

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL ATIKLARIYLA TAKVİYE EDİLMİŞ
SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ



Ata POURFARIVARNEZHAD

Kasım, 2020

İZMİR

METAL ATIKLARIYLA TAKVİYE EDİLMİŞ SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı

Ata POURFARIVARNEZHAD

Kasım, 2020

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ATA POURFARIVARNEZHAD, tarafından **DOÇ. DR. OKAN ÖZDEMİR** yönetiminde hazırlanan “**METAL ATIKLARIYLA TAKVİYE EDİLMİŞ SANDVIÇ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Okan ÖZDEMİR

Yönetici

Prof. Dr. Ramazan KARAKUZU

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Uğur KEMİKLİOĞLU

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sürecinde, üç yıl boyunca beni destekleyen ve bilgilerini benimle paylaşan, danışman hocam, Doç. Dr. Okan Özdemir'e teşekkürlerimi arz etmekteyim.

Bu tez çalışma esnasında bana arkadaşlık eden ve sonsuz yardımlarını benden esirgemeyen Halis KANDAŞ'a teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca uzaktan ve yakından benim yanımda olan, varlıklarını bana hep hissettiren, hep bana güven veren ve bu zor yolda yardımlarını benden esirgemeyen aileme teşekkür ediyorum.

Ata POURFARIVARNEZHAD

METAL ATIKLARIYLA TAKVİYE EDİLMİŞ SANDVİÇ KOMPOZİTLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ ÖZ

Kompozit malzemeler son yıllarda hafiflik ve yüksek mukavemetten dolayı birçok uygulamada kullanılmaktadır. Yapılan literatür araştırmalarında termoplastik kompozitlerde atık metal takviyesi ile ilgili yeterli araştırma ve çalışma olmadığı görülmüştür. Bu nedenle, termoplastik kompozitlerin düşük hızlı darbe etkisi farklı sıcaklık şartlarında deneysel bir şekilde incelenmiştir.

Bu araştırmada cam elyaf takviyeli polipropilen yüzde 60 cam elyaf yoğunluk oranına sahip, dört farklı takviye oranlarında (%0, %3, %5, %10) ve tek kalınlıkta (4mm), sıcak pres yöntemi ile Dokuz Eylül Üniversitesi Kompozit Laboratuvarında 100x100 boyutlarında üretilmiştir.

Bu araştırmada 2 farklı deney (düşük hızlı darbe deneyi ve tekrarlı darbe deneyi) üç farklı sıcaklıkta (23°C, 55°C, 75°C) ve beş farklı enerji düzeyinde (10J, 20J, 30J, 40J, 50J) CEAST Fractovis Plus cihazında yapılmıştır. Bu araştırmanın sonunda sandviç kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışları ve tekrarlı darbe davranışları ve mekanik özellikleri farklı enerjilerde ve farklı sıcaklık koşullarında, çeşitli grafikler yardımıyla incelenip ve değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Cam elyaf takviyeli polipropilen, termoplastik kompozit, metal atık takviye, düşük hızlı darbe, tekrarlı darbe, sıcaklık etkisi

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SANDWICH COMPOSITES REINFORCED WITH METAL WASTES

ABSTRACT

Composite materials have been used in many applications in recent years due to their lightness and high strength. In the literature researches, it has been seen that there is not enough research and work on waste metal reinforcement in thermoplastic composites. Therefore, the low velocity impact behavior of thermoplastic composites has been experimentally investigated under different temperature conditions.

In this research, glass fiber reinforced polypropylene with 60% glass fiber density ratio, in four different reinforcement ratios (0%, 3%, 5%, 10%) and single thickness (4mm) was produced by hot press method in Dokuz Eylül University Composites Laboratory in 100x100 dimensions.

In this study, two different experiments (low velocity impact test and repeated impact test) were performed at three different temperatures (23 °C, 55 °C, 75 °C) and five different energy levels (10J, 20J, 30J, 40J, 50J) on the CEAST Fractovis Plus device. At the end of this research, low velocity impact behavior and repeated impact behavior and mechanical properties of sandwich composites at different energies and different temperature conditions were examined and evaluated with the help of various graphics.

Keywords: Glass fiber reinforced polypropylene, thermoplastic composite, metal waste reinforce, low velocity impact, repeated impact, temperature effect

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – MALZEME VE YÖNTEM	6
2.1 Kompozit Malzemeler	6
2.1.1 Havacılık	6
2.1.2 Metal Matris	7
2.1.3 Spor Ekipmanları	7
2.2 Matris Malzemeler.....	8
2.2.1 Metal Matris	9
2.2.2 Seramik Matris	10
2.2.3 Polimer Matris	11
2.2.3.1 Termoset Polimerler	12
2.2.3.2 Termoplastik Polimer	12
2.3 Kullanılan Malzemeler	14
2.3.1 Uzun Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen	14
2.3.2 Tek Eksenli Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Preperg	15
2.3.3 Alüminyum Metal Atıkları	16
2.4 Üretim	17
2.4.1 Kullanılan Cihazlar	17
2.4.1.1 Sıcak Pres	17

2.4.1.2 Darbe Cihazı	19
2.4.2 Kompozit Numune Üretimi	20
2.4.3 Kompozit Numunelerin Deney İçin Hazırlanması	21
BÖLÜM ÜÇ – YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLAR	23
3.1 Düşük Hızlı Darbe	23
3.1.1 Düşük Hızlı Darbelerde Hasar Tipleri	23
3.1.1.1 Matris Hasrı	24
3.1.1.2 Delaminasyon	24
3.1.1.3 Fiber Kırılması	24
3.1.1.4 Delinme	24
3.2 Tekil Düşük Hızlı Darbe Deneyleri.....	25
3.2.1 Metal Takviyesine Göre İnceleme	26
3.2.1.1 Metal Takviyesiz Kompozitlerin Sonuçları	26
3.2.1.2 %3 Metal Takviyeli Kompozitlerin Sonuçları	30
3.2.1.3 %5 Metal Takviyeli Kompozitlerin Sonuçları	35
3.2.1.4 %10 Metal Takviyeli Kompozitlerin Sonuçları	40
3.2.2 Darbe Enerjisine Göre İnceleme	45
3.2.2.1 10J Enerjisindeki Deney Sonuçları.....	45
3.2.2.2 20J Enerjisindeki Deney Sonuçları.....	48
3.2.2.3 30J Enerjisindeki Deney Sonuçları.....	51
3.2.2.4 40J Enerjisindeki Deney Sonuçları.....	54
3.2.2.5 50J Enerjisindeki Deney Sonuçları.....	57
3.3 Tekrarlı Düşük Hızlı Darbe Deneyleri	60
3.3.1 Metal Takviyesiz Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Sonuçları	61
3.3.2 %3 Metal Takviyeli Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Sonuçları	63
3.3.3 %5 Metal Takviyeli Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Sonuçları	66
3.3.4 %10 Metal Takviyeli Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Sonuçları	68
BÖLÜM DÖRT –YARGILAR	71

KAYNAKLAR	73
------------------------	-----------



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Bir kompozit malzemenin bileşenlerinin şematik gösterimi	1
Şekil 1.2 Sürekli elyaf örneklerin şematik görünümü	2
Şekil 1.3 Süreksiz elyaf örneklerin şematik görünümü	3
Şekil 2.1 A380 uçağında kullanılan kompozit malzemeler	7
Şekil 2.2 Bir bisiklet gövdesinde kullanılan karbon fiber kompozit örneği	8
Şekil 2.3 Metal matrisli kompozit örneği	9
Şekil 2.4 Tıbbi sektörde kullanılan seramik matrisli kompozit örneği	10
Şekil 2.5 Örnek bir polimer molekül dizilimi	11
Şekil 2.6 Termosetlerin moleküler bağlarının şematik görünümü	12
Şekil 2.7 Termoplastiklerin moleküler bağlarının şematik görünümü	13
Şekil 2.8 Bir sıcak pres makinesinin bileşenleri	18
Şekil 2.9 Çalışmada kullanılan fontijne labecon 600 pres cihazı	19
Şekil 2.10 a)CEAST fractovis plus darbe cihazı ve b) Darbe ucu	20
Şekil 2.11 Üretilen kompozitin malzeme dizilimi	21
Şekil 2.12 Darbe deneyler için hazırlanan numunelerin işlemi.....	22
Şekil 3.1 Bir kompozit malzemede darbe eserinde oluşan farklı hasarlar modları ...	25
Şekil 3.2 Metal takviyesiz kompozitlerin 23°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	26
Şekil 3.3 Metal takviyesiz kompozitlerin 75°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	27
Şekil 3.4 Metal takviyesiz kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – deformasyon grafikleri	28
Şekil 3.5 Metal takviyesiz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	29
Şekil 3.6 %3 metal takviyeli kompozitlerin 23°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	31
Şekil 3.7 %3 metal takviyeli kompozitlerin 75°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	32
Şekil 3.8 %3 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – deformasyon grafikleri	33

Şekil 3.9 %3 metal takviyeli kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	34
Şekil 3.10 %5 metal takviyeli kompozitlerin 23°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	36
Şekil 3.11 %5 metal takviyeli kompozitlerin 75°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	37
Şekil 3.12 %5 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – deformasyon grafikleri	38
Şekil 3.13 %5 metal takviyeli kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	39
Şekil 3.14 %10 metal takviyeli kompozitlerin 23°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	41
Şekil 3.15 %10 metal takviyeli kompozitlerin 75°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	42
Şekil 3.16 %10 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – deformasyon grafikleri	43
Şekil 3.17 %10 metal takviyeli kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	44
Şekil 3.18 10J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	46
Şekil 3.19 10J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	48
Şekil 3.20 20J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	49
Şekil 3.21 20J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	51
Şekil 3.22 30J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	52
Şekil 3.23 30J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	54
Şekil 3.24 40J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	55

Şekil 3.25 40J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	57
Şekil 3.26 50J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri	58
Şekil 3.27 50J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri	60
Şekil 3.28 Metal takviyesiz kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı grafikleri	62
Şekil 3.29 Metal takviyesiz kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum deformasyon – tekrar sayısı grafikleri	63
Şekil 3.30 %3 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı grafikleri	64
Şekil 3.31 %3 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum deformasyon – tekrar sayısı grafikleri	65
Şekil 3.32 %5 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı grafikleri	67
Şekil 3.33 %5 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum deformasyon – tekrar sayısı grafikleri	68
Şekil 3.34 %10 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı grafikleri	69
Şekil 3.35 %10 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum deformasyon – tekrar sayısı grafikleri	70

TABLÖLAR LİSTESİ

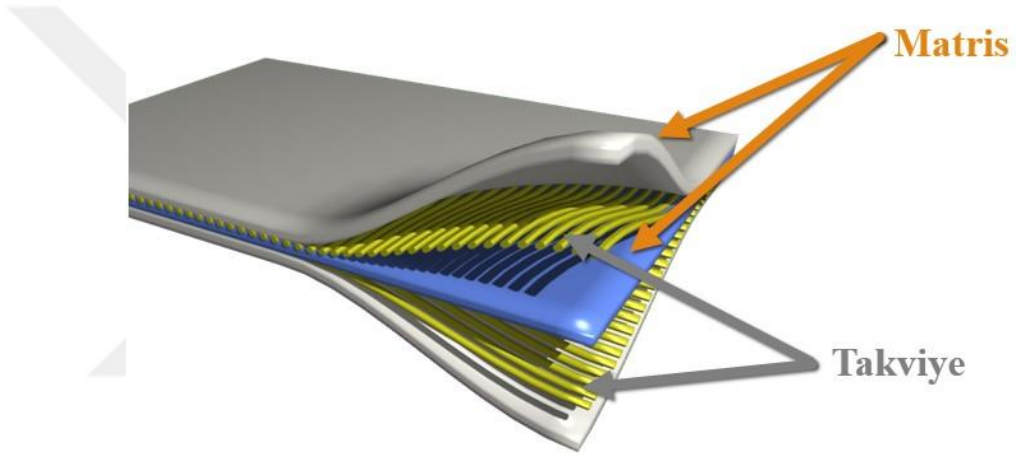
Sayfa

Tablo 2.1 %60 elyaf oranına sahip uzun cam elyaf takviyeli polipropilenin mekanik özellikleri	15
Tablo 2.2 Tek eksenli cam elyaf takviyeli polipropilen prepreg laminanın mekanik özellikleri	16
Tablo 3.1 Metal takviyesiz kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için 20J ve 30J’de darbe sonrası resimleri	30
Tablo 3.2 %3 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için 20J ve 30J’de darbe sonrası resimleri	35
Tablo 3.3 %5 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için 20J ve 30J’de darbe sonrası resimleri	40
Tablo 3.4 %10 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için 20J ve 30J’de darbe sonrası resimleri	45

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Kompozit malzemeler, tipik olarak makroskopik seviyede veya nanometre boyutunda birleştirilen en az iki veya daha fazla farklı malzeme ile oluşur. Kompozit teknolojisi son birkaç on yıl içinde gelişmiştir, ancak bu malzemeler eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Örneğin, ilk kompozit yapılardan biri olan kerpiç evler saman ve çamurdan oluşur (Gibson, 2011; Mallick, 2008). Bir kompozit malzemenin bileşenlerinin şematik resmi Şekil 1.1’de sunulmuştur.



Şekil 1.1 Bir kompozit malzemenin bileşenlerinin şematik gösterimi (Kandaş, 2019)

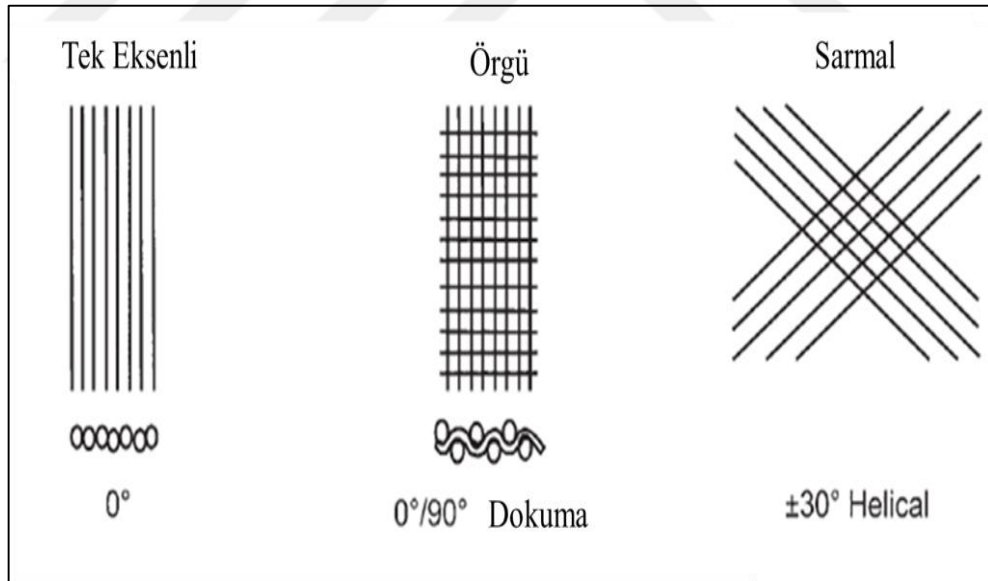
Günümüzde kompozitler havacılık, askeri ve uçak uygulamalarında, otomotiv parçaları, spor malzemeleri ve ekipmanları, denizcilik uygulamalarında ve altyapılarında kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin yaygın kullanım sebebi yüksek modülü, yüksek mukavemet, düşük yoğunluklu ve metal gibi diğer malzemelerden daha yüksek sertlik gibi üstün özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Kaw, 2006; Mallick, 2008).

Kompozit malzemelerin yapısı en az iki bileşenden oluşmaktadır bunların birisi takviye fazı ve diğeri matristir. Kompozitlerde bulunan takviye fazı kompozit yapısına güç ve sertlik sağlar. Çoğu durumda, takviye fazı matristen daha sert ve

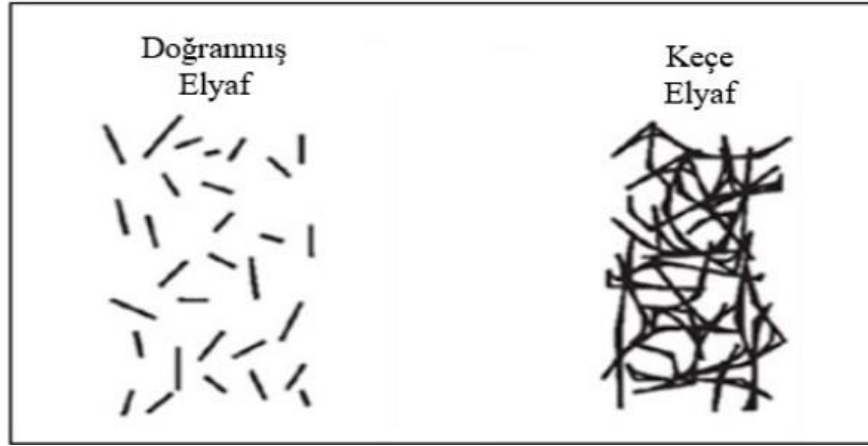
daha güçlüdür. Kompozit malzeme numunelerinde takviye fazı genellikle fiber (elyaf) veya parçacık (partikül) şeklindedir (Campbell, 2010).

Partikül kompozitlerin boyutları tüm yönlerde yaklaşık olarak eşittir. Partikül kompozitler, sürekli fiber kompozitlerden çok daha zayıf ve daha az sert olma eğilimindedir, ancak fiber kompozitlere göre daha düşük maliyetliler ve çok daha ucuzlardır. Parçacık takviyeli kompozitler, işleme zorlukları ve kırılma özelliklerinden dolayı genellikle daha az takviye içerirler (Campbell, 2010).

Elyaf takviye faz yapılarında bir fiber çapından çok daha büyük bir uzunluğa sahiptir. Uzunluk çap oranı, en boy oranı olarak bilinir ve büyük ölçüde değişebilir. Sürekli elyaflar uzun en boy oranlarına sahipken, süreksiz elyaflar kısa en boy oranlarına sahiptir. Sürekli elyaf takviye örnekleri arasında tek yönlü, dokuma kumaş ve sarmal sargılı bulunurken, süreksiz takviye örnekleri doğranmış ve keçe formundadır. Bu örnekler Şekil 1.1 ve 1.2’de gösterilmiştir (Campbell, 2010).



Şekil 1.2 Sürekli elyaf örneklerinin şematik görünümü (Campbell, 2010)



Şekil 1.3 Süreksiz elyaf örneklerin şematik görünümü (Campbell, 2010)

Matris fazı üç temel guruba ayrılır. Bunlar metal, seramik ve polimerden oluşmaktadır. Bu üç gurubu karşılaştırdığında polimerler düşük mukavemet ve sertliğe sahiptir, metaller ise süneklik özelliğın yanı sıra orta mukavemet ve sertliğe sahiptirler. Seramikler yüksek mukavemet ve sertliğe sahiptir, ancak kırılğan ve gevreklerdir. (Campbell, 2010).

Fiber takviyeli plastikler yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı bileşenlerinin bir kombinasyonu, geleneksel metalik malzemelere göre birçok avantaj sağlar; yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve anizotropik davranış, ki özel yükleme koşulları için optimize edilmiş tasarımın, net bir yolu olarak belirlenmiştir (Mazumdar, 2002).

Birkaç yıl boyunca, sürekli elyaf ile kompozit malzemelerin uygulanması, termoset matrisi olanlar ile sınırlıydı. Son zamanlarda, geri dönüştürülebilirlik açısından önemli avantajları sayesinde termoplastik matrisli kompozitlere ilgi artmaktadır. Termoplastik matris kompozitler, sadece yapısal özelliklerle değil, aynı zamanda potansiyel olarak yüksek özgül mukavemet ve sertlik, korozyon direnci, darbe dayanıklılığı, maliyet etkinliği ve tasarım esnekliği açısından önemli ve belirgin avantajlara sahiptir ve bu özellikler sayesinde termosetlere göre daha çok tercih edilmektedirler (Biron, 2013).

Kompozit yapılar ayrıca yabancı cisimlerden düşük hızlı darbe olaylarına karşı hassastır. Bu gibi darbe olaylarına, imalat, bakım ve servis ömrü boyunca takım düşüşü, dolu ve döküntü etkisi neden olabilir. Darbe hasarı, kompozit yapıların tüm yaşam boyunca başarısızlığına yol açabilecek ve özelliklerin azalmasına sebep olabilir. Bu nedenle, sandviç yapıların karmaşık darbe direncini ve hasar mekanizmasını düşük hız etkisi altında araştırmak gerekmektedir (Abrate, 2005; Morada,2017). Literatürde birçok çalışma düşük hızlı darbe etkisi kompozit malzemeler üzerinde farklı şartlarda yapılmıştır. Bu çalışmaların metod ve sonuçları aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Boria, Scattina ve Belingardi (2017), yaptıkları araştırmada ekstrüde edilmiş üç katmanlı polipropilen kompozitleri, oda sıcaklığında ve üç farklı enerjide, darbe kütlesinin ve hızının etkisini ve malzemenin enerji absorbe kapasitesi üzerindeki etkilerini, darbe deneyleri ile analiz etmişlerdir. Yapılan testlerin sonucunda polipropilen kompozit, fiber takviyeli plastik kompozitlerin aksine gevrek bir davranışlarını göstermiştir. Darbe enerjisinin ve darbe ucunun ağırlığının artması ile numunelerde absorbe edilen enerji artış göstermiştir.

Boumbimba ve diğer. (2017), çalışmalarında cam elyaf takviyeli akrilik termoplastik reçine esaslı kompozit numunelerin üzerine düşük hızlı darbe testlerini, üç farklı enerji seviyesinde (30J, 40J ve 50J) ve farklı sıcaklık etkisi altında (20°C, 80°C ve -80°C) uygulayarak, numunelerin darbeye karşı davranışlarını ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Lamine kompozitlerdeki hasarın türünü ve boyutunu görselleştirmek için etkilenen plakalar üzerinde tomografik analiz yapılmıştır. Yapılan testlerin sonucunda 20°C, 80°C sıcaklıklarında numunelerin darbeye karşı dirençlerinde artış gözlemlenmiştir ve bu gelişme 80°C'de penetrasyon (delinme) eşiği açısından yaklaşık %24 artış göstermiştir. Ancak -80°C'de darbe enerjisinin yükselmesi ile absorbe edilen enerjide azalma görülmüştür.

Ozdemir, Oztoprak ve Kandas (2018), cam elyaf takviyeli balsa çekirdekli biyo-sandviç üzerinde farklı kalınlıklarda (15mm ve 25mm) tekil ve tekrarlı darbe etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada hasar mekanizmaları her iki yüzey tabakalarında ve

iç bölümünde, enerji ve kuvvet-deformasyon grafikleri ile incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda deneysel bulgulara göre, delinme oluşana kadar darbe enerjisi seviyesi 10J olan darbe yükü altındaki toplam darbe enerji sayısının, balsa çekirdek 15mm kalınlığına sahip sandviç yapı için 38 ve 25mm kalınlığına sahip sandviç için 98 olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca sandviç kuvvet-deformasyon eğrilere göre kompozit numunelerde maksimum temas kuvveti ilk beş etki hariç olmak üzere etki sayısının artmasıyla azalmıştır.

Aktas, Karakuzu ve İçten (2011), cam / epoksi lamina kompozit plakaların darbe davranışlarını sıcaklık etkisi altında araştırmışlardır. Deneyler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Sonuçlarda sıcaklık arttıkça sertlik ve mukavemet gibi mekanik özelliklerin kaybolduğunu gözlemlenmiştir. Ayrıca, darbe enerjisi arttıkça, maksimum temas kuvvetinde artış görülmüş ve sıcaklık arttığında ise azalma gözlemlenmiştir.

Atas, Aktas, ve Karakuzu (2009), E-cam elyaf takviyeli epoksi kompozitlerin darbe tepkisi üzerindeki düşük sıcaklık etkisini incelemişlerdir. Üretilen kompozitlerin darbe davranışı farklı sıcaklıklarda (20°C, -20°C ve -60°C) deneysel olarak test edilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda sıcaklığın düşüşü ile kompozitin delinme eşiğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kompozitin darbe tepkisini ve hasar toleransını, 20J'e kadar olan tüm sıcaklıklar için aynı olarak elde etmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında, %60 yoğunluğunda uzun cam elyaf takviyeli polipropilen termoplastik kompozitler, farklı oranlarda alüminyum metal atıkları ile takviye edilmiştir. Tekil ve tekrarlı düşük hızlı darbeye karşı davranışları iki farklı sıcaklıkta (23°C ve 75°C) incelenmiştir.

