of the composites. *Chem Sci Int J*, 20, 1-12.
- Qian G., Lan, T. (2003), Polypropylene Nanocomposite, Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, ed: Harutun, G. K., Marcel Dekker, New York, Basel, Chapter 20.
- Sallem, F. H., Sayyed, M. I., Aloraini, D. A., Almuqrin, A. H., & Mahmoud, K. A. (2022). Characterization and gamma-ray shielding performance of calcinated and ball-milled calcinated bentonite clay nanoparticles. *Crystals*, 12(8), 1178.
- Sathishkumar, T. P., Satheeskumar, S., & Naveen, J. (2014). Glass fiber-reinforced polymer composites—a review. *Journal of reinforced plastics and composites*, 33(13), 1258-1275.
- Shahdan, D., Chen, R. S., Zailan, F. D., Sabtu, M., & Ahmad, S. (2024). γ -radiation for improved reinforcement effect of single and hybrid nano-clay and cellulose nanofiber in thermoplastic natural rubber nanocomposite. *Radiation Physics and Chemistry*, 218, 111550.
- Sobczak, J., & Żyła, G. (2024). Nano and microcomposites as gamma and X-ray ionizing radiation shielding materials—A review. *Energy*, 130210.
- Sürücü, A. M., & Subaşı, S. (2021). Nano materyallerin kompozit malzemelerin radyasyon zırhlama özelliklerine etkisinin incelenmesi. *El-Cezeri*, 8(1), 182-194.
- Şahin, Y. “Kompozit Malzemelere Giriş”, Gazi Kitapevi, Ankara, 1, 8, 40, 87, (2009).
- Tamada, M., and Maekawa, Y. (2010). Radiation Processing of Polymers and its Applications. *Charg. Part. Phot. Interact. Matter Recent Adv. Appl. Inter.*, 737–759. doi:10.1201/b1038910.1201/b10389-28.
- Topçu, İ. B., Hocaoglu, İ., & Adıl, F. M. A. (2023). Ağır Betonlardaki Güncel Gelişmelere Genel Bir Bakış. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 14(2), 385-399.
- Üzümcü, N. (2017). *Nano karbon partikül ile güçlendirilmiş kompozit levha üretimi ve darbe davranışının incelenmesi* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Wasfy, S. A., Hegazi, E. M., Abd El-megeed, A. A., Mahmoud, T. S., & El-Kady, E. Y. (2018). Effect of Nanoclay on EPDM Composites under Gamma Irradiation. *Arab. J. Nucl. Sci. Appl*, 51, 168-176.
- Wu, Z. X., Li, J. W., Huang, C. J., Huang, R. J., & Li, L. F. (2013). Effect of gamma irradiation on the mechanical behavior, thermal properties and structure of epoxy/glass-fiber composite. *Journal of nuclear materials*, 441(1-3), 67-72.
- Younes, M. M., Abdel-Rahman, H. A., & Hamed, E. (2019). Effect of Gamma-Irradiation on Properties of Polymer/Fibrous/Nanomaterials Particleboard Composites. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 41(6).
- Yudar, S. (2023). Uçak Motorlarında Süperalaşım Yeri Kullarılabilecek Olan Kompozit Malzemelerin İncelenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(3), 585-595.

Zaidi, L., Bruzaud, S., Kaci, M., Bourmaud, A., Gautier, N., & Grohens, Y. (2013). The effects of gamma irradiation on the morphology and properties of polylactide/Cloisite 30B nanocomposites. *Polymer degradation and stability*, 98(1), 348-355.)





EKLER

Ek 1: Işınlama Sertifikası



T.C.
TÜRKİYE ENERJİ, NÜKLEER VE MADEN ARAŞTIRMA KURUMU
Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü

Sayı : E-53535417-315.99-126909

23.10.2024

Konu : Diğer

Sayın Emine ERBİLGİN

İlgi : Emine ERBİLGİN'in 03.10.2024 tarihli başvurusu.

İlgi yazı ile Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü, Gama Işınlama Tesisine gönderilen ürünleriniz talep edilen dozda ışınlanmıştır. Işınlama işlemi ile ilgili "Işınlama Sertifikası" ekte sunulmuştur.

Bilgilerini rica ederim.