BÖLÜM İKİ

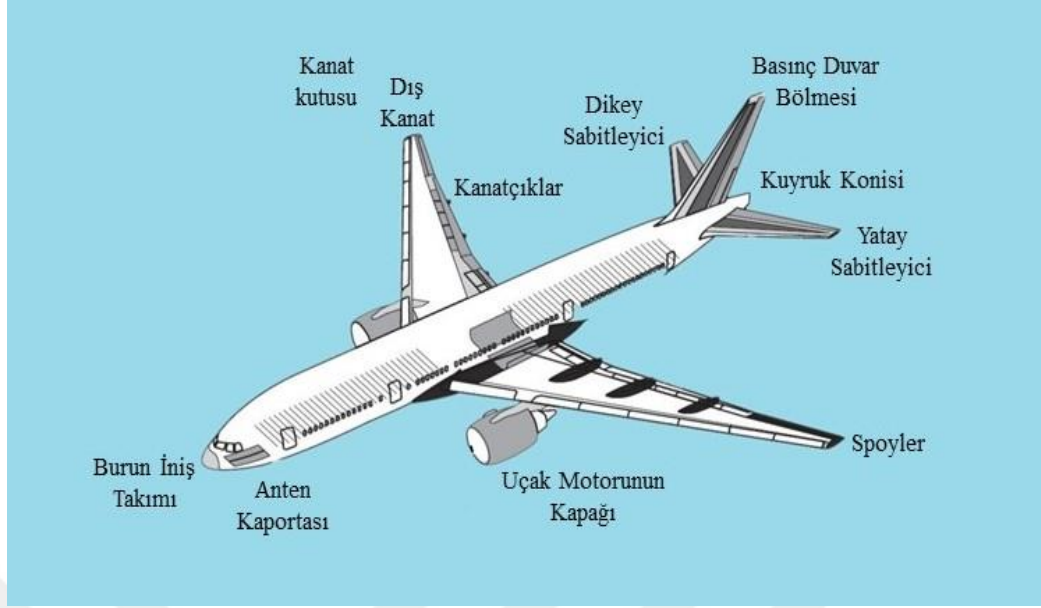
MALZEME VE YÖNTEM

2.1 Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler son yıllarda hafifliği, iyi performansı ve yüksek mukavemeti nedeniyle otomotiv, havacılık, gemi, spor ekipmanları ve benzeri birçok endüstrilerde yaygın olarak kullanılmakta ve her geçen gün kullanım oranları artmaktadır. Kompozitlerin bazı uygulama alanları ve bu alanlardaki kullanımları şu şekilde özetlenebilir (Mazumdar, 2002):

2.1.1 Havacılık

Fiber takviyeli kompozitler daha yüksek hız ve artan taşıma yükleri için ağırlık azaltmanın kritik olduğu askeri ve ticari uçaklar için ana yapısal uygulamalar da yer almaktadır. 1969'da F-14 yatay stabilizatörler için bor fiber takviyeli epoksi kaplamaların üretim uygulamasından bu yana, elyaf takviyeli polimerlerin uçak endüstrisinde kullanımı istikrarlı bir büyüme göstermiştir. 1970'lerde karbon fiberlerin piyasaya sürülmesi ile karbon elyaf takviyeli epoksi, uçaklarda kanat, gövde ve kuyruk bileşeninde ana malzeme haline gelmiştir. Bu ana bileşenlerin yapısal bütünlüğü ve dayanıklılığı, performanslarına güveni arttırmış ve diğer yapısal uçak bileşenlerinin gelişmesine yol açmış ve bu da askeri uçak endüstrisinde artan miktarda kompozit kullanılmasına neden olmuştur. Ticari uçaklardaki kompozit uygulamalar, yüksek mukavemetli karbon fiber takviyeli epoksiden yapılmış birkaç seçici ikinci nesil yapısal bileşenle başlamıştır (Mazumdar, 2002). Şekil 2.1' de bir uçağın farklı dış bölümlerinde kompozit malzemelerin kullanışı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 A380 uçağında kullanılan kompozit malzemeler (Mazumdar, 2002)

2.1.2 Otomotiv

Otomotiv endüstrisinde uzun yıllardır güçlü ve hafif olma gibi benzersiz özelliklere sahip bileşenler oluşturmak için farklı kompozit malzemeler kullanılmıştır (Durk, 1997). Kompozitlerin otomotiv uygulamalarında sunduğu başlıca avantajlar; maliyet azaltma, ağırlık azaltma ve geri dönüştürülebilirliktir. Kompozitler, geleneksel çelik ve enjeksiyon kalıplı otomotiv parçalarına göre birçok yapısal ve ağırlık avantajı sunar. Termoset kompozitler termoplastik kompozitlerle kıyaslandığı zaman, termoplastik malzemeler otomotiv endüstrisinin temel avantajlarını sunar: sıfır çözücü emisyonları, azaltılmış malzeme hurdası, gelişmiş iş güvenliği koşulları, boyama adımlarının ortadan kaldırılması ve son olarak geri dönüştürülebilirliğini sunmaktadır (Mazumdar, 2002).

2.1.3 Spor Ekipmanları

Fiber takviyeli polimerler tenis racketlerinden atletik ayakkabılarına kadar çeşitli spor ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Fiber takviyeli polimer kullanmanın avantajları ağırlık azaltma, titreşim sönümleme ve tasarım esnekliğidir. Metallerin karbon fiber takviyeli epoksilerin değiştirilmesiyle elde edilen ağırlık azalması, bisiklet yarışları ve kano yarışları gibi rekabetçi sporlarda daha yüksek

hızlara ve hızlı manevralara yol açmıştır. Tenis racketleri veya kar kayakları gibi bazı spor ekipmanlarında yüzey malzemesi olarak karbon veya bor fiber takviyeli epoksi ve çekirdek malzemesi olarak yumuşak, daha hafif üretilen köpük kullanılan sandviç yapılar mevcuttur. Sandviç yapılar sertlikten ödün vermeden daha iyi bir ağırlık azaltılması sağlamaktadır (Mazumdar, 2002). Şekil 2.2’de bisiklet gövdesinde kompozit malzemelerin kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Bir bisiklet gövdesinde kullanılan karbon fiber kompozit örneği (Kişisel arşiv, 2020)

2.2 Matris Malzemeler

Genel olarak matrisler elyaf takviyelerini birbirine bağlar, yükleri elyaflar arasında aktarır, kompozit bileşenlere net şeklini verir ve yüzey kalitesini belirler. Kompozit matrisleri polimer, seramik, metal veya karbon olabilir. Polimer matrisler, ticari ve yüksek performanslı havacılık uygulamalarında kompozitler için yaygın olarak kullanılmaktadır. Seramik ve metal matrisler ise tipik olarak motorlar gibi çok yüksek sıcaklıktaki ortamlarda kullanılır. Matris olarak karbon, karbon frenleri, hortum başlığı ve enjektör gibi aşırı yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır (Mazumdar, 2002). Bir matrisin seçimi, kompozit malzemenin basınç gerilmesi, katmanlar arası kayma mukavemeti ve düzlem içi kesme özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Matris, basınç yükü altında fiber bükülme olasılığına karşı yanıl

destek sağlamakta, böylece kompozit malzemenin basınca karşı mukavemetini büyük ölçüde etkilemektedir (Mazumdar, 2002).

2.2.1 Metal Matris

Metal matrisler, mukavemet açısından karşılaştırıldığında çoğu polimer matristen daha iyi özelliklere sahiptir. Metal kullanmanın bir başka avantajı, çeşitli termal ve mekanik işlemlerle oluşturulabilmesi ve güçlendirilebilmesidir, ancak metaller bir polimer matrisle yüksek yoğunluklu, yüksek erime noktasına, korozyon direncine ve başka benzer mekanik özelliklerine sahiptirler. Örneğin, çoğu metal daha yüksek akma noktasına sahiptir. Alüminyum ve alaşımları, iyi korozyon direnci nedeniyle yoğunlukla metal matris kompozitlerde matris malzemesi olarak kullanılır. Alüminyum alaşımları ile karbon fiber kullanılır; ancak, tipik imalat 5008°C veya daha yüksek sıcaklıklarda karbon, kompozitin mekanik özelliklerini ciddi şekilde bozan alüminyum karbür (Al_4C_3) oluşturarak alüminyum ile reaksiyona girer (Mallick, 2008). Şekil 2.3'te metal matristen yapılan bir parça örneği sunulmuştur.



Şekil 2.3 Metal matrisli kompozit örneği (Brian, 2004)

2.2.2 Seramik Matris

Seramikler, yüksek sıcaklık dayanıklılığı, yüksek ısıl şok direnci, yüksek modül, yüksek sertlik, yüksek korozyon direnci ve düşük yoğunluklarıyla bilinirler. Bununla birlikte, kırılman malzemelerdir ve düşük kırılma toklukları sebebiyle ortaya çıkan çatlak yayılmasına karşı düşük dirence sahiptirler. Bir seramik matrisi takviye etmenin esas nedeni, kırılma tokluğunu arttırmaktır. Matris malzemesi olarak kullanılan yapısal seramikler, oksit veya oksit olmayan olarak sınıflandırılabilir. Alümina (Al_2O_3) ve mullit ($Al_2O_3-SiO_2$) en yaygın kullanılan iki oksit seramiktir. Termal ve kimyasal dayanıklılıklarıyla tanınırlar. Yaygın oksit olmayan seramikler, silikon karbür (SiC), silikon nitrit (Si_3N_4), bor karbür (B_4C) ve alüminyum nitrit (AlN)'dir (Mazumdar, 2002).

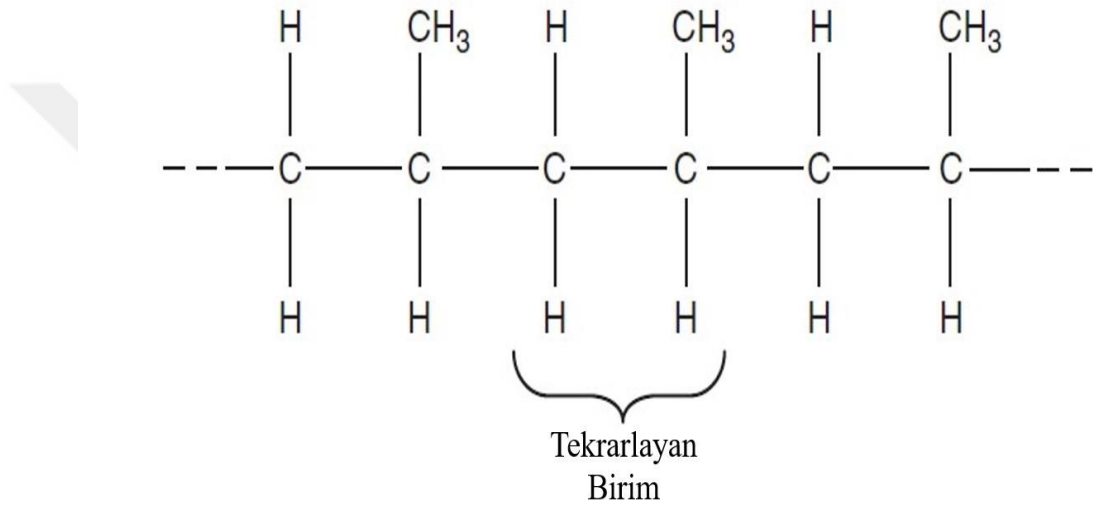
Seramik matris kompozitlerde kullanılan takviyeler silikon karbür (SiC), silikon nitrit (Si_3N_4), alüminyum nitrit (AlN) ve diğer seramik fiberlerdir. Bunlardan silikon karbür (SiC), termal dayanıklılığı için hem oksit hem de oksit olmayan seramik matrislerin geniş bir uyumluluğu nedeniyle en yaygın kullanılan takviyelerden olmuştur (Mazumdar, 2002). Günümüzde yaygın olarak kullanılan seramiklerden birisi protez diş kaplamalarıdır. Şekil 2.4'te seramik kompozit malzemelerin protez dişlerde ve tıp sektöründe kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Tıbbi sektörde kullanılan seramik matrisli kompozit örneği (Almeida, 2020)

2.2.3 Polimer Matris

Bir polimer, güçlü kovalent bağlarla (ortak bağlarla) birleştirilmiş bir veya daha fazla tekrarlayan atom içeren uzun zincirli bir molekül olarak tanımlanır. Polimerik bir malzeme (genellikle plastik olarak tanınan), benzer kimyasal yapıya sahip çok sayıda polimer molekülünün bir koleksiyonudur (Mazumdar, 2002). Şekil 2.5'te polimer molekül dizilimi gösterilmiştir.

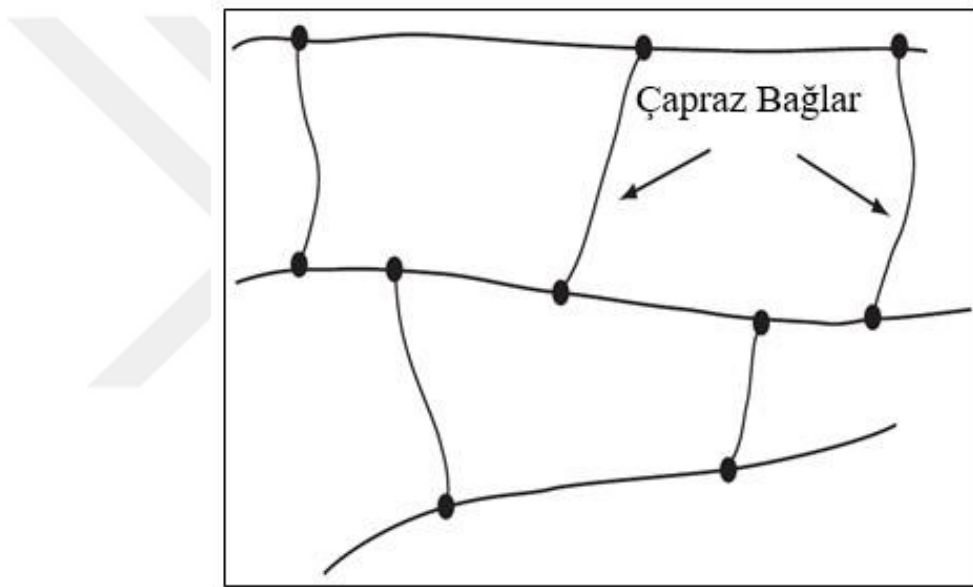


Şekil 2.5 Örnek bir polimer molekül dizilimi (Mazumdar, 2002)

Polimer matrisli kompozit malzemelerin iki önemli avantajı yüksek özgül mukavemet ve yüksek elastisite modülleridir. Olağan koşullar altında metallerde gözlenmeyen polimerik katıların iki benzersiz özelliği vardır. Mekanik özellikleri hem ortam sıcaklığına hem de yükleme hızına güçlü bir şekilde bağlıdır. Artan sıcaklıkla polimer matrisli kompozitler, dış yükler altında, büyük elastik deformasyonlara maruz kalabilen kauçuk benzeri bir katıya dönüşürler. Polimerler iki geniş kategoriye ayrılır. Bunlar termoplastikler ve termosetlerdir (Mazumdar, 2002).

2.2.3.1 Termoset Polimerler

Bir termoset polimerde, moleküller çapraz bağlarla kimyasal olarak birleştirilir ve katı, üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur. Bu çapraz bağlantılar polimerizasyon reaksiyonu sırasında (sertleştirme reaksiyonu sırasında) oluşturulduktan sonra termoset polimer ısı uygulamasıyla eritilemez. Bununla birlikte, çapraz bağlantı sayısı düşükse, yüksek sıcaklıklarda bunları yumuşatmak yine de mümkün olabilmektedir (Mazumdar, 2002). Şekil 2.6’da termosetlerin moleküler bağlarının şematik görünümü sunulmuştur.

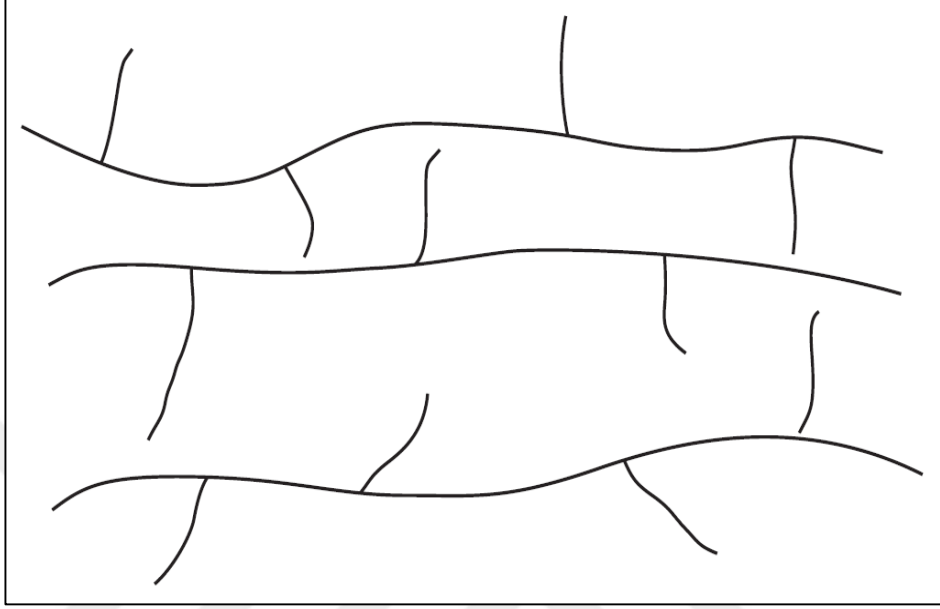


Şekil 2.6 Termosetlerin moleküler bağlarının şematik görünümü (Mazumdar, 2002)

2.2.3.2 Termoplastik Polimerler

Bir termoplastik polimerde, tek tek moleküller kimyasal olarak birbirine birleştirilmez. Zayıf ikincil bağlar veya Van der Waals bağları ve hidrojen bağları gibi moleküller arası kuvvetler tarafından yerinde tutulurlar. Isı uygulamasıyla, katı bir termoplastik polimer içindeki bu ikincil bağlar geçici olarak kırılabilir ve moleküller birbirlerine göre hareket ettirilebilir veya üzerlerine basınç uygulanarak yeni bir şekil ve düzen alabilir. Soğutulduğunda, moleküller yeni diziliminde dondurulabilir ve ikincil bağlar geri yüklenir, bu da yeni bir katı şekle yol açar.

Böylece, bir termoplastik polimer ısıyla yumuşatılabilir, eritilebilir ve istenildiği kadar tekrar şekillendirilebilir (Mazumdar, 2002). Şekil 2.7’de termoplastiklerin moleküler bağlarının şematik görünümü sunulmuştur.



Şekil 2.7 Termoplastiklerin moleküler bağlarının şematik görünümü (Mazumdar, 2002)

Termoplastik matris kompozitler, termoset kompozitlere veya geleneksel metallere kıyasla gelişmiş tokluk, darbe direnci ve sönümleme özelliklerinin eşlik ettiği üstün özgül mukavemeti ve sertliği nedeniyle artan ilgi görmektedir. Termoplastiklerin birincil avantajı geniş uygulama alanlarıdır. Termoplastik kompozitler, sınırsız raf ömrüne, içsel geri dönüştürülebilirliğe, yüksek hacimli işlenebilirliğe ve karmaşık şekillerde, yakın ve net şekillendirme yeteneğine sahiptirler (Thattaiparthasarathy, 2002).

Termoplastiklerin birincil dezavantajı nispeten düşük erime noktasıdır. Ayrıca birçok termoplastik malzeme, özellikle kompozitler, yüksek gerilim seviyelerinde deforme olmaktan ziyade kırılmaktadır. Termoplastik malzemelerin uzun süreli yüklemeye maruz kaldıklarında gevşediği veya zayıfladığı yerde ise sürünme görülmektedir (Online-Sciences, 2019).

Termoplastik kompozitler arasında uzun fiber termoplastikler, üstün özgül mukavemeti ve modülü nedeniyle otomotiv ve nakliye sektörlerinde daha fazla kullanılmaktadır. Ayrıca, imalat kolaylığıyla birlikte önemli ölçüde ağırlık tasarrufu sağlamaktadır. Termoplastikler yüksek mukavemetli, hafif malzemelerdir ve nispeten düşük işleme maliyetlerine sahiptirler. Ek olarak, termoplastik bileşenlerin yüksek hacimli üretilmesi ise nispeten kolaydır (Thattai parthasarathy, 2002).

2.3 Kullanılan malzemeler

Bu çalışmada üç farklı malzeme kullanılmıştır. Bu malzemeler, uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granül, tek eksenli cam elyaf takviyeli polipropilen preperg ve imalat esnasında alüminyum atıklarıdır.

Bu malzemeler ile dört farklı sandviç kompozit üretilmiştir. Çalışmada sandviç yapılı kompozitlerin çekirdek malzemesi olarak uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granül, yüzey katmanlarının malzemesi için tek eksenli cam elyaf takviyeli polipropilen ve kompozitin takviye malzemesi olarak alüminyum atıkları farklı oranlarda kullanılmıştır.

2.3.1 Uzun Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen

Uzun fiber termoplastik kompozitler, bir polipropilen, polietilen, poliamid, polifenilen sülfür veya poliüretan gibi bir termoplastik matrisin süreksiz uzun elyaflarla takviye edildiği bir kompozit ailesini oluşturur. Uzun fiber termoplastiklerdeki ortalama fiber uzunluğu 10 ila 50 mm arasındadır (Thattai parthasarathy, 2012). Uzun cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitler, yapısal bileşenlerde yaygın olarak uygulanmaktadır. Hafifliği, yüksek mukavemeti, sertliği, tasarım esnekliği ve geri dönüştürülebilirliği bu malzemenin avantajlarından (Shuyong, 2020). Bu çalışmada %60 oranında fiber takviyeli uzun cam elyaf polipropilen granüller kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan uzun cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin ham maddesi olarak kullanılan granüller 12 mm boyutlarında üretilmiştir.

Uzun cam elyaf takviyeli polipropilen granüller Nuh Kompozit San. Ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan granüllerin elyaf oranı %60'tır. Elyaf oranı %60 olan uzun cam elyaf takviyeli polipropilen için verilen mekanik özellikler Tablo 2.1'de gösterilmiştir (Kandaş, 2019).

Tablo 2.1 %60 elyaf oranına sahip uzun cam elyaf takviyeli polipropilenin mekanik özellikleri (Kandaş, 2019)

<i>Mekanik Özellik</i>	<i>Değer</i>	<i>Birim</i>	<i>Test Metodu</i>
Yoğunluk	1,43	g/cm ³	ISO 1183
Çekme Dayanımı	125	MPa	ISO 527
Çekme Dayanımı Modülü	13800	MPa	ISO 527
Eğilme Dayanımı	215	MPa	ISO 178
Eğilme Dayanımı Modülü	11250	MPa	ISO 178
IZOD Darbe Dayanımı, Çentiksiz (11j)	50,5	kJ/m ²	ISO 180
IZOD Darbe Dayanımı, Çentikli (11j)	22,5	kJ/m ²	ISO 180
HDT (0,45 MPa)	158	°C	ISO 75B

2.3.2 Tek Eksenli Cam Elyaf Takviyeli Polipropilen Preperg

Kimyasal bağlama maddeleri cam elyafı ile fiziksel ve kimyasal bağlar aracılığıyla fiber matris ara yüzey kuvvetini geliştirmek ve fiber yüzeyini nem ve reaktif sıvılardan korumak için kullanılmaktadır. Cam elyaflar, tüm polimerik matris kompozitler için takviye elyaflarında yaygın olarak kullanılmaktalar. Cam elyafların temel avantajları düşük maliyet, yüksek gerilme mukavemeti, yüksek kimyasal direnci ve mükemmel yalıtım özellikleridir. Dezavantajları ise nispeten düşük gerilme modülü ve yüksek yoğunluklu (ticari lifler arasında), taşıma sırasında aşınmaya karşı hassasiyet (sık sık gerilme mukavemetini azaltır), nispeten düşük yorulma direnci ve yüksek sertliktir.

Termoplastik prepreglerin, başta gelen avantajı oda sıcaklığında uzun raf ömrüne sahip olmalarıdır. Aynı zamanda termoplastik prepregler termosetler ile kıyaslandığında işlem süreleri azdır, kolaylıkla yeniden şekil verilebilirler ve daha

kolay tamir edilirler. Bu sebeple yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Mazumdar, 2002).

Çalışma sırasında kullanılan tek eksenli cam elyaf takviyeli polipropilen prepreg laminanın mekanik özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir (Kandaş, 2019).

Tablo 2.2 Tek eksenli cam elyaf takviyeli polipropilen prepreg laminanın mekanik özellikleri (Kandaş, 2019)

X_t (MPa)	Y_t (MPa)	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	ν_{12}
264 ± 12	$23 \pm 1,9$	13,7	1,5	0,232

2.3.3 Alüminyum Metal Atıkları

İkincil metallerin üretim döngüsünde yeniden kullanılması, muhtemelen insanlık tarihindeki en eski ve en önemli geri dönüşüm faaliyetini oluşturmaktadır. Metalin geri dönüşümü yaklaşık 10.000 yıl öncesine dayanmaktadır ve metallerin geri dönüştürülmesinin ana nedeni, ilk olarak bir metali madenlerden çıkarmak için harcanması gereken büyük miktarda enerjiden kaynaklanmaktadır. Modern atık yönetiminin temel talepleri, ortaya çıkan toplam atık miktarını azaltmak ve mümkün olduğunca fazla atığı yeniden kullanmak ve geri dönüştürmektir. Metallerin geri dönüşümünün çevre, enerji ve ekonomi gibi çeşitli faydaları vardır (Letcher, 2011).

- Çevre Avantajları: Metal üretimi çok sayıda zehirli gazların emisyonunu içeren ayrıntılı bir işlemdir, çünkü metal saf haliyle doğada mevcut değildir. Metalleri madenden çıkarılmasıyla karşılaştığında geri dönüşüm atmosfere daha az gaz salar ve hava kirliliğinin önemli ölçüde azalmasına sebep olur. Aynı zamanda bu durum kirli olmayan havayı soluyan herkesin genel sağlığına katkıda bulunduğu anlamına gelmektedir.
- Enerji Tasarrufu: Ham maddelerden metal üretimi, maden delme ve metal arıtma çok fazla enerji gerektirir. Bununla birlikte, metaller geri dönüştürüldüğünde ise önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

- **Ekonomi Avantajı:** Dünyada üretim yapan birçok şirket imalat esnasında çıkan atık malzemelerini geri dönüşüm şirketlerine satarak yeni ham madde aldıklarında daha az para ödemektedir. Aynı zamanda geri dönüşüm fabrikalarının kurulması birçok yeni çalışma imkânları yaratmakta ve işsizlik oranının azalmasını sağlamaktadır.

Bu işlem birçok avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajlara da sahiptir. Üretilen yeni metallerde fonksiyon kayıpları, metalin homojen yapısının olmaması, metallerin kirliliği gibi durumlar gözlenebilmektedir. Geri dönüşümün birçok alanında, geri kazanılan ürünler genellikle düşük kalite ve değere sahiptirler. Sonuç olarak, bu malzemeler sadece indirgenmiş bir biçimde kullanılabilir (Letcher, 2011).

Bu çalışmada alüminyum metal atıkları takviye malzemesi olarak ağırlıkça dört farklı oranda (%0, %3, %5 ve %10 oranlarında) kullanılmıştır.

2.4 Üretim

Bu çalışmadaki tüm üretim aşamaları ve deneyler, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, kompozit malzeme laboratuvarında yapılmıştır.

2.4.1 Kullanılan Cihazlar

Bu çalışma kapsamında kompozit numunelerini üretmek ve deneyleri yapmak için aşağıdaki cihazlar kullanılmıştır;

- Sıcak pres
- Darbe cihazı

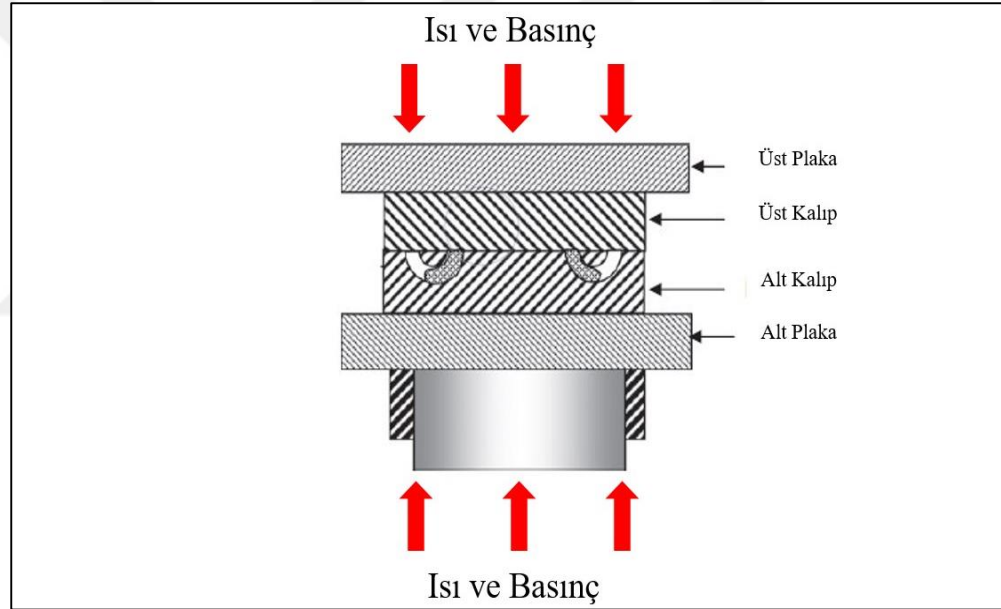
2.4.1.1 Sıcak Pres

Termoplastiklerin sıcak preste üretimi ve kalıplanması en az iki adımdan oluşmaktadır;

- Gerekli miktarda termoplastik, ısıtılmış presin iki çenesi arasındaki sıcak boşluk alanında yüksek basınçta kalıp içinde sıkıştırılır.

- Termoplastik yumuşatıldığında ve şekillendirildiğinde, malzemeyi katılaştırmak ve kalıptan çıkarmaya izin vermek için kalıp soğutulur.

Bu işlem, kalıptan ayrılmadan önce termoplastik parçaları ısıtmak ve soğutmak için gereken uzun süre nedeniyle sadece özel durumlarda kullanılır. Polimerlerin ısı yalıtım özellikleri nedeni ile kalıplamanın ilk aşamasında, kalıbın sıcaklığı termoplastik malzemenin içine yavaşça iletilir. Üretilen kompozit kalın olduğu durumda, çekirdek malzemenin yumuşaması ve şekillendirilmesi çok uzun sürmektedir (Biron, 2013). Şekil 2.8'de bir sıcak pres cihaz bileşenlerinin şematik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.8 Bir sıcak pres makinesinin bileşenleri (Biron, 2013)

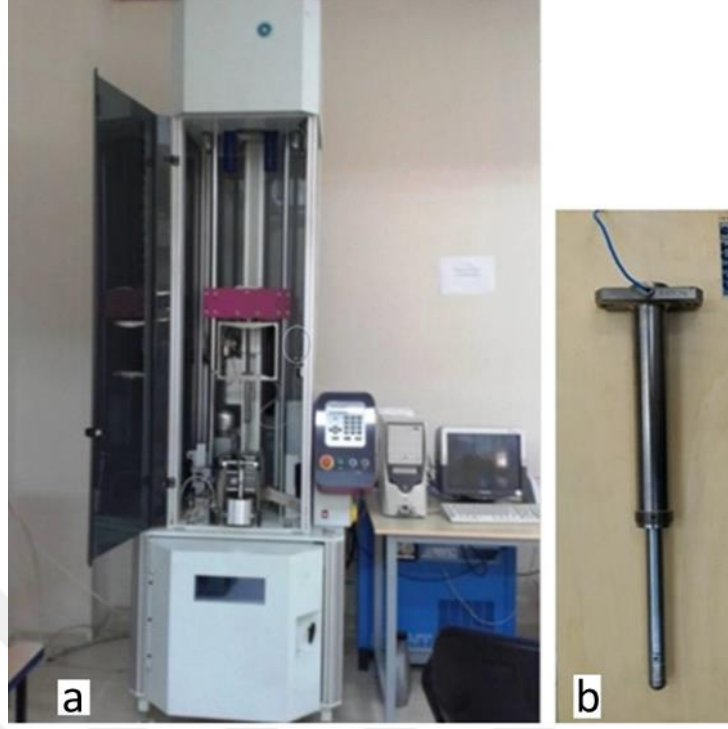
Çalışma kapsamında kullanılan sıcak pres cihazı Fontijne markasının LabEcon 600 serisine ait bir prestir. Pres plakaları 400x400 mm boyutlarındadır. Presin ulaşabileceği maksimum sıcaklık değeri 300°C'dir. Plakaların uygulayabileceği en yüksek kuvvet değeri ise 600 kN'dur (Kandaş, 2019).



Şekil 2.9 Çalışmada kullanılan Fontijne LabEcon 600 pres cihazı (Kişisel arşiv, 2019)

2.4.1.2 Darbe Cihazı

Tez çalışması kapsamında, kompozit numunelere düşük hızlı darbe testleri ve tekrarlı darbe testleri iki farklı sıcaklıkta beş farklı enerjide CEAST Fractovis Plus darbe cihazı kullanılarak yapılmıştır. CEAST Fractovis Plus darbe cihazı kapalı bir kabin sayesinde farklı sıcaklıklarda test yapmaya uyumlu bir cihazdır. CEAST Fractovis Plus darbe cihazının sıcaklığı -100°C ile 150°C arasında ayarlanabilmekte ve darbe hızı 24 m/s'ye kadar ulaşabilmektedir. Tekrarlı darbenin meydana gelmemesi için darbe sonrası frenleme sistemi (geri sekme) bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan darbe ucu yarı küresel şeklinde, ebat olarak 12,7 mm çapında ve vurucu ucu 626 gr ağırlığındadır. Çalışmada kullanılan darbe cihazı ve darbe ucu Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 a) CEAST Fractovis Plus darbe cihazı ve b) darbe ucu (Kişisel arşiv, 2019)

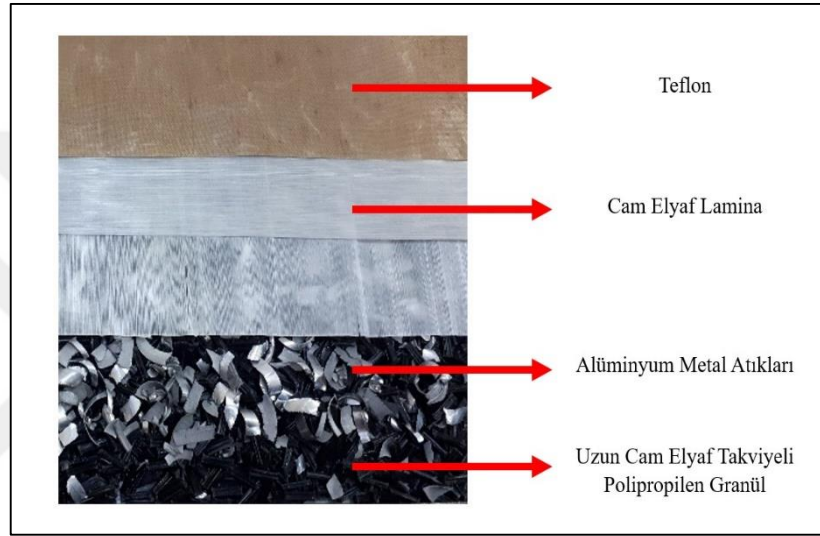
2.4.2 Kompozit Numune Üretimi

Tez çalışması kapsamında, dört farklı termoplastik sandviç kompozit üretilmiştir. Üretilen kompozitler 4 mm kalınlığındadır. Kompozitlerin düşük hızlı darbeye davranışları farklı enerjilerde ve sıcaklıklarda incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında ana malzeme olarak %60 cam elyaf yoğunluk oranına sahip polipropilen granüller üretici firmanın verdiği malzeme özellikleri dikkate alarak 535, 519, 508 ve 481 gram tartılmıştır. Takviye malzemesi için alüminyum metal atıkları dört farklı ağırlık oranında (%0, %3, %5 ve %10) homojen bir şekilde kullanılmıştır. Son olarak yüzey malzemesi için cam elyaf takviyeli polipropilen laminalar her iki yüzeye 90° ve 0° açılarında dizilmiş ve 4mm'lik kalıba yerleştirmesiyle kompozit sandviç yapı üretilmiştir.

Kısaca yapılan sandviç kompozitin oryantasyonunu [0/90/Granül/Alüminyum metal atıkları/90/0] şeklinde özetlenebilir. Kalıbı sıcak prese yerleştirmeden önce,

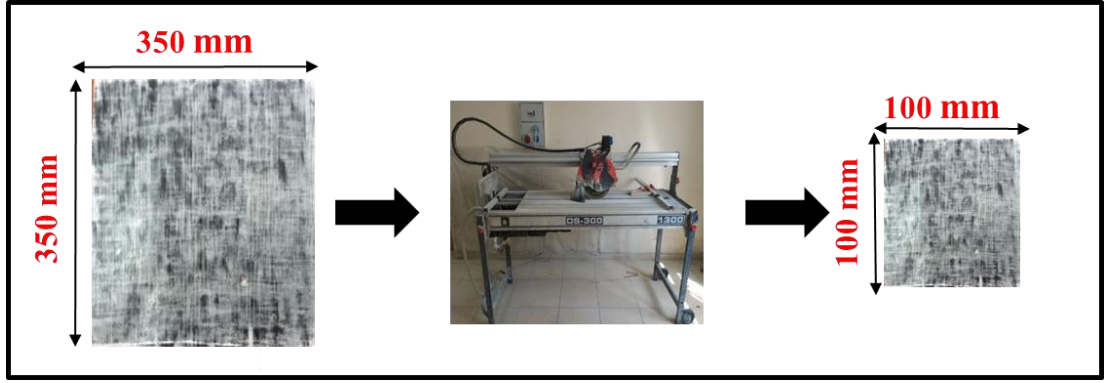
kompozitin pres cihazının çenelerine yapışmasını engellemek ve presten kolay çıkarılmasını sağlamak için her iki yüzey teflon kumaş ile koyulmuştur. Kompozit kalıbını hazırlandıktan sonra üretim için sıcak prese yerleştirilmiş ve 1 saat boyunca 250°C sıcaklıkta ve 100kN yük altında preslenmiştir. 1 saatlik presleme işlemi bittikten sonra kompozit plakalarda çarpılma meydana gelmemesi için 6 saat boyunca 100kN basınçlı yük altında soğutmaya bırakılmıştır. Hazırlanan kompozitlerin malzeme dizilimi, Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Üretilen kompozitin malzeme dizilimi (Kişisel arşiv, 2019)

2.4.3 Kompozit Numunelerin Deney İçin Hazırlanması

Bu çalışmadaki üretilen tüm kompozit plakalar 350x350 mm boyutuna ve 4mm kalınlığına sahiptir. Bu kompozit plakalar düşük hızlı darbe deney standardı olan ASTM D3763'e uygun bir şekilde sulu testere kullanarak 100x100 mm boyutlarında kesilip, darbe deneyi için uygun hale getirilmiştir. Deneyler için hazırlanan numuneler ve boyutlandırma süreci Şekil 2.12'de sunulmuştur.



Şekil 2.12 Darbe deneyler için hazırlanan numunelerin işlemi (Kişisel arşiv, 2019)

BÖLÜM ÜÇ

YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLAR

Birçok endüstride kompozit kullanımının artmasıyla, darbe etkisi ve dinamik davranışın anlaşılması, kompozit tasarımcıları ve kullanıcılar için kritik önem taşımaktadır. Malzemelerin darbe tepkisi genellikle düşük hız, orta hız, yüksek hız ve aşırı hız (hiper hız) olarak sınıflandırılır. 10m/s'nin altındaki hızlarda düşük hızlı darbe, 10m/s ile 50m/s arasında orta hızlı darbe meydana gelir. Yüksek hızda ise darbe sınırı 50m/s ile 1000m/s arasında değişmektedir. Yüksek hızlı darbe genellikle küçük silah ateşinin veya patlayıcı savaş başlığı parçalarının bir sonucudur. Aşırı hızlı darbe 2km/s ile 5km/s arasında gerçekleşir (Abrate, 2011).

Bu çalışmada düşük hızlı darbe ve tekrarlı darbe deneyleri beş farklı enerjide (10J, 20J, 30J, 40J ve 50J) ve iki farklı sıcaklıkta (23°C ve 75°C) yapılmıştır.

3.1 Düşük Hızlı Darbe

Polimer matrisli kompozitler düşük hız etkisinin neden olduğu dahili hasara karşı hassastır. Birçok durumda, hasar yüzeyde belirgin değildir, ancak iç hasar önemli olabilmektedir. Böylece kompozit yapının mukavemeti ve servis ömrü azalabilmektedir. Kompozitlerin darbe hasarı üzerine yapılan çalışmalar darbe dinamiği, hasar mekaniği, çarpışma (darbe) sonrası artık özelliklerine ve hasar direncine odaklanmıştır. Düşük hızlı darbe etkisinde, hedefin dinamik yapısal tepkisi önemlidir. Çünkü temas süresi, tüm yapının darbeye tepki vermesi için yeterince uzundur ve sonuç olarak daha fazla enerji elastik olarak gözlenmektedir (Abrate, 2011).

3.1.1 Düşük Hızlı Darbelerde Hasar Tipleri

Kompozit malzemelerde yapılan düşük hızlı darbe sonrasında farklı hasarlar oluşmaktadır. Özellikle fiber takviyeli plastik laminalar, heterojen ve anizotropik doğa yapısından dolayı, bu hasalara katkıda bulunmaktadır. Kompozit

malzemelerdeki hasar tipleri genellikle matris hasarı, delaminasyon, fiber hasarı ve delinme olarak sınıflandırılmaktadır (Abrate, 2011).

3.1.1.1 Matris Hasarı

Matris hasarı, düşük hız darbesi ile oluşur ve genellikle matriste fiber çatlaması veya fiber ayrılması ve delaminasyon şeklinde başlar. Düşük hızlı darbeye düşük enerji seviyelerinde (1-5J) hasar nadir görülür veya minimum hasar meydana gelir. Matris çatlakları genellikle tek yönlü fiber kompozitlerde fiber yönüne paralel düzlemlerde yönelir (Abrate, 2011).

3.1.1.2 Delaminasyon

Delaminasyon veya elyaf ayrılması, katlar arasında kalan reçinede ilerleyen çatlak ile tabakaların ayrılmasıdır. Kompozit malzemelerde delaminasyon, katmanlar arasındaki uyumsuzluğunun, farklı lif oryantasyonunun, mukavemet azalmasının ve rijitlik kaybının bir sonucudur. Delaminasyon düşük hızlı darbelerde kritik hasarlardan biridir ve her zaman dikkate alınması gereken bir hasar modudur (Abrate, 2011).

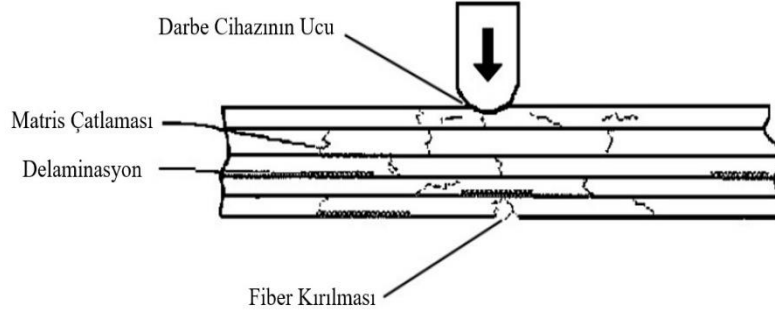
3.1.1.3 Fiber Kırılması

Fiber kırılması, kompozit malzemelerde matris çatlaması ve delaminasyondan daha sonra oluşan bir hasar tipidir. Fiber kırılması, bölge olarak yüksek gerilmeler ve saplanma etkileri nedeniyle vurucunun altında aynı zamanda yüksek bükülme gerilmeleri nedeniyle darbeye maruz kalmayan yüzeyde meydana gelir (Abrate, 2011).

3.1.1.4 Delinme

Delinme, makroskopik bir hasar modudur ve fiber kırılması kritik bir noktaya ulaştığında ve darbe ucu çarpışmadan sonra malzemeye tamamen nüfuz eder ve

delinme meydana gelir. Delinme darbe enerjisi numune kalınlığına paralel hızla artar. Fiber boyutları, yönelimleri, örgü yapısı, matris tipi ve ara yüzey gibi çeşitli faktörlerin malzemenin delinme süreci üzerinde etkisi bulunmaktadır (Abrate, 2011). Farklı matris hasar modları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Bir kompozit malzemede darbe esnasında oluşan farklı hasarlar modları

3.2 Tekil Düşük Hızlı Darbe Deneyleri

Çalışma kapsamında yapılan düşük hızlı darbe deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak deney numuneleri için temas kuvveti-deformasyon ve enerji-zaman grafikleri çizilmiştir. İncelemeyi daha iyi yapmak için grafikler metal takviyesine göre ve darbe enerjisine göre gruplandırılmıştır. Ayrıca genel olarak kritik olan 20J ve 30J darbe enerji değerlerindeki numunelerin darbe sonrası resimleri incelenmiştir.

Temas kuvveti-deformasyon eğrileri malzemelerin üzerlerine uygulanan darbe yüklerine verdiği tepkileri belirlemek için kullanılmaktadır. Temas kuvveti-deformasyon eğrileri kapalı eğri ve açık eğri olmak üzere iki farklı şekilde değerlendirilir. Deney sırasında uygulanan darbe enerjisi numuneyi delemek seviyede olmadığında geri sekme denilen olay gerçekleşir ve bu durumda oluşan eğri kapalı formdadır. Uygulanan enerji seviyesi yükseltir ise numunede nüfuziyet meydana gelir ve sonunda numune delinir. Delinme sonrası oluşan temas kuvveti-deformasyon eğrileri açık eğri formundadır. Açık eğrilerde delinme sonrasında sürtünme kuvveti sebebi ile temas kuvveti sayısal değerler almaya devam eder. Bu sebeple eğrinin inen

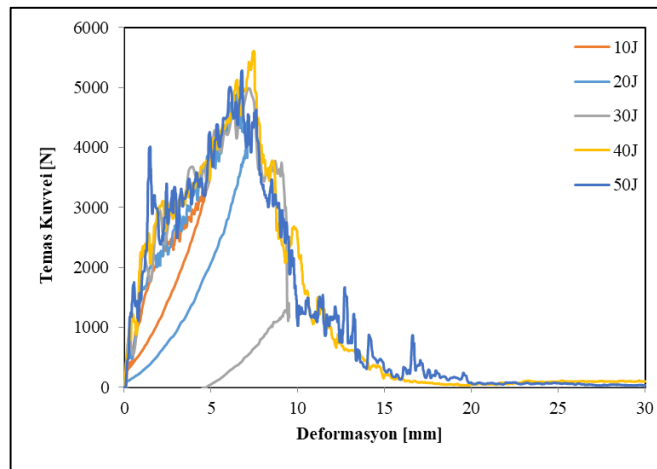
kısımının son kısmından deformasyon eksenine eğri uzatılarak maksimum deformasyon hesaplanmaktadır (Ataş ve Sayman, 2008).

Deney sırasında numunede hasara sebep olan enerji absorbe edilen enerji olarak adlandırılmaktadır. Absorbe edilen enerji temas kuvveti- deformasyon eğrilerinin altında kalan bölge olarak ifade edilmektedir. Bunun yanında enerji-zaman eğrileri kullanılarak da absorbe edilen enerji değeri bulunabilmektedir. Bu eğrilerde enerji seviyesi uygulanan darbe enerjisine eş bir noktaya ulaşır sonrasında eğriler yatay bir formda devam eder. Bu yatay eğrinin değeri absorbe edilen enerjiye eşittir (Ataş ve Sayman, 2008).