Arife Seda BÖLÜKDEMİR
Başkan a.
Koordinatör

Ek: D037-24

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: 54ECBD96-0354-4726-A3BD-2F89FFFC5CBC Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/enerji-ebys>
Saray Mahallesi Atom Caddesi No:27,06980 Kahramankazan/ANKARA Bilgi için: Mehmet Doğan
KEP Adresi : tenmak@hs01.kep.tr TARAKLI
Fizikçi



Ek 1: (devamı)

TENMAK
NÜKEN

**TÜRKİYE ENERJİ, NÜKLEER VE
MADEN ARAŞTIRMA KURUMU**
*Turkish Energy, Nuclear and Mineral Research
Agency*
**NÜKLEER ENERJİ ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ**
Nuclear Energy Research Institute



GAMA IŞINLAMA TESİSİ

Gama Irradiation Facility

Saray Mah. Atom Cad. No:27 06980 Kahramankazan/ANKARA Tel: +90 312 8101500
Faks: +90 312 8154308 www.tenmak.gov.tr, nkb@tenmak.gov.tr

IŞINLAMA SERTİFİKASI
Irradiation Certificate

- * Nükleer Düzenleme Kurumu Lisans No (*Nuclear Regulatory Authority Licence*): 26309-002-KB-1
- * İl Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü İşletme Kayıt Belgesi No (*Ankara Directorate of Provincial Food Agriculture and Livestock Licence No*): TR-06-K-024095
- * Türk Standartları Enstitüsü TS EN ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sistemi Belge No (*Turkish Standards Institution TS EN ISO 9001:2015 Quality Management System Certificate No*): KY-6885/14-R15

Tarih (Date) : 22.10.2024

Sertifika No. (Certificate No.) : D037-24

Bu sertifika, aşağıdaki ürünün/ürünlerin, ilgili yönetmelik ve standartlara uygun olarak Co-60

gama ışınlarıyla, belirtilen dozda ışınladığı belgelendirir.

This document certifies that the product/products, given below has/have been treated by Co-60 gamma rays

with the dose indicated in accordance with the relevant regulations and standard

MÜŞTERİ (Client): EMİNE ERBİLGİN		
<u>İşinlanan Ürün (Irradiated Product)</u>	<u>Miktar (Quantity)</u>	<u>Lot No (Lot Number)</u>
Nanokompozit örnek	2 adet	
1. Örnek: Talep edilen doz: 10 kGy	İşinlama dozu: 9,9 kGy	
2. Örnek: Talep edilen doz: 20 kGy	İşinlama dozu: 19,7 kGy	
İşinlama kaynağı: Co-60 İşinlama doz hızı: 1,27 kGy/saat		
<u>İşinlama tarihi (Irradiation date)</u>	<u>İşinlama işlem numarası (Irradiation process number)</u>	<u>İşinlama dozu (kGy) (Irradiation dose (kGy))</u>
21.10.2024	P350	En düşük (min.) : En yüksek (max.):



Birim Yöneticisi
Plant Manager
Ad Soyad İmza
Name Signature
Zati ÜNAL

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad

ERBİLGİN Emine

Web sayfası

(Research Gate, Academia, vs.)

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	2025
Lisans	Batman Üniversitesi	2018
Lise	Diyarbakır Yunus Emre Lisesi	1999

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2003-2007	Özel Dershane	Öğretmen
2011-2021	Sağlık Bakanlığı	Sağlık Personeli
2021-Devam ediyor	Sağlık Bakanlığı	Makine Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce A2

Yayınlar

1. ERBİLGİN, E., ÖRÇEN, G., “Nanokompozitler Üzerinde Gama Radyasyonu Etkisinin Araştırılması”, Dicle Üniversitesi 1.Uluslararası Fen Bilimleri Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu (DUFEBLAS), 2024, sf. 460-468
- 2.
- 3.
- 4.

Özel İlgiler

Kitap okumak, araştırma yapmak, yurt içi ve yurt dışı gezilerine katılmak.

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Emine ERBİLGİN		
Öğrenci No	21818027		
Ana Bilim Dalı	Makine Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Unvanı, Adı, Soyadı)	Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Unvanı, Adı, Soyadı)	-		
Tez Başlığı	Nanokil Katkılı Kompozit Levhaların Mekanik Özellikleri Üzerinde Gama Radyasyon Etkisinin Araştırılması		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Öncesi		
Sayfa Sayısı	109		
Raporlama Tarihi	22.01.2025		
Benzerlik Oranı (%)	8		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 109 sayfalık kısmına ilişkin, 22/01/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından %8 Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 8 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☒ Kaynaklar hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Tez benzerlik oranı üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, Gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Emine ERBİLGİN

Tarih: 23.01.2025

İmza:

Danışmanın Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN

İmza:

Tarih: 23.01.2025

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Sedat BİNGÖL

İmza:

Tarih: 23.01.2025