3.2.1 Metal Takviyesine Göre İnceleme

3.2.1.1 Metal Takviyesiz Kompozitlerin Sonuçları

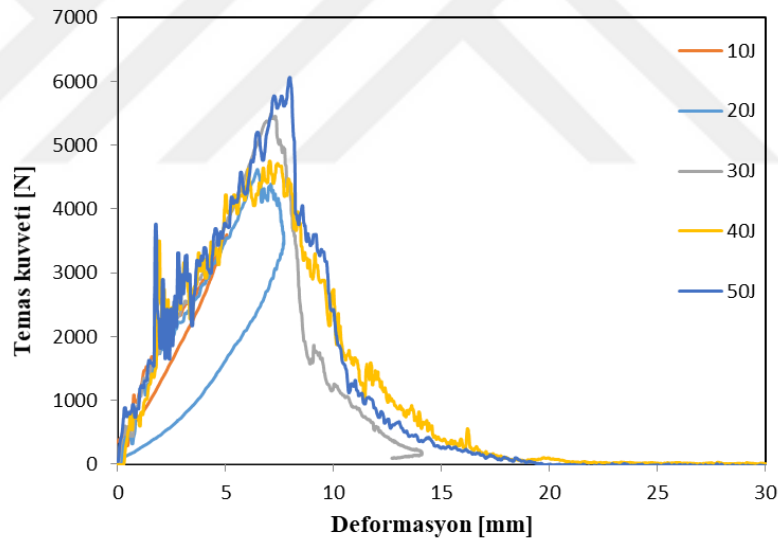
Takviyesiz termoplastik sandviç kompozitler üzerinde farklı enerjilerde, oda sıcaklığında (23°C) yapılmış olan darbe testlerinin temas kuvveti-deformasyon grafikleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu deneyde elde edilen grafiklerde görüldüğü üzere oda sıcaklığında 10J, 20J ve 30J enerjilerde geri sekme ve 40J ve 50J darbe enerjilerinde kompozitlerde delinme meydana gelmiştir. Bu testlerin sonucuna göre en yüksek maksimum temas kuvveti 5610N değeri ile 40J enerjisinde tespit edilmiştir.



Şekil 3.2 Metal takviyesiz kompozitlerin 23°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Şekil 3.3'te metal takviyesiz termoplastik sandviç kompozitler üzerinde farklı enerjilerde, 75°C sıcaklıkta yapılmış olan darbe testlerinin temas kuvveti-deformasyon grafikleri gösterilmiştir. Bu deneyde elde edilen sonuçlarda görüldüğü üzere 10J ve 20J enerjilerde geri sekme, 30J enerjisinde saplanma, 40J ve 50J darbe enerjilerinde kompozitlerde delinme meydana gelmiştir. Bu testlerin sonucuna göre en yüksek maksimum temas kuvveti 6201 N değeri ile 50J enerjisinde tespit edilmiştir.

Sıcaklığın artması ile 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerinde maksimum temas kuvvet değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu değerlerin düşüşü, termoplastik malzemelerin doğal özellikleri sıcaklığın artması ile rijitliklerin düşüşü şeklinde açıklanabilir. Rijitlik azaldıkça şekil değiştirme olabilmesi için gereken etki kuvveti darbeye karşı direnci azalmaktadır.

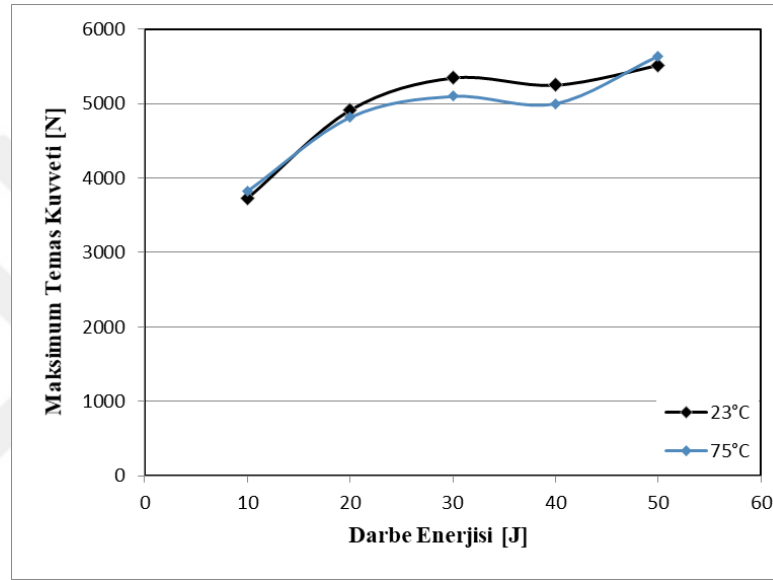


Şekil 3.3 Metal takviyesiz kompozitlerin 75°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Şekil 3.4'te metal takviyesiz sadece %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin maksimum temas kuvveti-darbe enerjisi grafik eğrileri iki farklı sıcaklıkta verilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere aynı yapıya sahip kompozit 5 farklı darbe enerjisi sonucunda 10J den 30J'e kadar maksimum temas kuvvetlerinde dikkate değer bir şekilde artış görülmüştür.

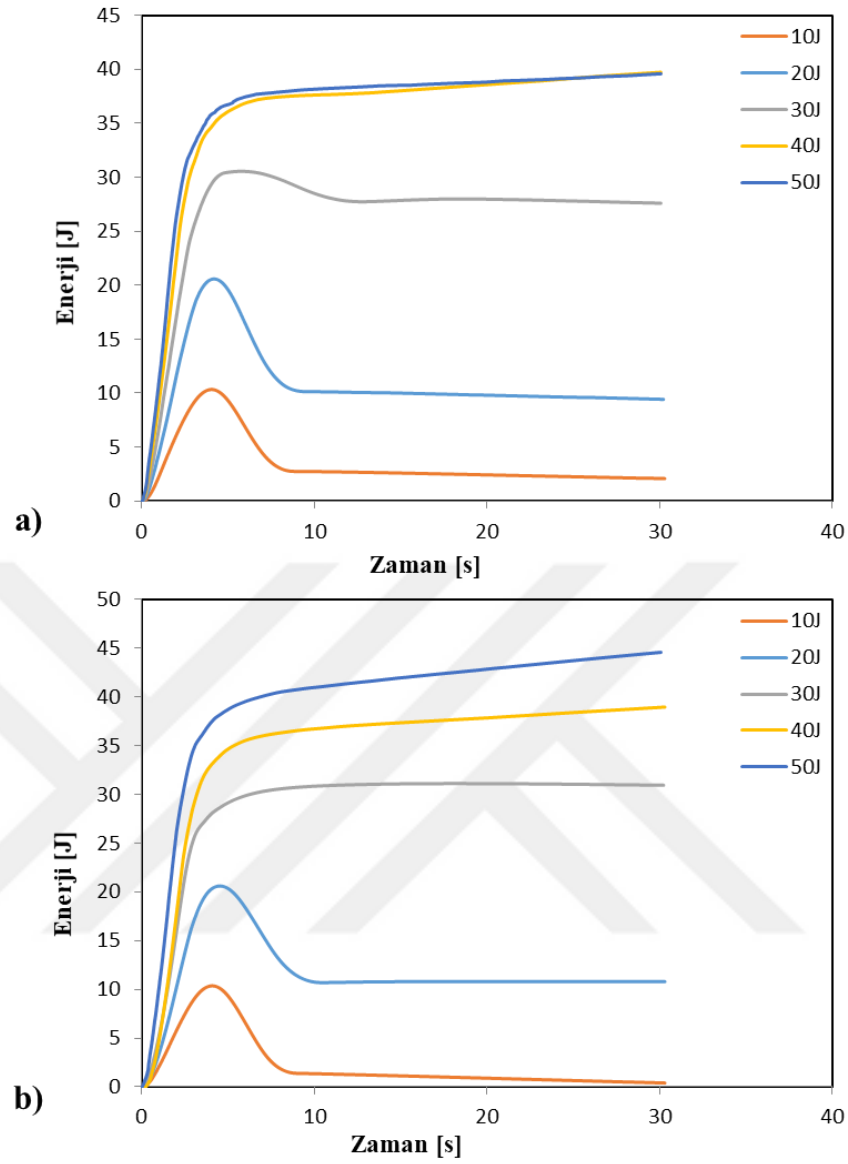
30J den sonra delinme meydana gelmiştir ve devamında stabilleşme ve ardından az miktarda artış gözlemlenmiştir.

Sıcaklık etkisini göze alarak 75°C sıcaklıkta, numune malzemelerinin yumuşadığı için ve rijtliğinin azalması nedeni ile darbeye karşı direnci oda sıcaklığına göre azalmıştır. Grafiklerden görüldüğü üzere maksimum temas kuvveti 20J, 30J ve 40J enerjilerinde 23°C'e göre daha düşük seviyededir.



Şekil 3.4 Metal takviyesiz kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – deformasyon grafikleri

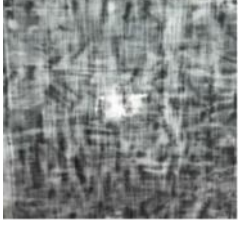
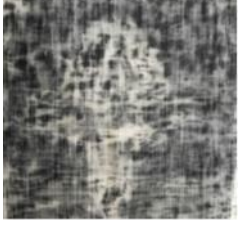
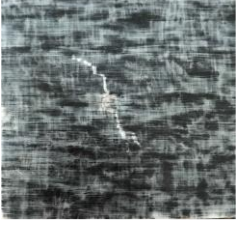
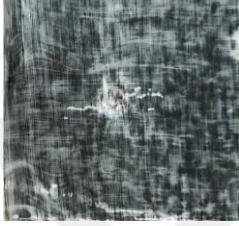
Metal takviyesiz sadece %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen 4mm kalınlığında kompozit numunelerin düşük hızlı darbe deneylerde beş farklı darbe enerjisinde ve iki farklı sıcaklıkta enerji-zaman grafikleri Şekil 3.5'te verilmiştir. İki farklı sıcaklık durumunda absorbe edilen enerjiler karşılaştırdığında 75°C numuneler yumuşadığından ve malzeme rijitliği düştüğünden absorbe edilen enerji delinme öncesine kadar oda sıcaklığında yapılan testlere göre daha yüksek bir değere sahiptir.



Şekil 3.5 Metal takviyesiz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

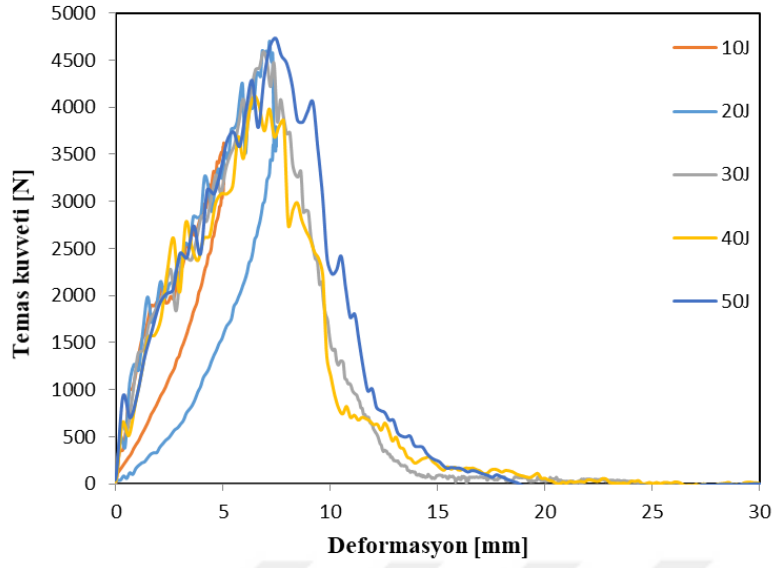
Tablo 3.1’de metal takviyesiz sadece %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin 20J ve 30J darbe sonrası darbe alan yüzeyleri ve arka yüzeylerinin resimleri iki farklı sıcaklıkta gösterilmiştir. Numunelerde 23°C sıcaklığında 20J ve 30J’de darbe alan yüzeylerde hasar görünürken arka yüzeylerde hasar görünmemektedir. Sıcaklık 75°C iken darbe alan yüzeylerde hasar görülmüştür. Arka yüzeylerde 20J’de hasar görülmemiştir ancak 30J’de hasar görülmüştür.

Tablo 3.1 Metal takviyesiz kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için 20J ve 30J’de darbe sonrası resimleri

	23°C		75°C	
	Darbe alan yüzey	Arka yüzey	Darbe alan yüzey	Arka yüzey
20J				
30J				

3.2.1.2 %3 Metal Takviyeli Kompozitlerin Sonuçları

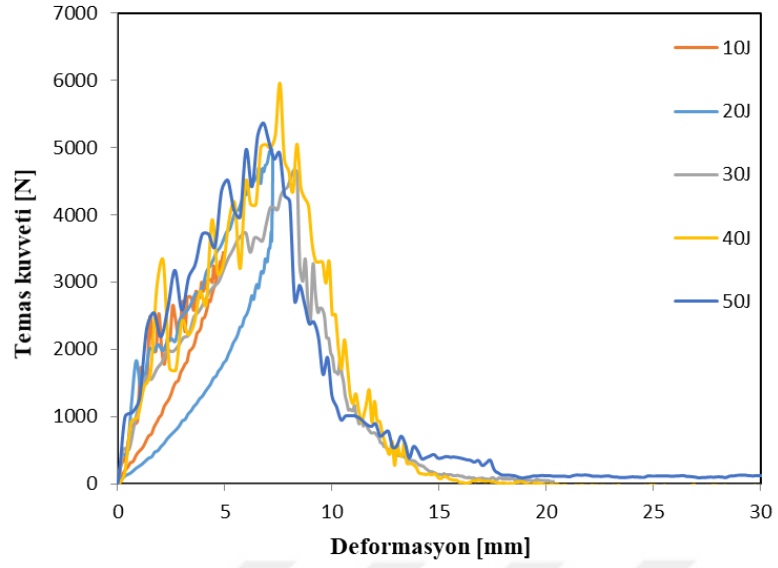
Şekil 3.6’da 3% alüminyum oranına sahip metal takviyeli termoplastik sandviç kompozitler üzerinde farklı enerjilerde ve oda sıcaklığında (23°C) yapılmış olan darbe testlerinin temas kuvveti-deformasyon grafikleri gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlara göre oda sıcaklığında 10J ve 20J’lük darbe enerjilerinde geri sekme gözlemlenmiştir. 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerinde ise metal takviyeli kompozitlerde delinme meydana gelmiştir. Bu testlerin sonucuna göre en yüksek maksimum temas kuvveti 4737N değeri ile 50J enerjisinde tespit edilmiştir.



Şekil 3.6 %3 metal takviyeli kompozitlerin 23°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

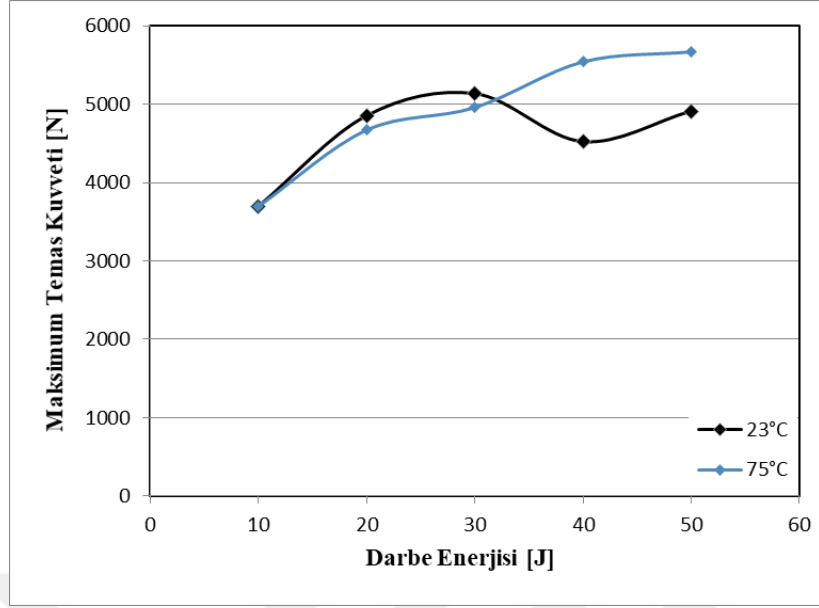
Şekil 3.7’de 3% alüminyum oranına sahip takviyesiz termoplastik sandviç kompozitler üzerinde farklı enerjilerde, 75°C sıcaklıkta yapılmış olan darbe testlerinin temas kuvveti-deformasyon grafikleri gösterilmiştir. Bu testlerde elde edilen grafiklerden görüldüğü üzere 75°C sıcaklığında 10J ve 20J enerjilerde geri sekme ve diğer darbe enerjilerinde (30J, 40J ve 50J) üretilen metal takviyeli kompozitlerde delinme meydana gelmiştir. Bu testlerin sonucuna göre en yüksek maksimum temas kuvveti 5952 N değeri ile 40J enerjisinde tespit edilmiştir.

Termoplastik malzemelerin doğal özellikleri sıcaklığın artması ile rijitliklerin düşüşü şeklinde açıklanan, sıcaklık ile darbeye karşı direncin azalması 10J, 20J ve 30J darbe enerjilerinde gözlemlenmiştir. Sıcaklığın 75°C artmasıyla 10J, 20J ve 30J maksimum temas kuvvet değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. 40J ve 50J değerlerinde ise metal takviyesi sebebi ile bu durum devam etmemiştir.



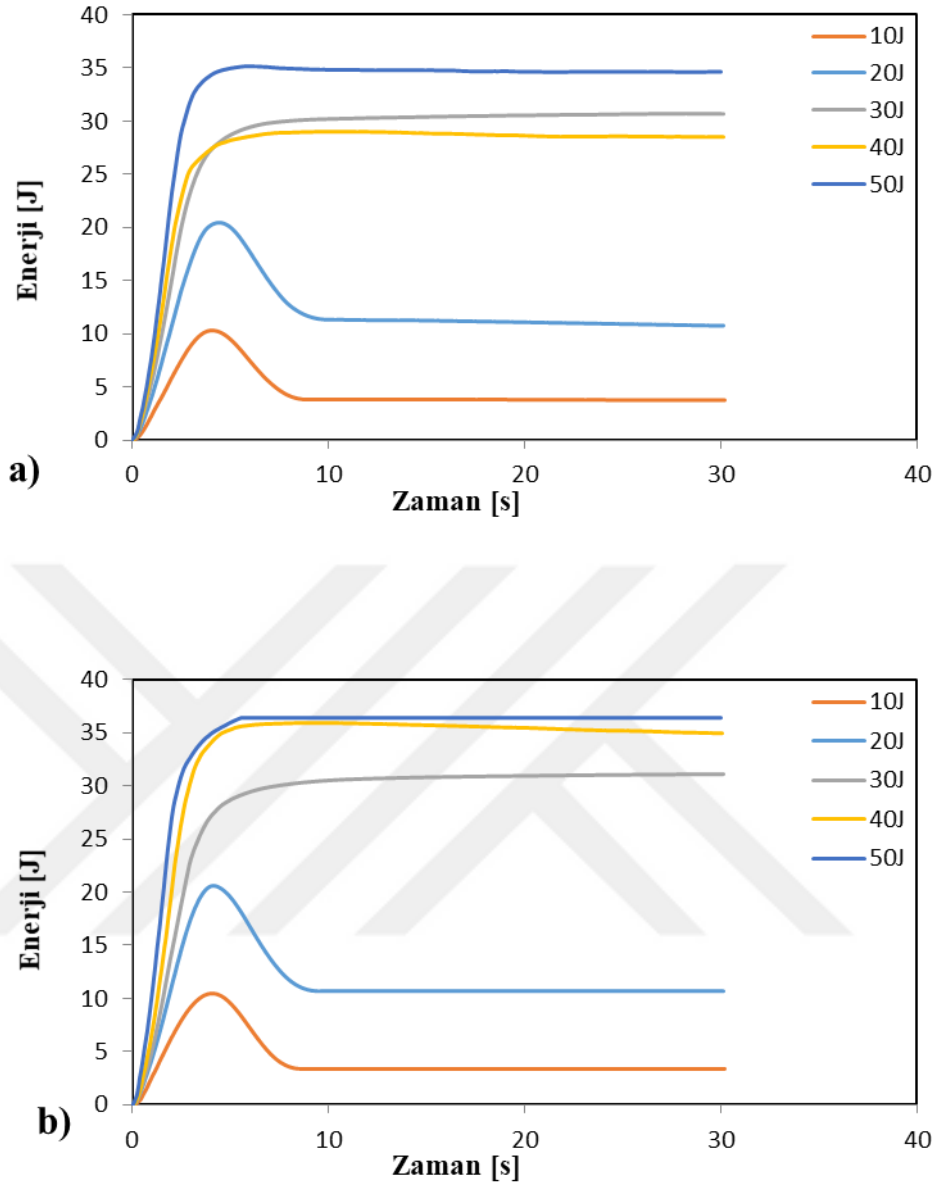
Şekil 3.7 %3 metal takviyeli kompozitlerin 75°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

%3 alüminyum oranına ve %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin maksimum temas kuvveti-darbe enerjisi grafik eğrileri iki farklı sıcaklıkta Şekil 3.8’de verilmektedir. Bu grafiklerde görüldüğü üzere aynı yapılara sahip kompozit 5 farklı enerji de darbe sonucunda 10J den 30J’e kadar maksimum temas kuvvetlerinde dikkate değer bir şekilde artış göstermiş ancak 30J den sonra delineme meydana gelmiştir. Oda sıcaklığı durumundaki değerlerde düşüş; 75°C değerlerinde ise devam eden bir artış görülmüştür.



Şekil 3.8 %3 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Şekil 3.9’de %3 alüminyum oranına ve %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen 4mm kalınlığındaki kompozit numunelerin düşük hızlı darbe deneylerinde beş farklı enerjide ve iki farklı sıcaklıkta enerji-zaman grafikleri verilmiştir. İki farklı sıcaklık ortamında absorbe edilen enerji değerleri karşılaştırdığında metal takviyesi nedeniyle 75°C’de numuneler delinme öncesinde beklenenin aksine daha düşük enerji absorbe etmiştir.



Şekil 3.9 %3 metal takviyeli kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

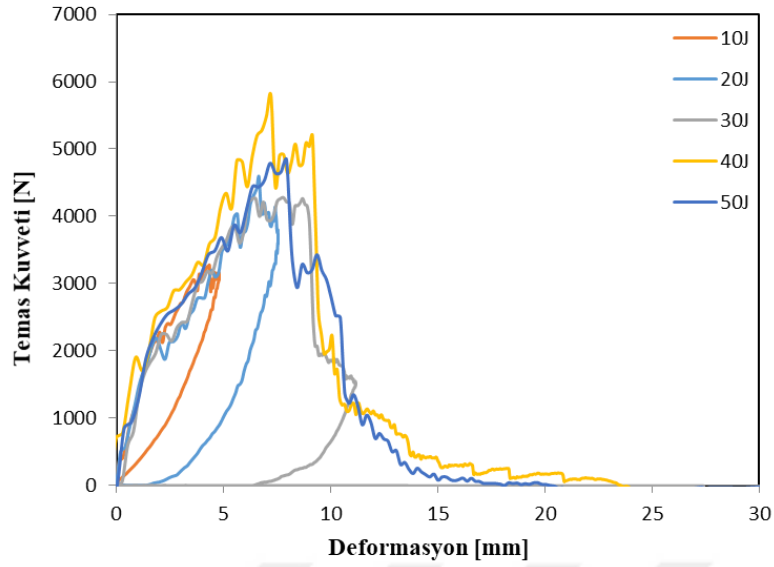
Tablo 3.2’de %3 alüminyum oranında ve %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin 20J ve 30J enerji seviyesinde darbe sonrası darbe alan yüzeyleri ve arka yüzeylerinin resimleri iki farklı sıcaklıkta verilmiştir. Numunelerde 23°C sıcaklığında 20J ve 30J’de darbe alan yüzeylerinde ve 30J’ün arka yüzeyinde hasar görünürken 20J’ün arka yüzeyinde hasar görünmemektedir. Sıcaklık 75°C iken darbe alan yüzeylerinde hasar görülmüştür. Arka yüzeylerde 20J’de hasar görülmemiştir. Ancak 30J’de hasar görülmüştür.

Tablo 3.2 %3 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için 20J ve 30J’de darbe sonrası resimleri

	23°C		75°C	
	Darbe alan yüzey	Arka yüzey	Darbe alan yüzey	Arka yüzey
20J				
30J				

3.2.1.3 %5 Metal Takviyeli Kompozitlerin Sonuçları

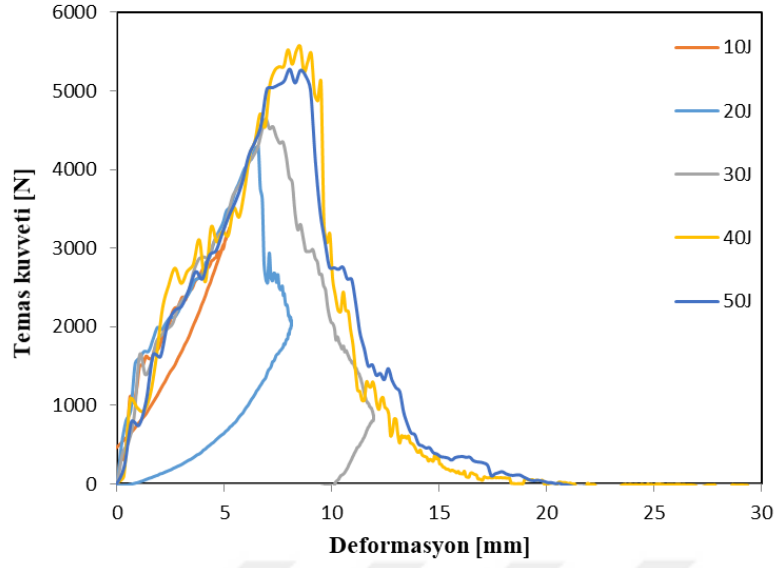
Şekil 3.10’da 5% alüminyum oranına sahip takviyesiz termoplastik sandviç kompozitler üzerinde farklı enerjilerde, oda sıcaklığında (23°C) yapılmış olan darbe testlerinin temas kuvveti-deformasyon grafikleri gösterilmiştir. Grafiklerde görüldüğü üzere oda sıcaklığında 10J, 20J ve 30J enerjilerinde geri sekme ve diğer darbe enerjilerinde (40J ve 50J) metal takviyeli sandviç kompozitlerde delinme meydana gelmiştir. Bu testlerin sonucuna göre en yüksek maksimum temas kuvveti 5791N değeri ile 40J enerjisinde tespit edilmiştir.



Şekil 3.10 %5 metal takviyeli kompozitlerin 23°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

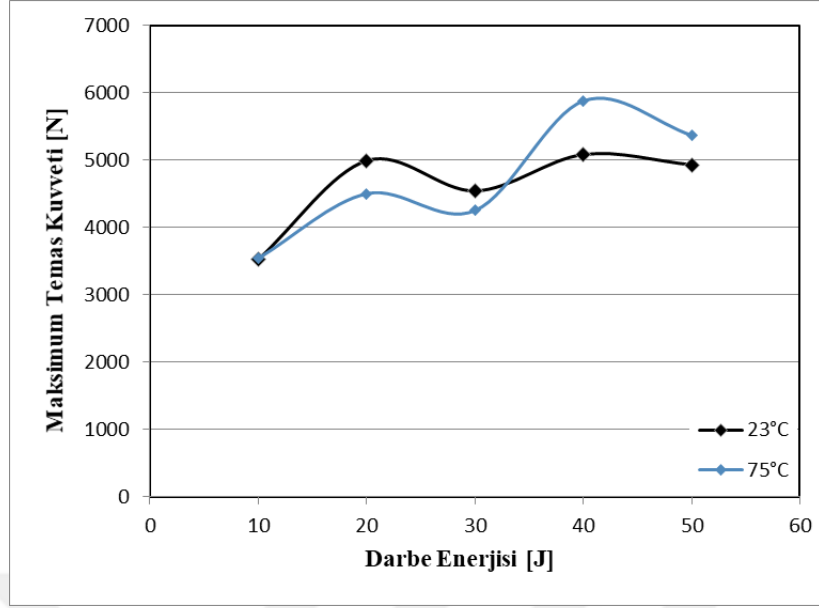
Şekil 3.11’de 5% alüminyum oranına sahip takviyesiz termoplastik sandviç kompozitler üzerinde farklı enerjilerde ve 75°C sıcaklıkta yapılmış olan darbe testlerinin temas kuvveti-deformasyon grafikleri gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere oda sıcaklığında 10J, 20J ve 30J enerjilerinde geri sekme ve 40J ve 50J darbe enerjilerinde üretilen metal takviyeli kompozitlerde delinme meydana gelmiştir. Bu testlerin sonucuna göre en yüksek maksimum temas kuvveti 5879 N değeri ile 40J enerjisinde tespit edilmiştir.

Termoplastik malzemelerin doğal özellikleri sıcaklığın artması ile rijitliklerin düşüşü şeklinde açıklanan, sıcaklık ile darbeye karşı direncin azalması 10J, 20J ve 30J darbe enerjilerinde gözlemlenmiştir. Sıcaklığın 75°C artmasıyla 10J, 20J ve 30J maksimum temas kuvvet değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. 40J ve 50J değerlerinde ise %3 metal takviyeli kompozitlerdeki gibi bu durum devam etmemiştir.



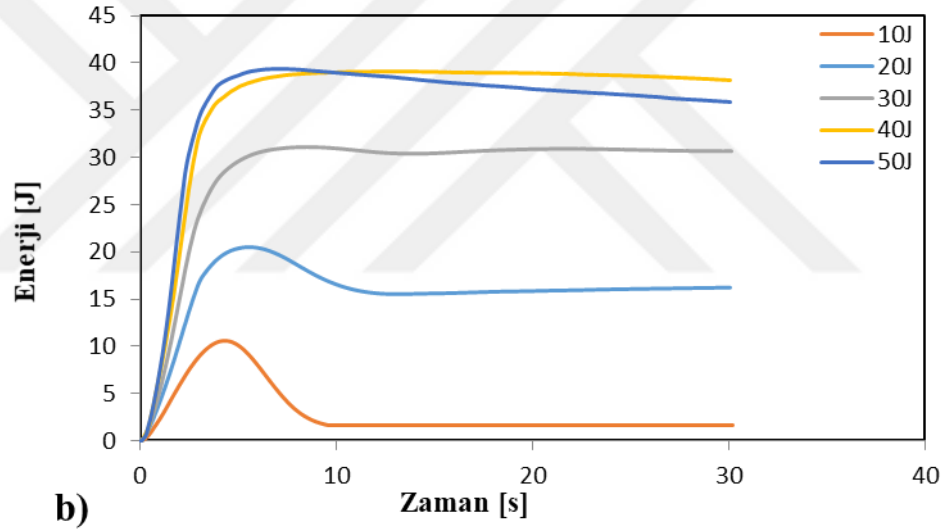
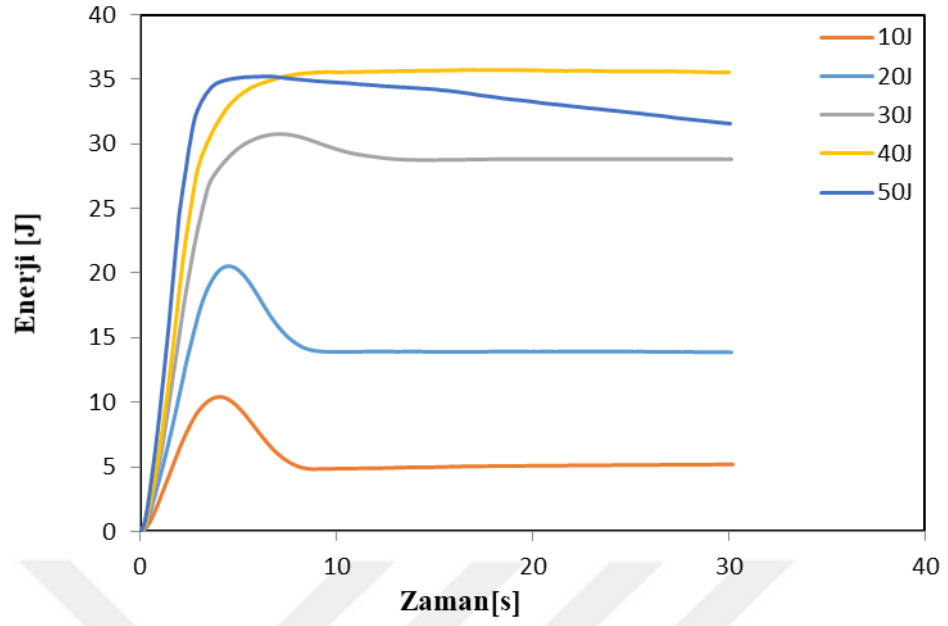
Şekil 3.11 %5 metal takviyeli kompozitlerin 75°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

%5 alüminyum oranına ve %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin maksimum temas kuvveti-darbe enerjisi eğrileri iki farklı sıcaklıkta Şekil 3.12’de verilmektedir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere aynı yapılara sahip kompozit 5 farklı enerji de darbe sonucunda 10J’den ve 20J’e maksimum temas kuvvetlerinde dikkate değer bir şekilde artış göstermiştir. Sonrasında oda sıcaklığı durumundaki değerlerde belli bir değer etrafında sabit kalmış; 75°C değerlerinde ise dalgalı bir artış görülmüştür.



Şekil 3.12 %5 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – deformasyon grafikleri

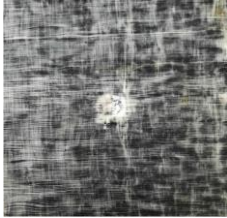
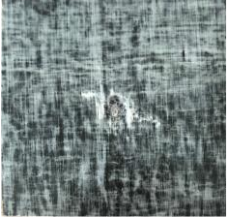
%5 alüminyum oranına ve %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen 4mm kalınlığındaki kompozit numunelerin düşük hızlı darbe deneylerinde beş farklı enerjide ve iki farklı sıcaklıkta enerji-zaman grafikleri Şekil 3.13'te verilmiştir. İki farklı sıcaklık ortamında absorbe edilen enerji değerleri karşılaştırdığında metal takviyesi nedeniyle 75°C'de numuneler delinme öncesinde, %3 metal takviyeli numunelerin aksine daha yüksek enerji absorbe etmiştir.



Şekil 3.13 %5 metal takviyeli kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

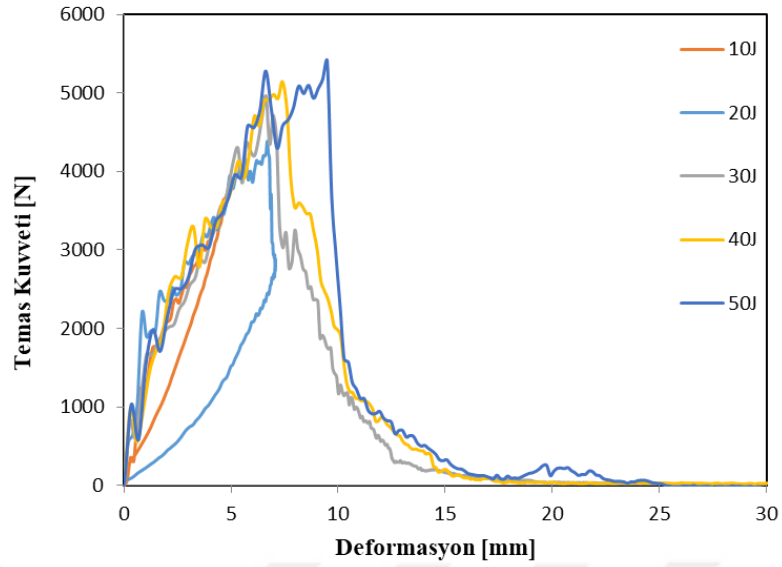
%5 alüminyum oranında ve %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin 20J ve 30J darbe sonrası darbe alan yüzeyleri ve arka yüzeylerinin resimleri iki farklı sıcaklıkta Tablo 3.3'te sunulmuştur. Numunelerde 23°C sıcaklığında 20J ve 30J'de darbe alan yüzeylerinde ve 30J'ün arka yüzeyinde hasar görünürken 20J'ün arka yüzeyinde hasar görünmemektedir. Sıcaklık 75°C iken hem darbe alan yüzeylerde hem de arka yüzeylerde hasar görülmektedir.

Tablo 3.3 %5 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için 20J ve 30J’de darbe sonrası resimleri

	23°C		75°C	
	Darbe alan yüzey	Arka yüzey	Darbe alan yüzey	Arka yüzey
20J				
30J				

3.2.1.4 %10 Metal Takviyeli Kompozitlerin Sonuçları

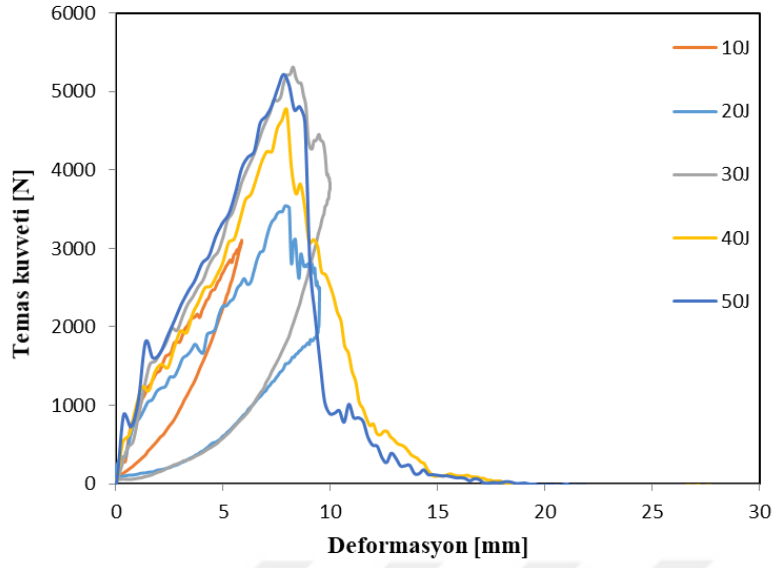
Şekil 3.14’te 10% alüminyum oranına sahip takviyesiz termoplastik sandviç kompozitler üzerinde farklı enerjilerde ve oda sıcaklığında (23°C) yapılmış olan darbe testlerinin temas kuvveti-deformasyon grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere oda sıcaklığında 10J ve 20J enerji seviyesinde geri sekme ve diğer darbe enerjilerinde ise (30J, 40J ve 50J) üretilen sandviç kompozitlerde delinme meydana gelmiştir. Bu testlerin sonucuna göre en yüksek maksimum temas kuvveti 5477N değeri ile 50J enerjisinde tespit edilmiştir.



Şekil 3.14 %10 metal takviyeli kompozitlerin 23°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Şekil 3.15’te 10% alüminyum oranına sahip takviyesiz termoplastik sandviç kompozitler üzerinde farklı enerjilerde ve 75°C sıcaklıkta yapılmış olan darbe testlerinin temas kuvveti-deformasyon grafikleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü üzere 10J, 20J ve 30J enerjilerinde geri sekme ve diğer darbe enerjilerinde ise (40J ve 50J) üretilen sandviç kompozitlerde delinme meydana gelmiştir. Bu testlerin sonucuna göre en yüksek maksimum temas kuvveti 5306 N değeri ile 30J’lük enerjide tespit edilmiştir.

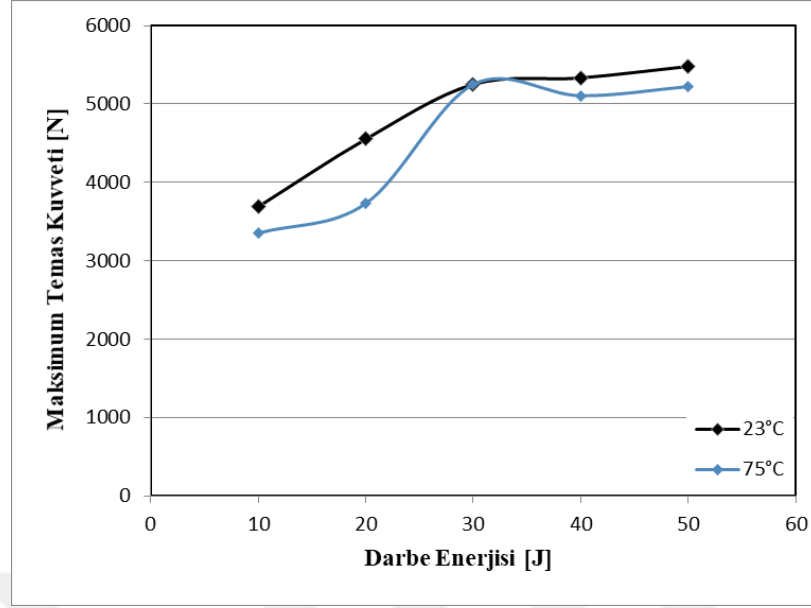
Sıcaklığın artması ile 10J, 20J, 40J ve 50J darbe enerjilerinde maksimum temas kuvvet değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu değerlerin düşüşü, termoplastik malzemelerin sıcaklığın artması ile rijitliklerin düşüşü şeklinde açıklanabilir ve rijitlik azaldıkça şekil değiştirme olabilmesi için gereken etki kuvveti ve darbeye karşı direnci azalmaktadır.



Şekil 3.15 %10 metal takviyeli kompozitlerin 75°C sıcaklığı için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

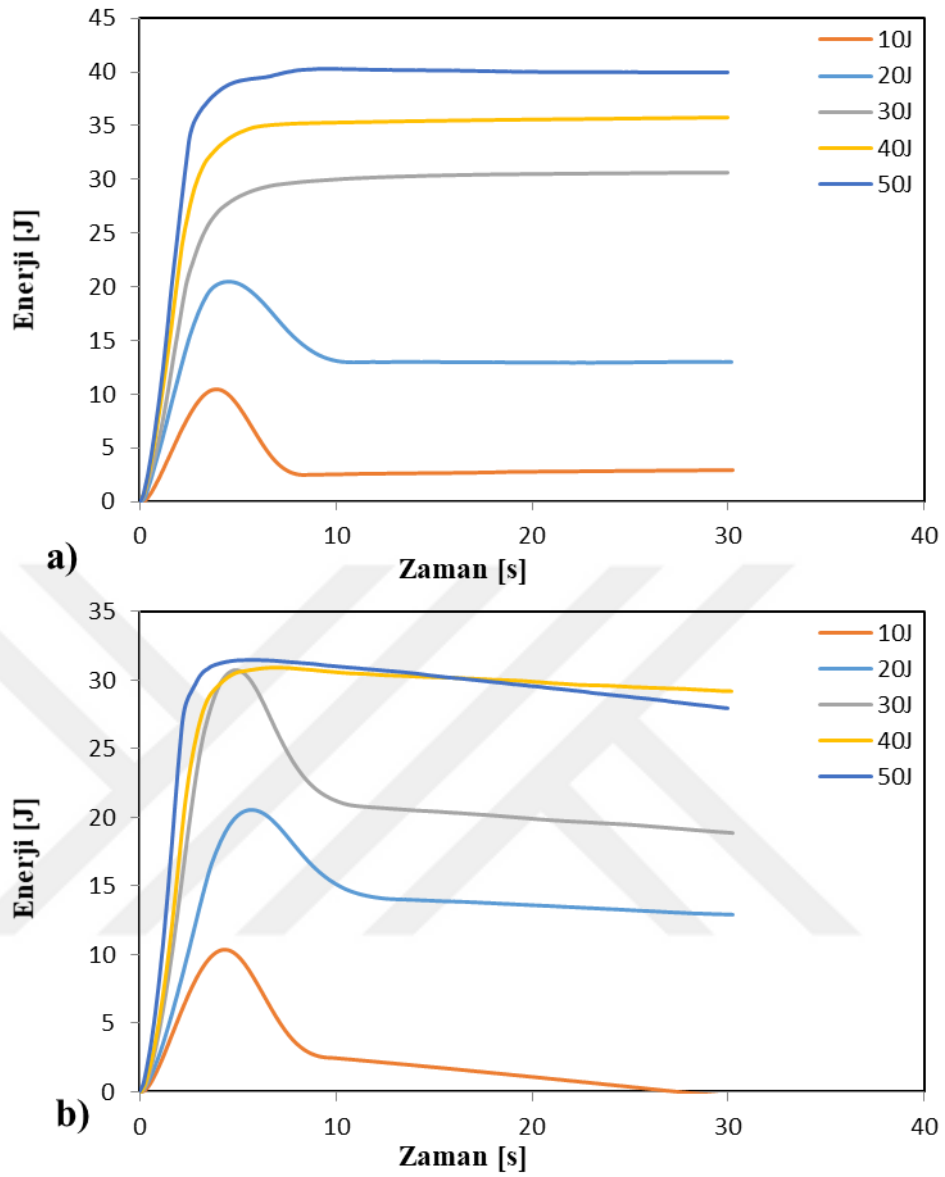
Şekil 3.16’da %10 alüminyum oranında ve sadece %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin maksimum temas kuvveti-darbe enerjisi grafik eğrileri iki farklı sıcaklıkta sunulmaktadır. Bu grafiklerden görüldüğü üzere aynı yapılara sahip kompozit 5 farklı enerji de darbe sonucunda 10J den 30J’e kadar maksimum temas kuvvetlerinde dikkate değer bir şekilde artış göstermiştir. 30J’den sonra delinme meydana gelmiştir ve devamında stabilleşme ve ardından az miktarda artış gözlemlenmiştir.

Sıcaklık etkisini göze alarak 75°C sıcaklıkta, numune malzemelerinin yumuşadığı için ve rijtliğinin azalması nedeni ile darbeye karşı direnci oda sıcaklığına göre azalmış ve grafiklerde de maksimum temas kuvveti 23°C ye göre daha düşük bir seviyededir.



Şekil 3.16 %10 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – deformasyon grafikleri

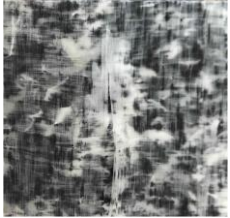
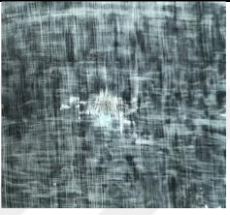
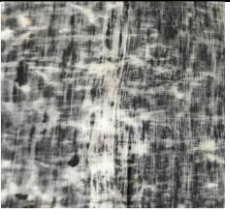
Şekil 3.17’de %10 alüminyum oranında ve sadece %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen 4mm kalınlığındaki kompozit numunelerin düşük hızlı darbe deneylerinde beş farklı enerjide ve iki farklı sıcaklıkta enerji-zaman rafikleri verilmiştir. İki farklı sıcaklık ortamında absorbe edilen enerji değerleri karşılaştırdığında 75°C’de numunelerin yumuşamasından dolayı ve malzeme rijitliğindeki düşüşten dolayı absorbe edilen enerji değeri oda sıcaklığında yapılan testlere göre daha yüksek bir değere sahiptir.



Şekil 3.17 %10 metal takviyeli kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

%10 alüminyum oranında ve %60 cam elyaf yoğunluğuna sahip polipropilen granüllerden üretilen kompozitlerin 20J ve 30J darbe sonrası darbe alan yüzeyleri ve arka yüzeylerinin resimleri Tablo 3.4’de iki farklı sıcaklık için verilmiştir. Numunelerde 23°C sıcaklığında 20J ve 30J’de darbe alan yüzeylerinde ve arka yüzeyinde hasar görülmektedir. Sıcaklık 75°C iken darbe alan yüzeylerde hasar görülmüştür. Arka yüzeylerde 20J’de hasar görülmemiştir. Ancak 30J’de hasar görülmüştür.

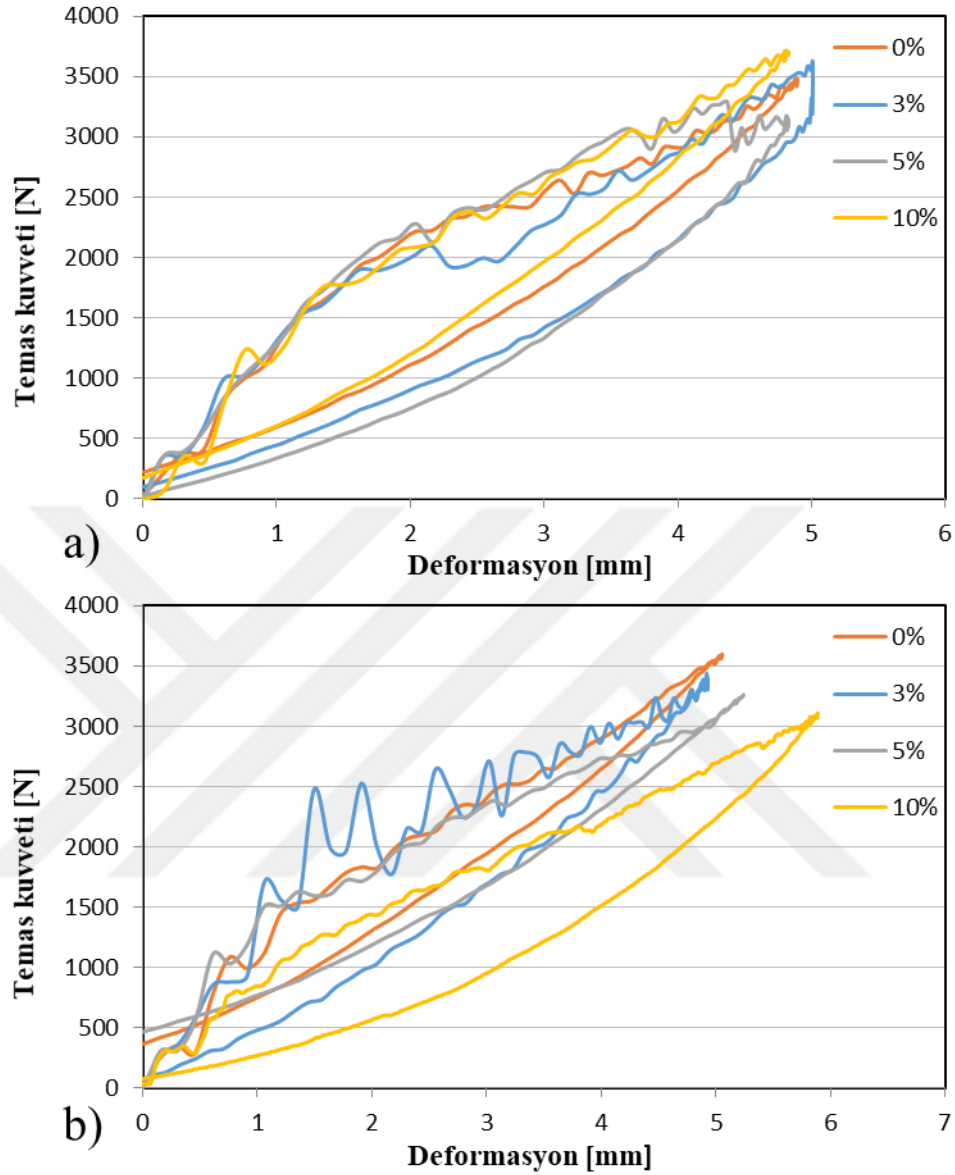
Tablo 3.4 %10 metal takviyeli kompozitlerin 23°C ve 75°C sıcaklıklar için 20J ve 30J’de darbe sonrası resimleri

	23°C		75°C	
	Darbe alan yüzey	Arka yüzey	Darbe alan yüzey	Arka yüzey
20J				
30J				

3.2.2 Darbe Enerjisine Göre İnceleme

3.2.2.1 10J Darbe Enerjisindeki Deney Sonuçları

Şekil 3.18’te temas kuvvet - deformasyon eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre sunulmuştur. Eğrilere göre 10J darbe enerjisi altındaki kompozitlerin mukavemetine metal takviyesi oda sıcaklığında önemli oranda bir etki göstermemiştir. Ancak deney sıcaklığı 75°C’e çıkartıldığında ise metal takviyesi kompozitlerin darbe dayanımını etkilemiştir. 75°C sıcaklığında %3 metal takviyeli numunelerin darbe dayanımı metal takviyesiz numuneler ile hemen hemen aynıdır. Metal takviye oranının %5 ve %10’a artışı ile kompozitlerin darbe dayanımında düşüş görülmektedir. Sıcaklık etkisi incelendiğinde ise metal takviyesinin artışı ile sıcaklığın kompozitin darbe dayanımına olan olumsuz etkisinin daha önemli oranda olduğu görülmektedir. Maksimum temas kuvveti değerleri 10J darbe enerjisinde oda sıcaklığında ki numuneler için %3 ve %10 metal takviyesi ile birlikte sırasıyla %3,4, ve %5,11 oranlarında artmıştır; %5 metal takviyesi ile birlikte ise %4 düşmüştür. 75°C’de ki numuneler için %3, %5 ve %10 metal takviyesi ile birlikte sırasıyla %3,4, %9,7 ve %12,9 oranında düşmüştür.

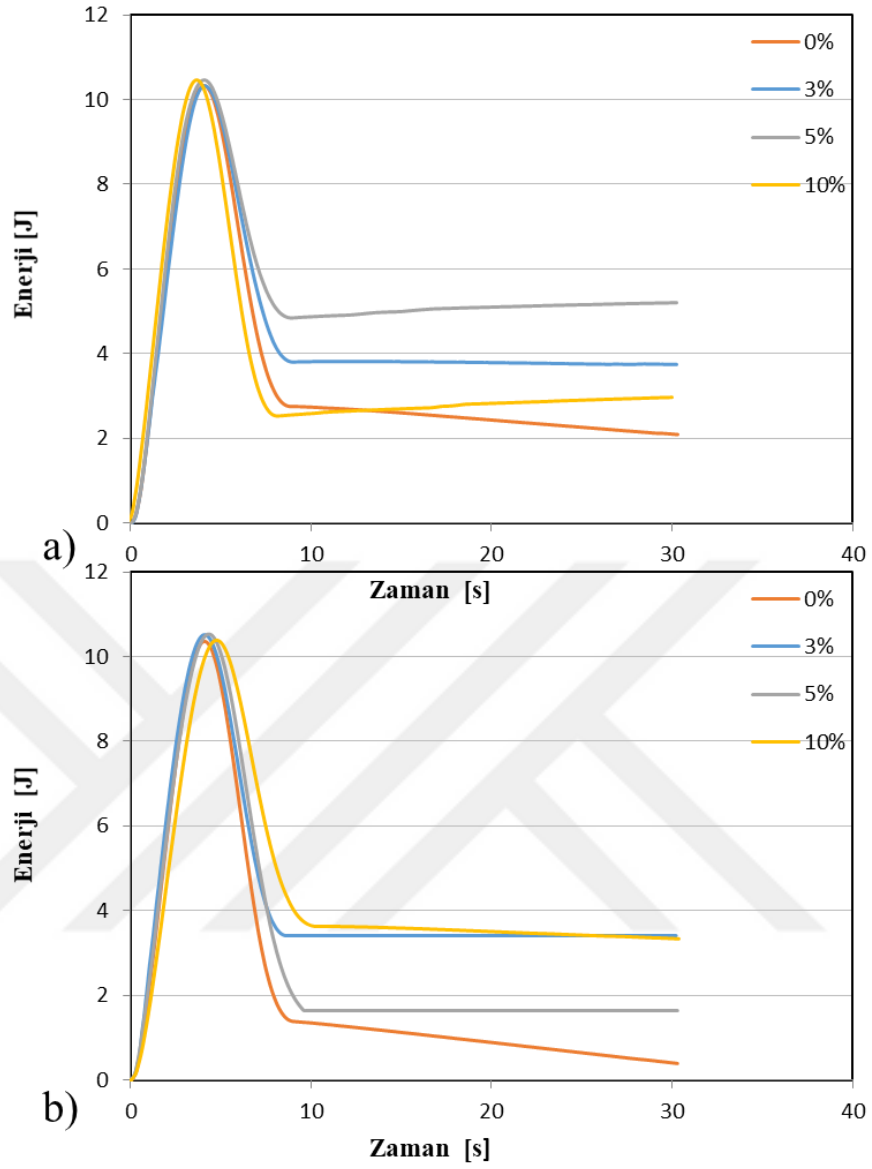


Şekil 3.18 10J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Şekil 3.19’da enerji - zaman eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre sunulmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde metal takviyesiz kompozitin absorbe ettiği enerji değeri 2,56J olarak belirlenmiştir. Metal takviyesinin %3 ve %5’e yükselişi ile orantılı olarak absorbe edilen enerji değerleri 3,82J ve 4,89J’e yükselmektedir. Metal takviyesinin %10’a yükselmesi ile absorbe edilen enerji değeri fiber ve matris oranındaki azalmadan dolayı 2,54J’e düşmüştür.

75°C’de yapılan deneylere bakıldığında ise metal takviyesiz kompozitlerin absorbe ettiği enerji değeri 1,4J’e düşmüştür. 75°C sıcaklığında yapılan deneylerde metal takviyesi %3, %5 ve %10 iken hesaplanan absorbe edilen enerji değeri sırasıyla 3,41J, 1,64 ve 3,62J olarak verilebilir. Sıcaklık artışı ile metal takviyesiz numunenin absorbe ettiği enerji %45 düşüş göstermiştir; %3 ve %5 metal takviyeli numunelerde ise sırası ile %10 ve %66 oranında düşmüştür. Ancak %10 metal takviyeli numunelerde %43 artış gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışının numunelerin matris malzemesini yumuşatması sebebi ile malzemelerin absorbe ettikleri enerjiler düşmüştür ancak %10 metal takviyesindeki yüksek metal takviyesi absorbe edilen enerjinin düşüşünü engellemiştir.





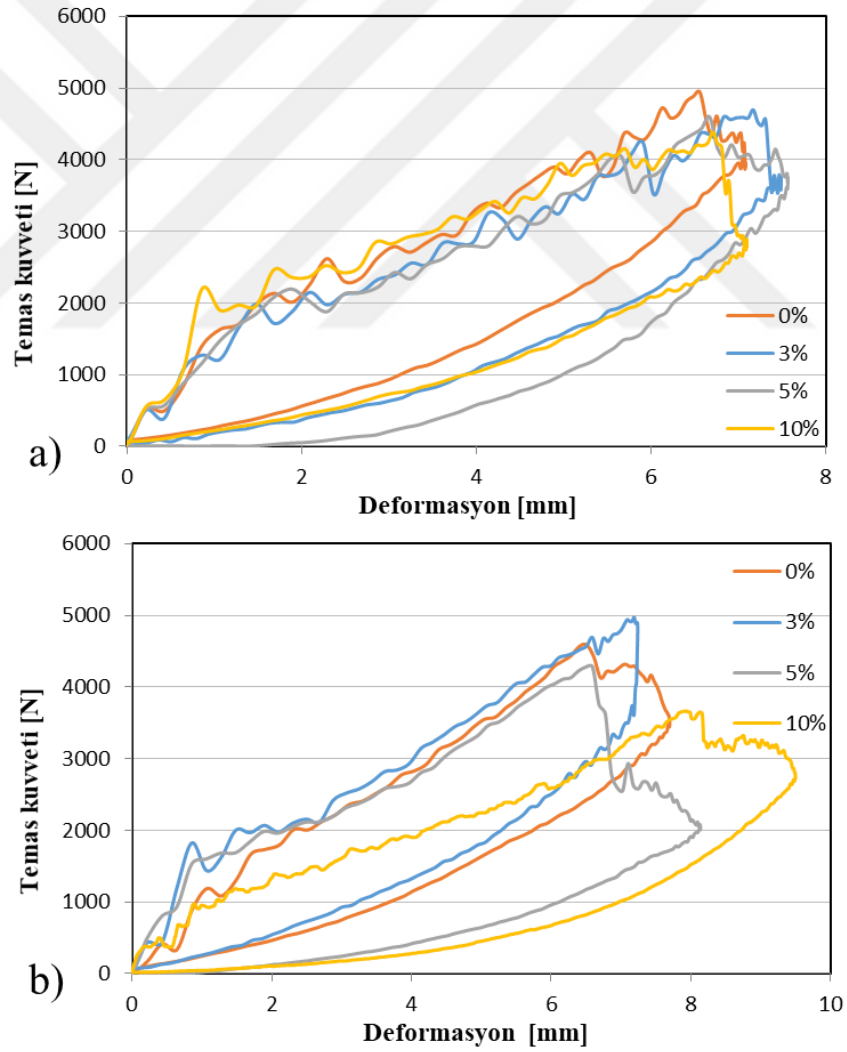
Şekil 3.19 10J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

3.2.2.2 20J Darbe Enerjisindeki Deney Sonuçları

Şekil 3.20’de temas kuvveti - deformasyon eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre sunulmuştur. Eğrilere göre 20J darbe enerjisi altındaki kompozitlerin darbe dayanımına metal takviyesi oda sıcaklığında ciddi bir etki göstermemiştir. Ancak deney sıcaklığı 75°C’e çıkartıldığında ise metal takviyesi kompozitlerin darbe dayanımını etkilemiştir. 75°C sıcaklığında %3 metal takviyeli

numunelerin darbe dayanımı metal takviyesiz numunelerden daha yüksektir. Metal takviye oranının %5'e artışı ile numunelerin darbe dayanımı metal takviyesiz numuneler ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Ancak numunenin deformasyonunun önemli oranda arttığı görülmüştür. Takviye oranının %10'a artışı ile kompozitin darbe dayanımında önemli oranda düşüş ve deformasyonunda artış görülmektedir.

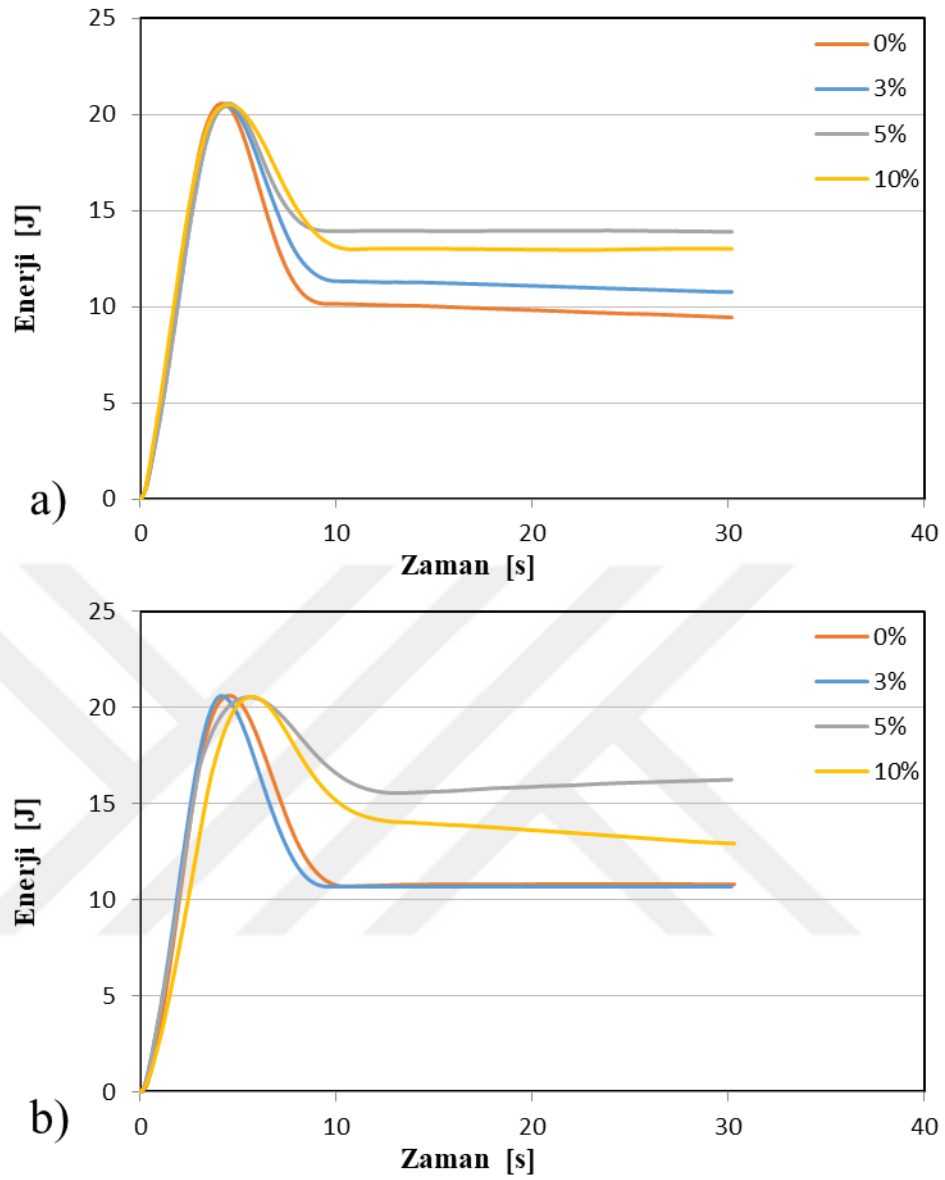
Sıcaklığın etkisi incelendiğinde ise 20J darbe enerjisinde metal takviyesinin %3'ten artırılması ile sıcaklığın kompozitin darbe dayanımını olan olumsuz etkisinin daha önemli oranlarda olduğu görülmektedir.



Şekil 3.20 20J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Şekil 3.21’de enerji - zaman eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde metal takviyesiz kompozitin absorbe ettiği enerji değeri 10,6J olarak belirlenmiştir. Metal takviyesinin %3 ve %5’e yükselişi ile orantılı olarak absorbe edilen enerji değerleri 11,3J ve 13,9J takviye malzemesinin artışından dolayı yükselmektedir. Metal takviyesinin %10’a yükselmesi ile absorbe edilen enerji değeri takviye malzemesinin oranının yüksek oluşundan dolayı 13J’e düşmüştür ve olumsuz etki yaratmıştır.

75°C’de yapılan deneylere bakıldığında ise metal takviyesiz kompozitlerin absorbe ettiği enerji değeri 10,1J’de düşmüştür. 75°C sıcaklığında yapılan deneylerde metal takviyesi %3, %5 ve %10 iken hesaplanan absorbe edilen enerji değerleri sırasıyla 10,7J, 15,1J ve 14J olarak verilebilir. Sıcaklık artışı ile metal takviyesiz numunenin absorbe ettiği enerji %4,7 düşüş göstermiştir; %3 metal takviyeli numunede ise %5,3 oranında düşüş gözlemlenmiştir. Ancak %5 ve %10 metal takviyeli numunelerde sırasıyla %8,6 ve %7,6 artış gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışının numunelerin matris malzemesini yumuşatması sebebi ile malzemelerin absorbe ettikleri enerjiler düşmüştür. Ancak %5 ve %10 metal takviyesindeki yüksek metal takviyesi absorbe edilen enerjinin düşüşünü engellemiştir.



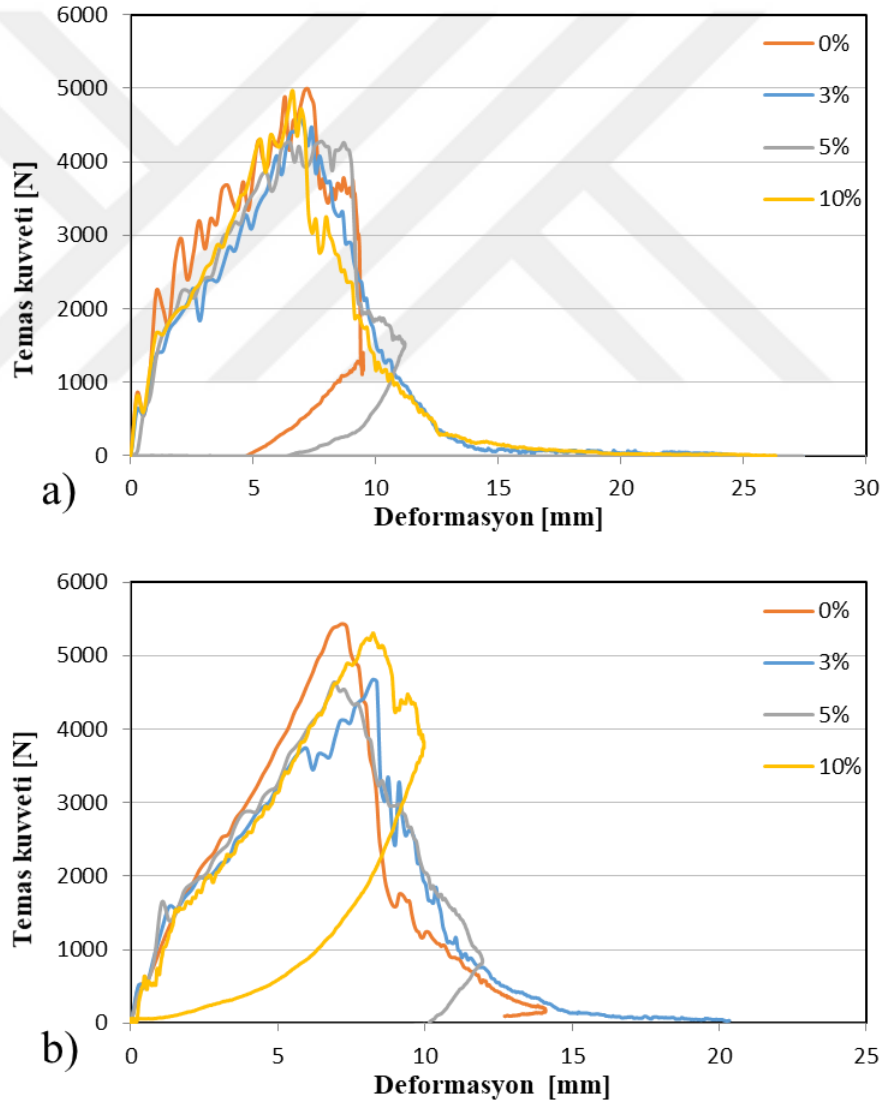
Şekil 3.21 20J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

3.2.2.3 30J Darbe Enerjisindeki Deney Sonuçları

Numunelerin iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre temas kuvveti - deformasyon eğrileri 30J için Şekil 3.22’de verilmiştir. Eğrilere göre 30J darbe enerjisi altındaki kompozitlerin darbe dayanımına metal takviyesi oda sıcaklığında önemli oranda etki göstermemiştir. Ancak deney sıcaklığı 75°C’e çıkartıldığında ise metal takviyesi kompozitlerin darbe dayanımını etkilemiştir. 75°C’de metal

takviyesiz numuneler ile %3 metal takviyeli numunenin darbe dayanımları yakındır. Metal takviye oranının %5 ve %10'a artışı ile kompozitlerin darbe dayanımında düşüş görülmektedir. Ayrıca %10 metal takviyesine sahip kompozitler iki sıcaklıkta da delinmiştir. Ayrıca 75°C'de %3 ve %5 metal takviyeli numunelerin deformasyonu diğer numunelerden daha azdır.

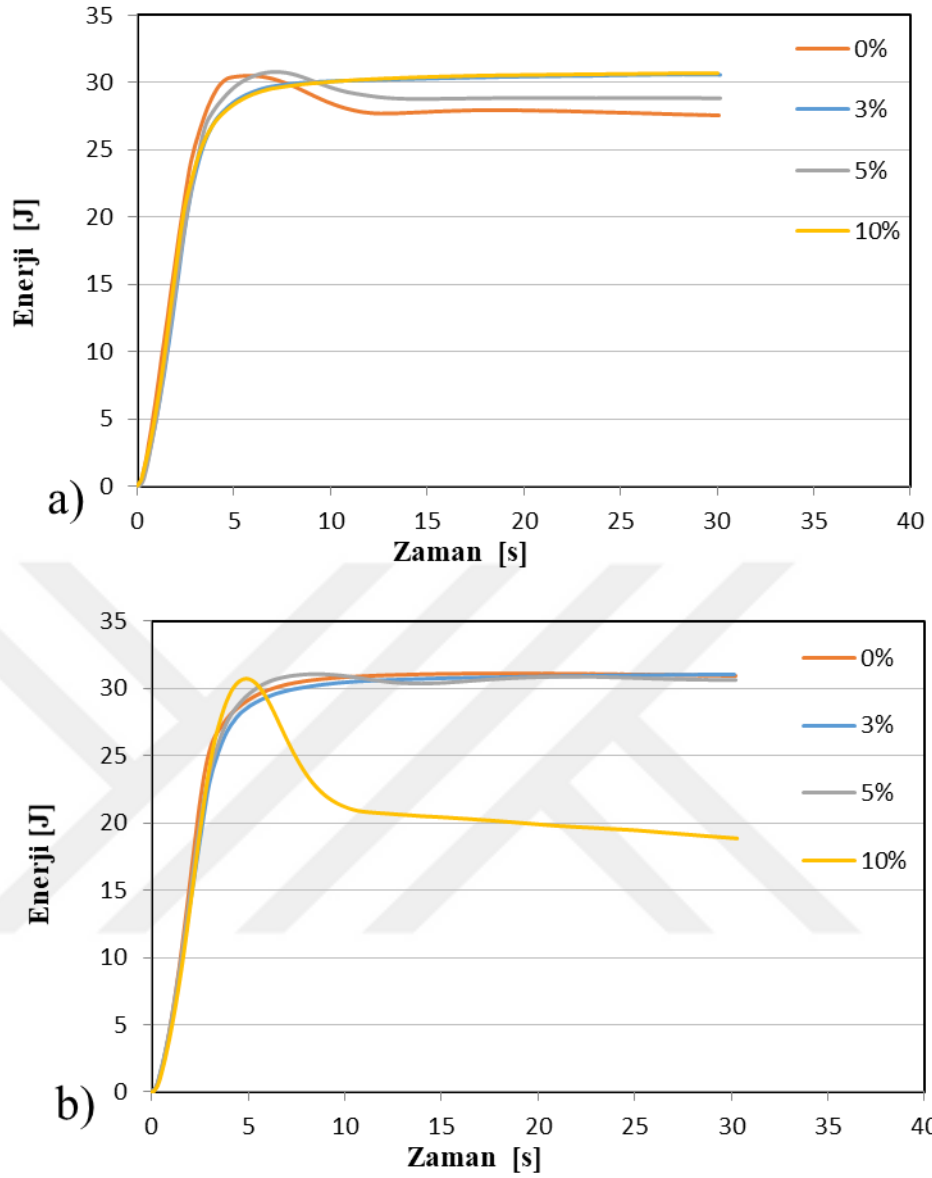
30J enerjisinde ise metal takviyesi %5 ve %10 iken sıcaklığın numunelerin darbe dayanımlarına etkisi olmamıştır. Ancak diğer takviye oranlarında numunelerin darbe dayanımlarına olumlu etki etmiştir.



Şekil 3.22 30J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Numunelerin iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre enerji - zaman eğrileri 30J için Şekil 3.23'te verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde metal takviyesiz kompozitin absorbe ettiği enerji değeri 27,7J olarak belirlenmiştir. Metal takviyesinin %5'e yükselişi ile orantılı olarak absorbe edilen enerji değeri 28,8J'e yükselmektedir. Metal takviyesinin %3 ve %10'a yükselmesi ile absorbe edilen enerji değeri de 30J'e yükselmiştir.

75°C'de yapılan deneylere bakıldığında ise metal takviyesiz kompozitlerin absorbe ettiği enerji değeri 30J'e yükselmiştir. 75°C sıcaklığında yapılan deneylerde metal takviyesi %3, %5 ve %10 iken hesaplanan absorbe edilen enerji değerleri sırasıyla 30J, 30J ve 11,9J olarak verilebilir. Sıcaklık artışı ile metal takviyesiz, %3 ve %5 metal takviyeli numunelerin absorbe ettiği enerji değeri delinme sınırında kalmıştır. Ancak %10 metal takviyeli numunelerde yüksek metal takviyesi sebebi ile absorbe edilen enerji delinme sınırının altında kalmıştır.



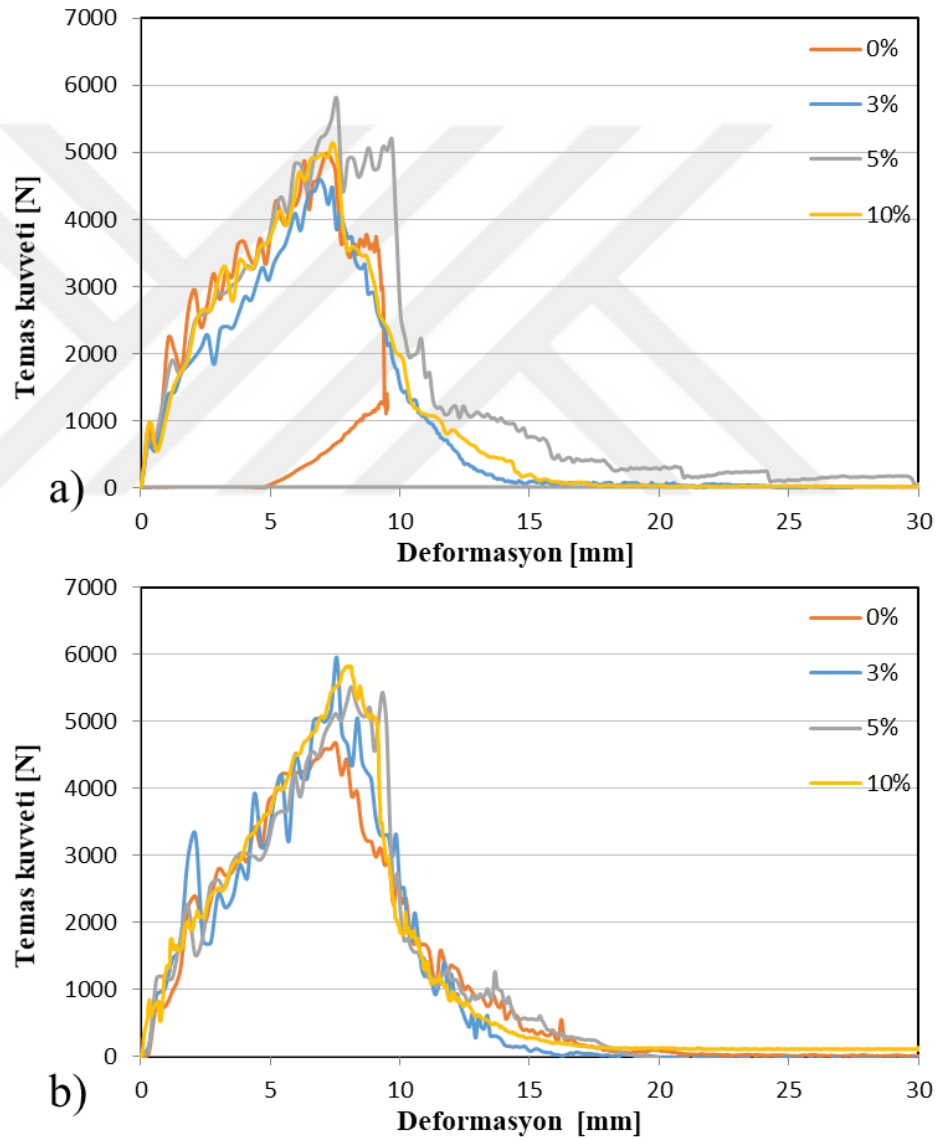
Şekil 3.23 30J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

3.2.2.4 40J Darbe Enerjisindeki Deney Sonuçları

Şekil 3.24'te 40J darbe enerjisine maruz kalmış numunelerin temas kuvveti - deformasyon eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre sunulmuştur. Oda sıcaklığındaki numunelerin takviye oranı %0'dan %3 ve %5'e yükseldiğinde darbe dayanımı artmaktadır. 40J darbe enerjisi altındaki kompozitlerin eğrilere göre sadece oda sıcaklığındaki metal takviyesiz numunelerde geri sekme gözlemlenmiştir. Ancak deney sıcaklığının 75°C'e çıkartılması ile tüm numunelerde

delinme gözlemlenmiştir. Deney sıcaklığının 75°C'e çıkartılması ile metal takviyesiz numunelerin darbe dayanımı düşmüştür. %3, %5 ve %10 metal takviyeli numunelerin darbe dayanımları artmıştır.

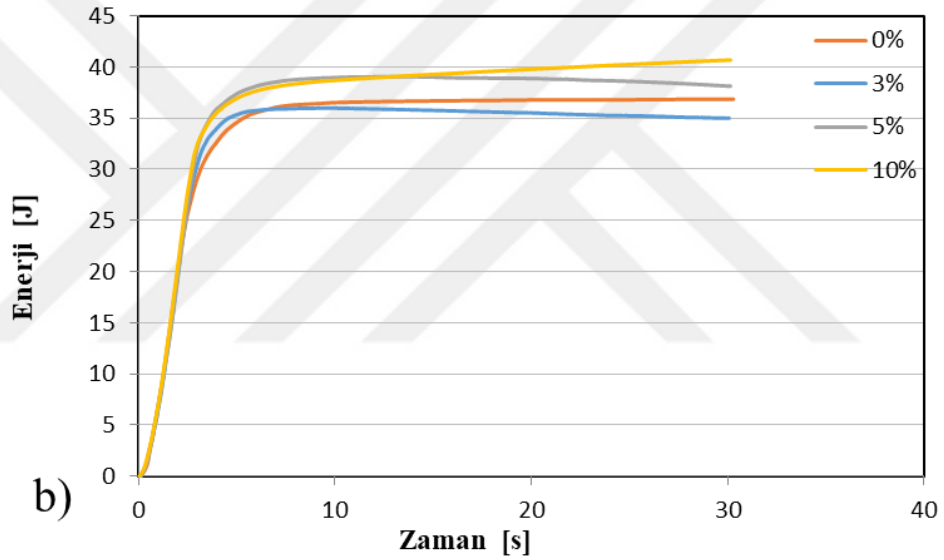
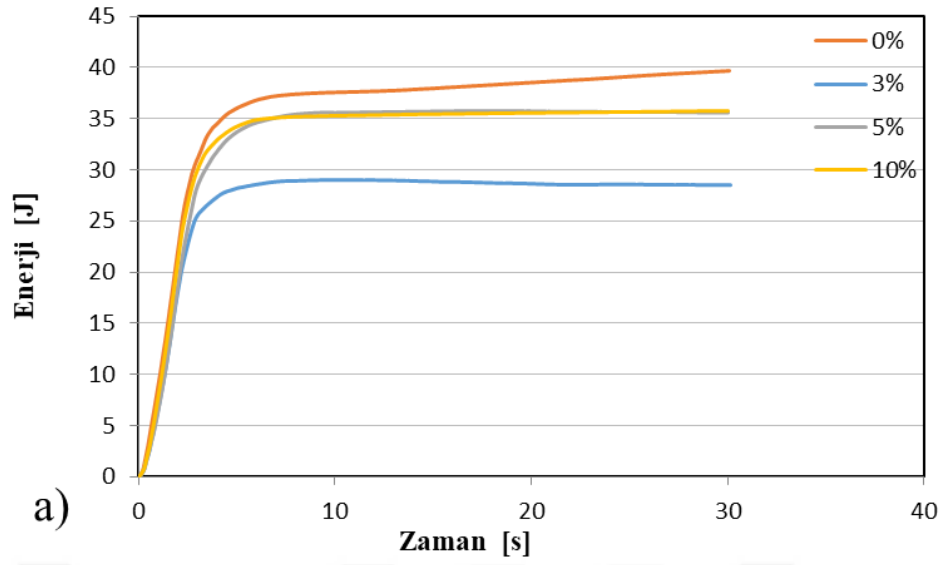
Sıcaklığın etkisi incelendiğinde ise metal takviyesi oranından bağımsız olarak sıcaklığın yükselişinin kompozitin darbe dayanımını etkilediği görülmektedir. Ancak metal takviyesi olmaması durumunda olumsuz bir etki görülmüştür.



Şekil 3.24 40J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Şekil 3.25'te 40J darbe enerjisine maruz kalmış numunelerin enerji - zaman eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre sunulmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde metal takviyesiz kompozitin absorbe ettiği enerji değeri 37,5J olarak belirlenmiştir. Metal takviyesinin %3'e yükselişi ile absorbe edilen enerji değeri 29J'e düşmektedir. Metal takviyesinin %5 ve %10'a yükselmesi ile absorbe edilen enerji değeri 35,4J'e yükselmiştir. %5 ve %10 takviye oranındaki absorbe edilen enerjinin artışının sebebi delinme durumunda metal takviyesinin etkisidir.

75°C'de yapılan deneylere bakıldığında ise metal takviyesiz kompozitlerin absorbe ettiği enerji 35,9J'e düşmüştür. 75°C sıcaklığında yapılan deneylerde metal takviyesi %3, %5 ve %10 iken hesaplanan absorbe edilen enerji değerleri sırasıyla 35,9J, 39,1J ve 39,1J olarak hesaplanmıştır. Sıcaklık artışı ile metal takviyesiz numunenin absorbe ettiği enerji %4,3 düşmüştür. Ancak %3, %5 ve %10 metal takviyeli numunede ise sırası ile %23, %10 ve %10 oranlarında artış gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışının numunelerin matris malzemesini yumuşatması sebebi ile metal takviyesiz kompozitlerin absorbe ettikleri enerjiler düşmüştür. Ancak %3, %5 ve %10 metal takviyesindeki, metal parçaları absorbe edilen enerjinin düşüşünü engellemiştir.



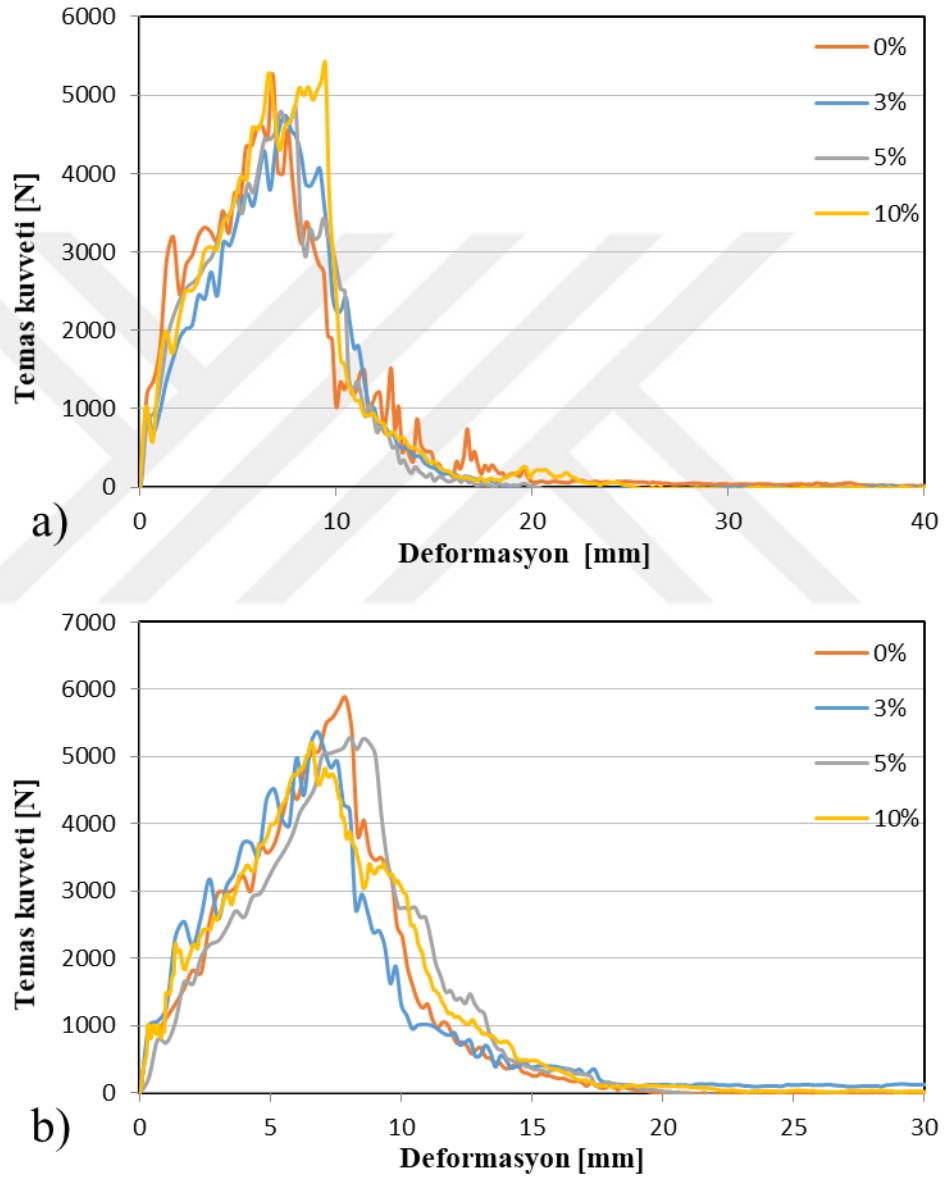
Şekil 3.25 40J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

3.2.2.5 50J Darbe Enerjisindeki Deney Sonuçları

Şekil 3.26’da 50J darbe enerjisine maruz kalmış numunelerin temas kuvveti - deformasyon eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre verilmiştir. Eğrilere göre 50J darbe enerjisi altındaki kompozitlerin darbe dayanımına metal takviyesi oda sıcaklığında önemli oranda bir etki göstermemiştir. Ancak deney sıcaklığı 75°C’e çıkartıldığında ise metal takviyesiz kompozitlerin darbe dayanımı

artmıştır. Metal takviyesi olan numunelerin darbe dayanımı ise oda sıcaklığındaki numunelerde olduğu gibi birbirine yakındır.

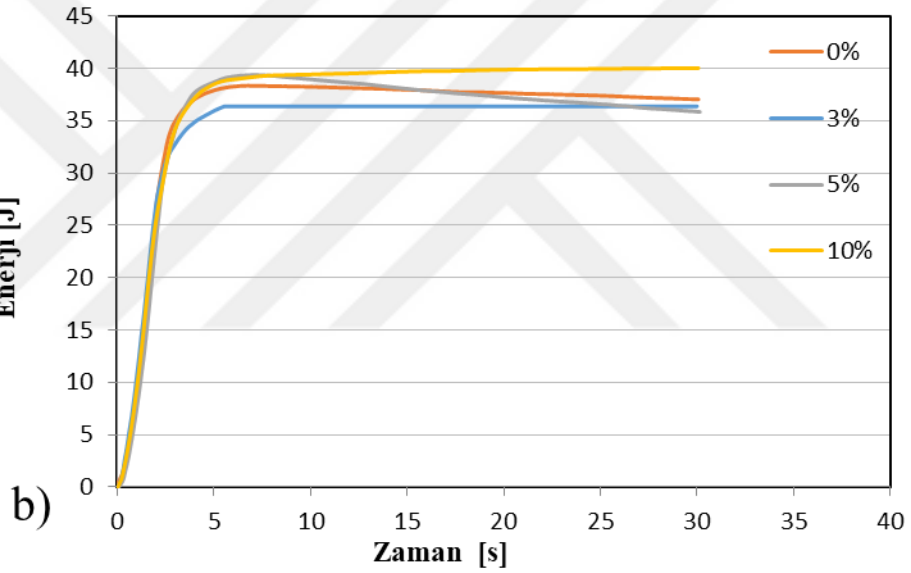
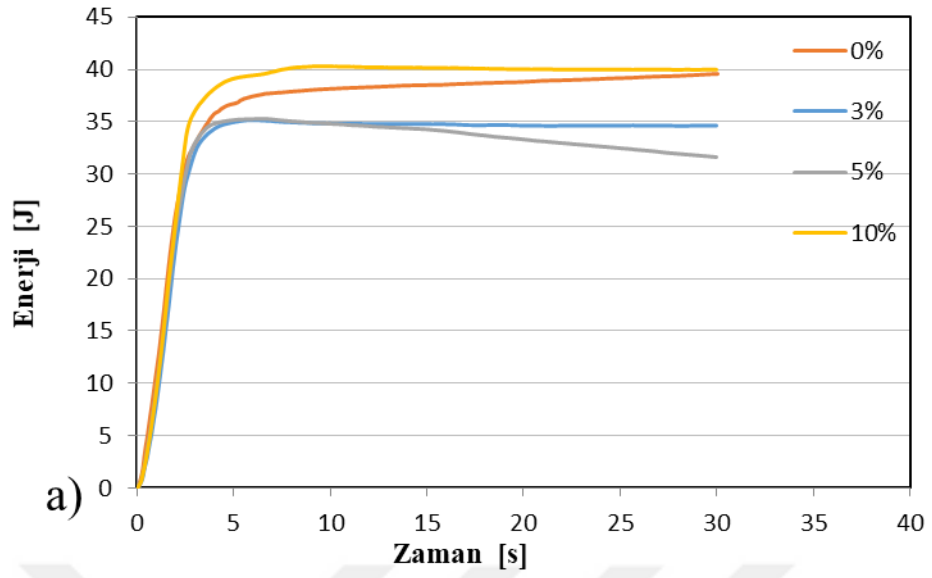
Sıcaklığın etkisi incelendiğinde ise metal takviyesinin artışı ile kompozitin darbe dayanımının sıcaklıktan önemli oranda etkilenmediği görülmüştür.



Şekil 3.26 50J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için temas kuvveti – deformasyon grafikleri

Şekil 3.27’de 50J darbe enerjisine maruz kalmış numunelerin enerji - zaman eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında takviye oranlarına göre verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde metal takviyesiz kompozitin absorbe ettiği enerji değeri 38,3J olarak belirlenmiştir. Metal takviyesinin %3 ve %5’e yükselmesi ile birlikte kompozitlerin absorbe ettikleri enerji değeri 34,9J’e düşmüştür. Metal takviyesinin %10’a yükselmesi ile absorbe edilen enerji değeri 40,2J’e yükselmiştir.

75°C’de yapılan deneylere bakıldığında ise metal takviyesiz kompozitlerin absorbe ettiği enerji değeri 38,1J’e düşmüştür. 75°C sıcaklığında yapılan deneylerde metal takviyesi %3, %5 ve %10 iken hesaplanan absorbe edilen enerji değerleri sırasıyla 36,4J, 39,3J ve 39,3J olarak elde edilmiştir. Sıcaklık artışı ile metal takviyesiz numunenin absorbe ettiği enerji %0,5 düşüş göstermiştir. Ancak %3 ve %5 metal takviyeli numunede ise sırası ile %4,2 ve %12 oranlarında artış gözlemlenmiştir. %10 metal takviyeli numunede %2,2 düşüş görülmektedir. Sıcaklık artışının numunelerin matris malzemesini yumuşatması sebebi ile metal takviyesiz kompozitlerin absorbe ettikleri enerjiler düşmüştür. Ancak %3 ve %5 metal takviyesindeki, metal parçaları absorbe edilen enerjinin düşüşünü engellemiştir. %10 metal takviyeli kompozitlerin metal takviyesinin çok yüksek olması sebebi ile sıcaklık artışı absorbe edilen enerjiyi düşürmüştür.



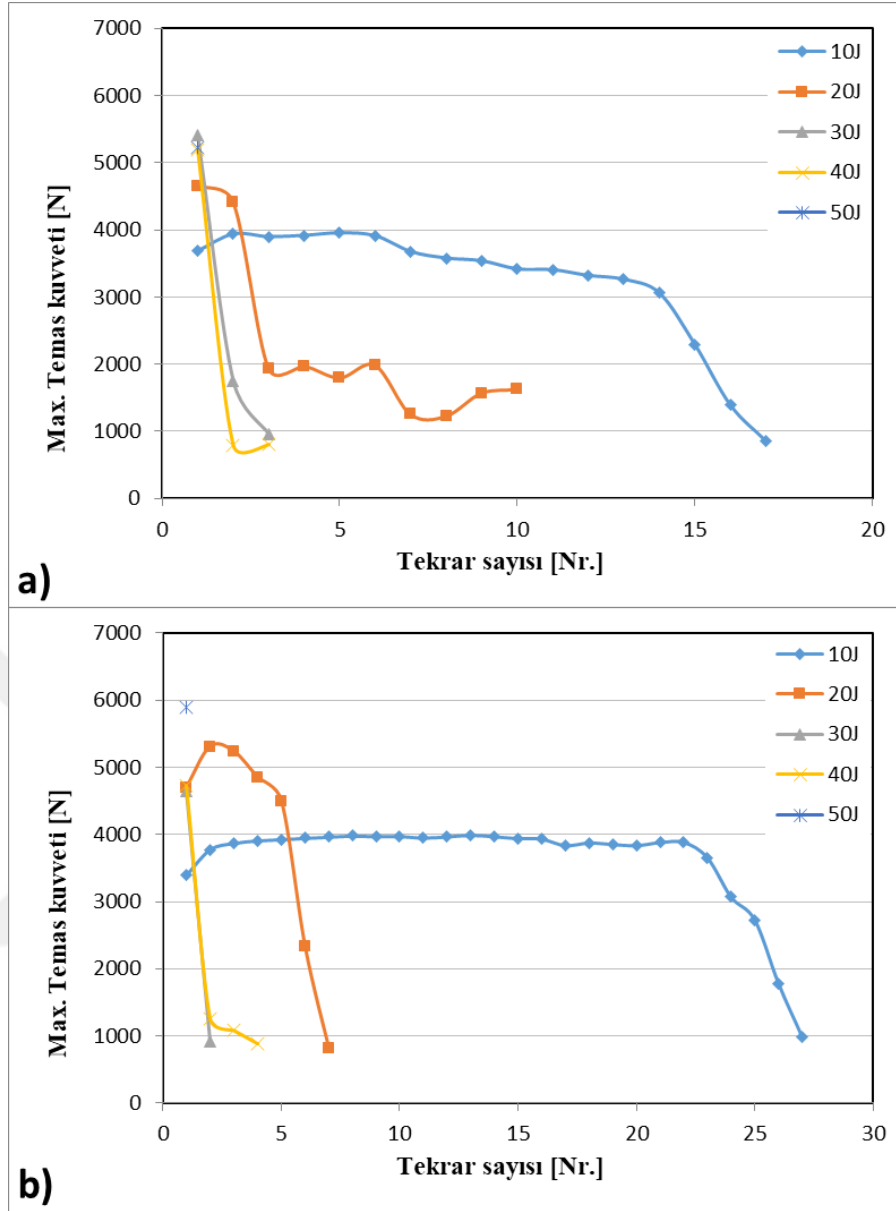
Şekil 3.27 50J darbe enerjisine maruz kompozitlerin a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için enerji – zaman grafikleri

3.3 Tekrarlı Düşük Hızlı Darbe Deneyleri

Çalışma kapsamında yapılan düşük hızlı darbe deneyleri sonrasında kompozitlerin tekrarlı yükler altındaki davranışları hakkında daha geniş bilgi sahibi olmak amacıyla tekrarlı darbe deneyleri yapılmıştır. Tekrarlı darbe deneylerini yorumlamak için ise maksimum temas kuvveti - tekrar sayısı ve maksimum deformasyon-tekrar sayısı grafikleri çizilmiştir.

3.3.1 Metal Takviyesiz Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Sonuçları

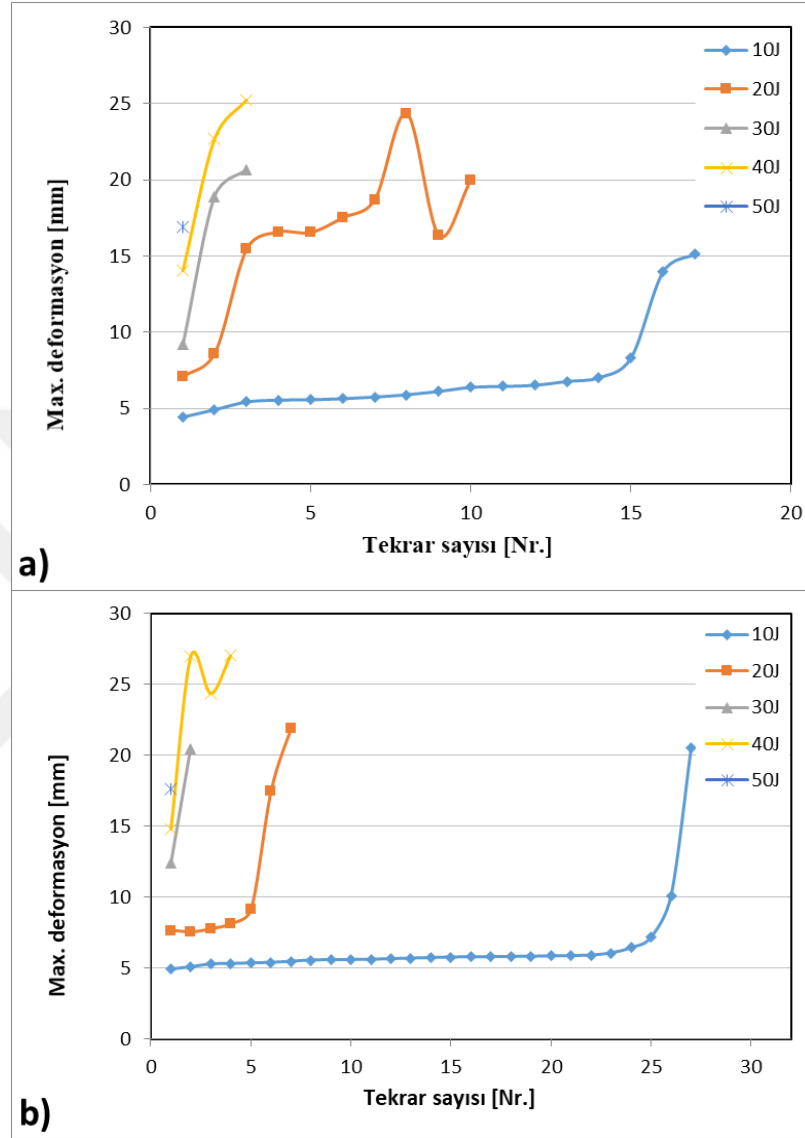
Şekil 3.28’de metal takviyesiz kompozitlerin maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında darbe enerjilerine göre verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde 10J enerjisinde maksimum temas kuvveti önce yükselmiş sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. Diğer enerjilerde ise maksimum temas kuvvetinde ilk darbe sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. 75°C’de yapılan deneyler incelendiğinde 10J ve 20J enerjisinde maksimum temas kuvveti önce yükselmiş sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. Diğer enerjilerde ise oda sıcaklığındaki duruma benzer olarak maksimum temas kuvvetinde ilk darbe sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı metal takviyesiz kompozitlerin tekrarlı darbe dayanımlarına olumlu bir etki yaratmıştır.



Şekil 3.28 Metal takviyesiz kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı grafikleri

Şekil 3.29’da metal takviyesiz kompozitlerin maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında darbe enerjilerine göre verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde 10J enerjisinde maksimum deformasyon değerleri daha düşük kalma eğilimindedir. Ancak diğer enerjilerde maksimum deformasyon değerlerinin ani olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür. 75°C’de yapılan deneyler incelendiğinde ise 10J ve 20J enerjisinde maksimum deformasyon değerleri daha düşük kalma eğilimindedirler. Daha yüksek

enerjilerde ise oda sıcaklığındaki duruma benzer olarak maksimum temas kuvvetinde ilk darbe sonrasında düşüş gözlemlenmiştir.

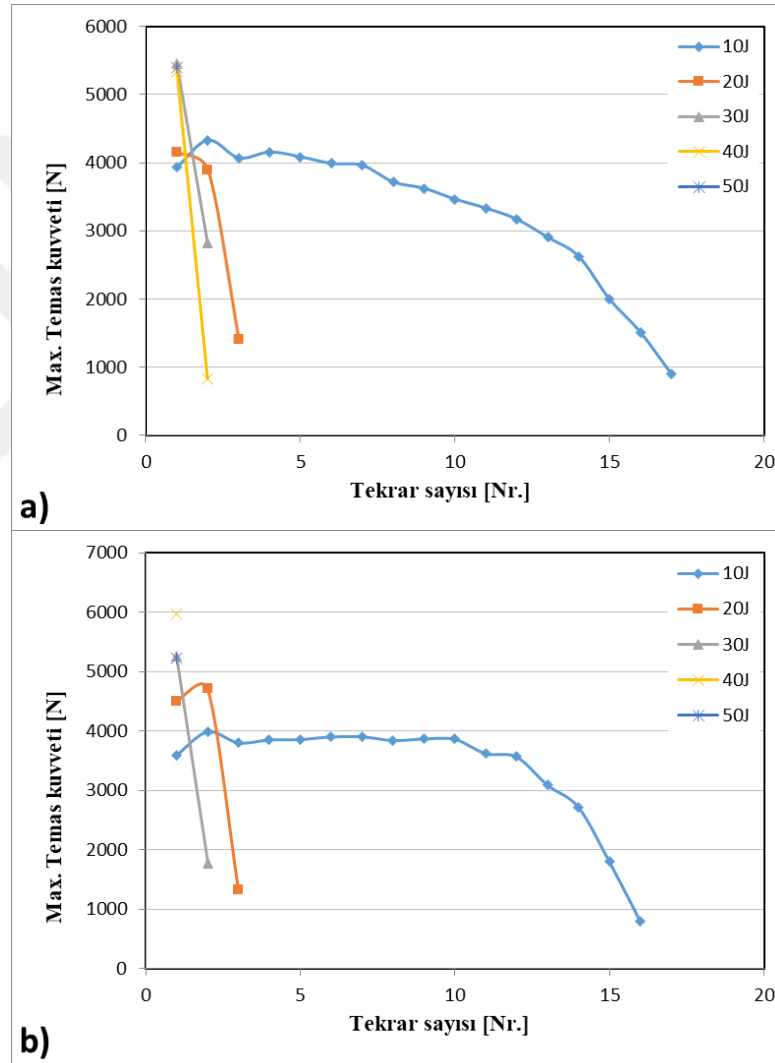


Şekil 3.29 Metal takviyesiz kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum deformasyon – tekrar sayısı grafikleri

3.3.2 %3 Metal Takviyeli Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Sonuçları

Şekil 3.30'da %3 metal takviyeli kompozitlerin maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında darbe enerjilerine göre sunulmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde 10J enerjisinde maksimum temas kuvveti önce yükselmiş sonrasında düzenli bir şekilde düşmüştür. Daha yüksek

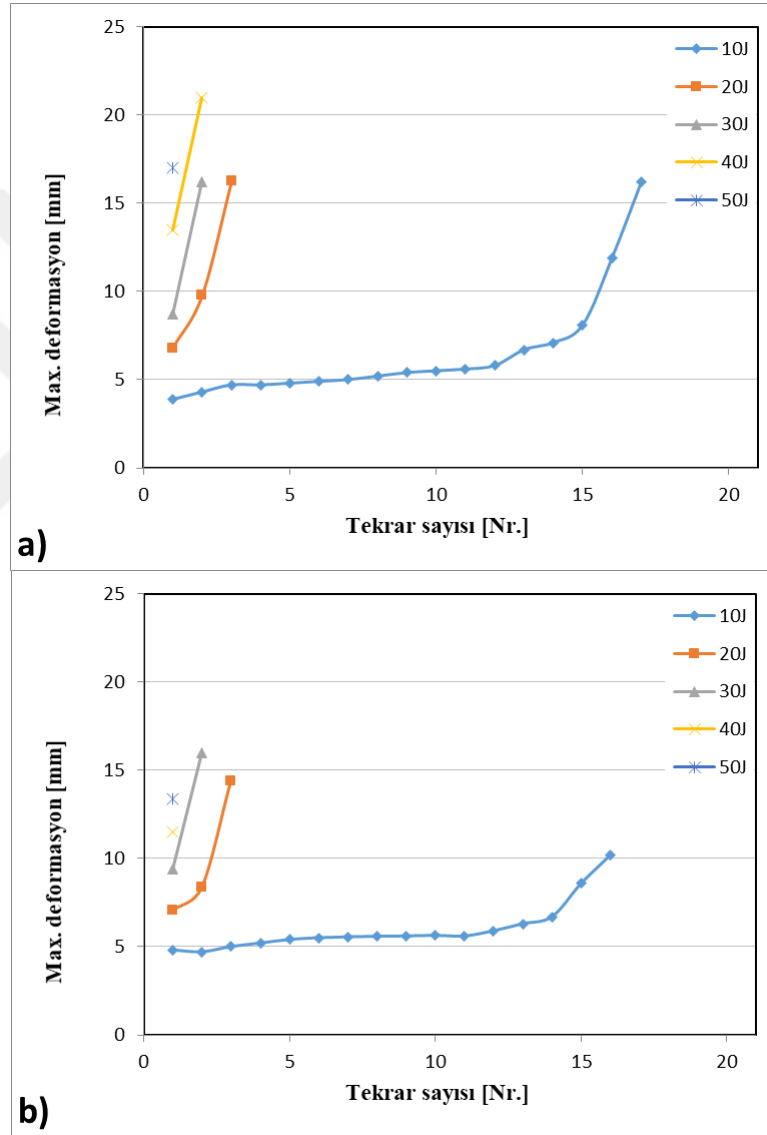
enerjilerde ise maksimum temas kuvvetinde ilk darbe sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. 75°C’de yapılan deneyler incelendiğinde 10J ve 20J enerjisinde maksimum temas kuvveti önce yükselmiş sonrasında düşmüştür. 30J enerjisinde ise oda sıcaklığındaki duruma benzer olarak maksimum temas kuvvetinde ilk darbe sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. 40J ve 50J enerjilerinde ise tekrar sayısı 1’e düşmüştür. Sıcaklık artışı, %3 metal takviyeli kompozitlerin tekrarlı darbe dayanımlarına metal takviyesiz kompozitlere benzer olarak olumlu bir etki yapmıştır.



Şekil 3.30 %3 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı grafikleri

Şekil 3.31’de %3 metal takviyeli kompozitlerin maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında darbe enerjilerine göre sunulmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde 10J enerjisinde maksimum

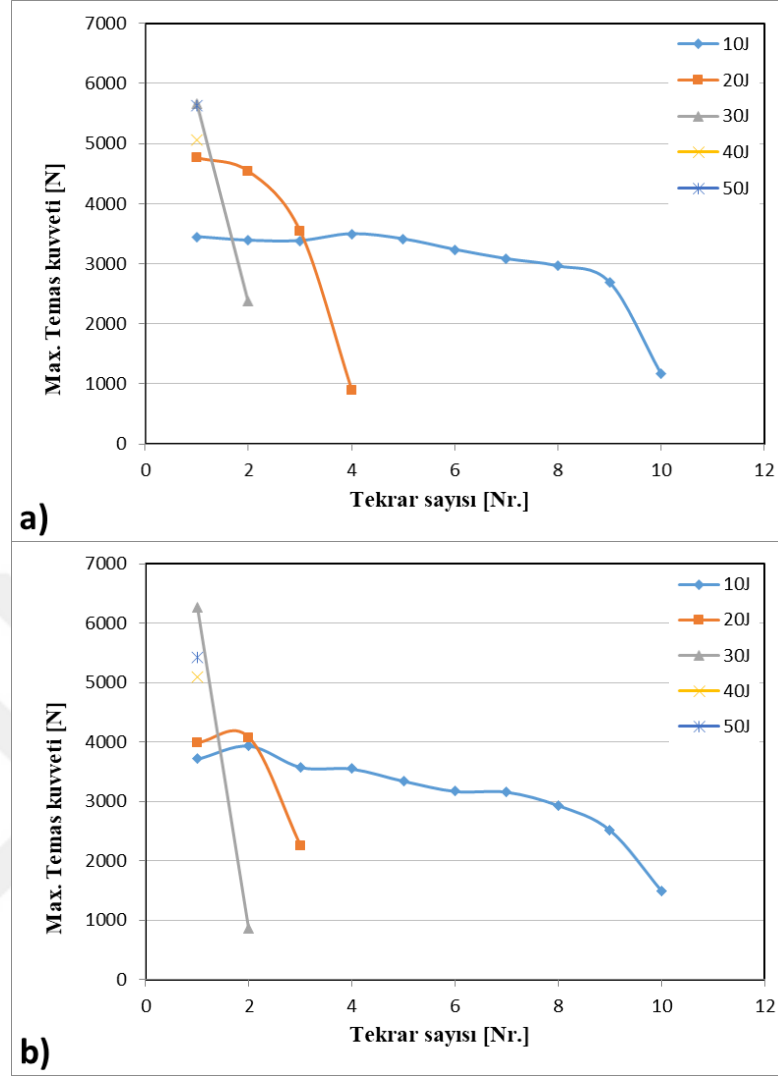
deformasyon değerleri daha düşük kalma eğilimindedirler. Ancak diğer enerjilerde maksimum deformasyon değerleri ani olarak yükselmiştir. 75°C’de yapılan deneyler incelendiğinde ise 10J ve 20J enerjisinde maksimum deformasyon değerleri düşmüştür. 30J enerjisinde ise oda sıcaklığındaki duruma benzer olarak maksimum temas kuvvetinde ilk darbe sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. 40J ve 50J enerjilerinde ise tekrar sayısı 1’e düşmüştür.



Şekil 3.31 %3 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum deformasyon – tekrar sayısı grafikleri

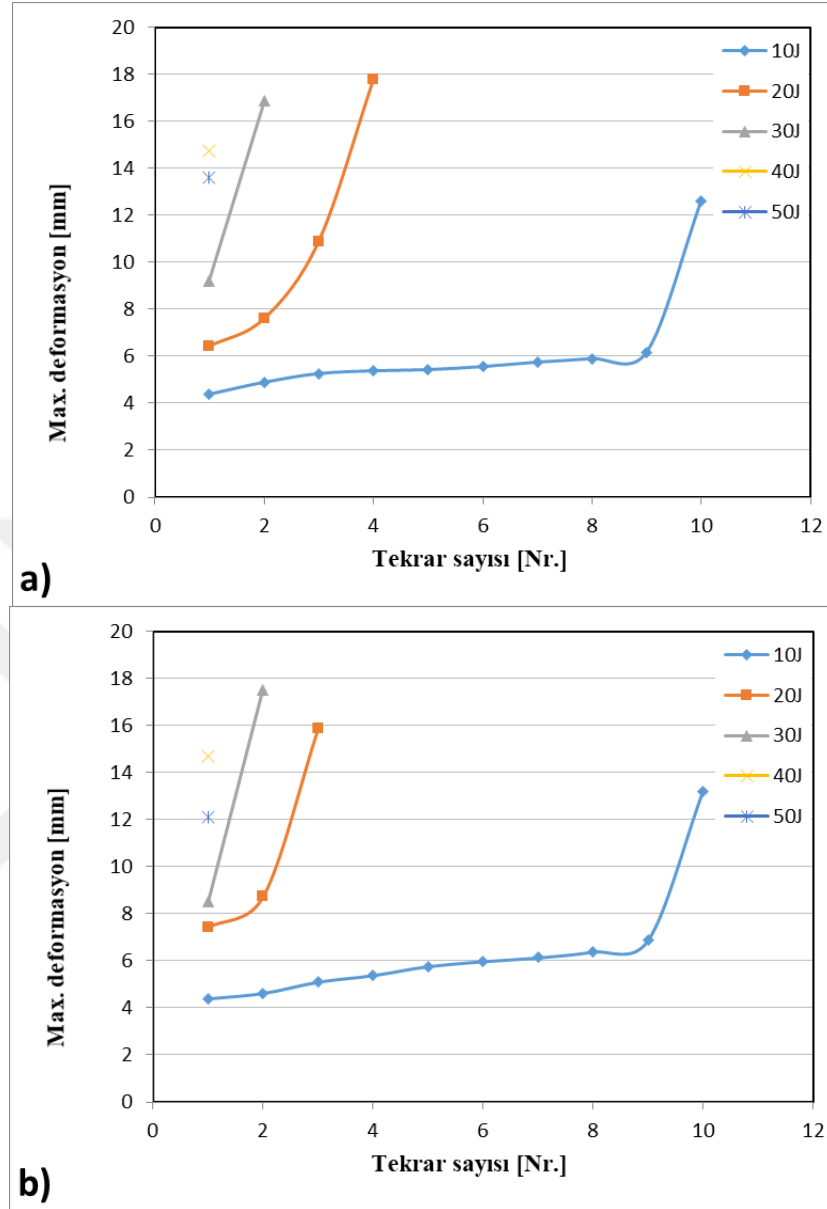
3.3.3 %5 Metal Takviyeli Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Sonuçları

%5 metal takviyeli kompozitlerin maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında darbe enerjilerine göre Şekil 3.32’de sunulmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde 10J enerjisinde maksimum temas kuvveti değeri önce yükselmiş sonrasında düşmüştür. Ancak 30J enerjisinde maksimum temas kuvveti değeri ilk darbe sonrasında düşmüştür. 75°C’de yapılan deneyler incelendiğinde 10J ve 20J enerjisinde maksimum temas kuvveti önce yükselmiş sonrasında düşmüştür. 30J enerjisinde ise oda sıcaklığındaki duruma benzer olarak maksimum temas kuvveti değerinde ilk darbe sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. İki sıcaklık durumu için 40J ve 50J enerjilerinde tekrar sayısı 1’e düşmüştür. Sıcaklık artışı %5 metal takviyeli kompozitlerin tekrarlı darbe dayanımlarına olumlu bir etki yaratmıştır.



Şekil 3.32 %5 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı grafikleri

%5 metal takviyeli kompozitlerin maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında darbe enerjilerine göre Şekil 3.33'te verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde 10J enerjisinde maksimum deformasyon değerleri diğer enerjilerden daha düşüktür. Ayrıca, 20J ve 30J enerjilerinde maksimum deformasyon değerlerinin ani olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür. 75°C'de yapılan deneyler incelendiğinde ise oda sıcaklığına benzer şekilde 10J enerjisinde maksimum deformasyon değerleri daha düşüktür. Ayrıca, 20J ve 30J enerjisinde ise oda sıcaklığındaki duruma benzer olarak maksimum temas kuvveti değerinde ilk darbe sonrasında düşüş gözlemlenmiştir. İki sıcaklık durumu için 40J ve 50J enerjilerinde ise tekrar sayısı 1'e düşmüştür.

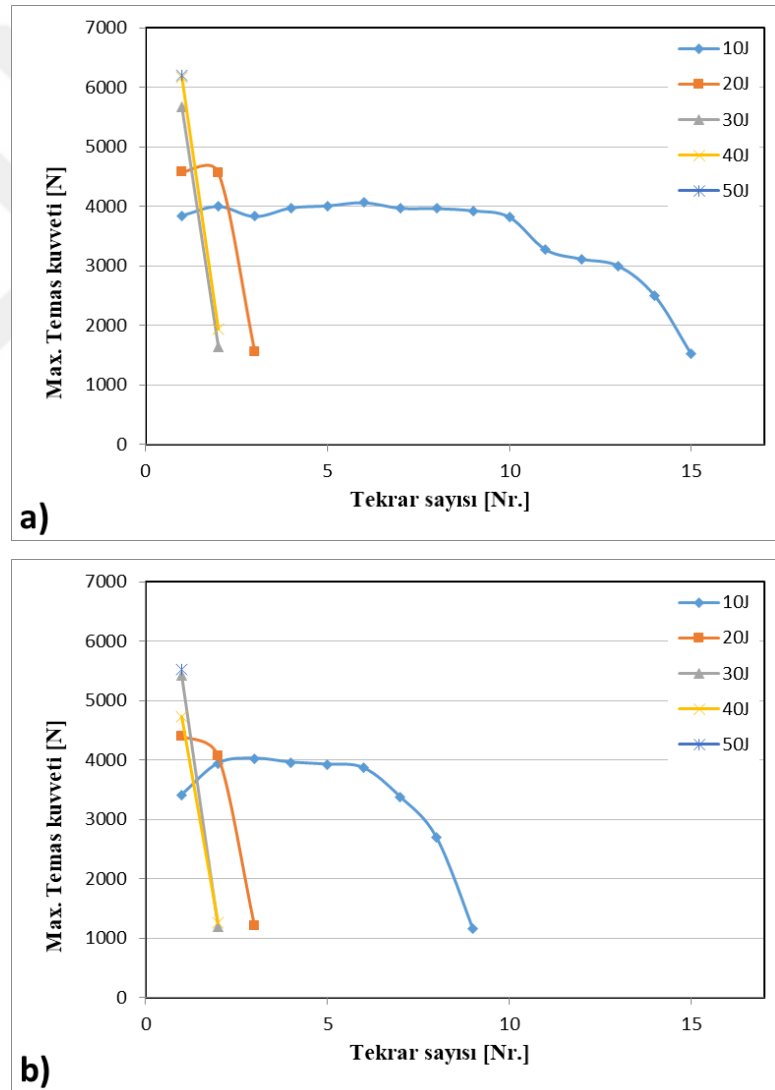


Şekil 3.33 %5 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum deformasyon – tekrar sayısı grafikleri

3.3.4 %10 Metal Takviyeli Kompozitlerin Tekrarlı Darbe Sonuçları

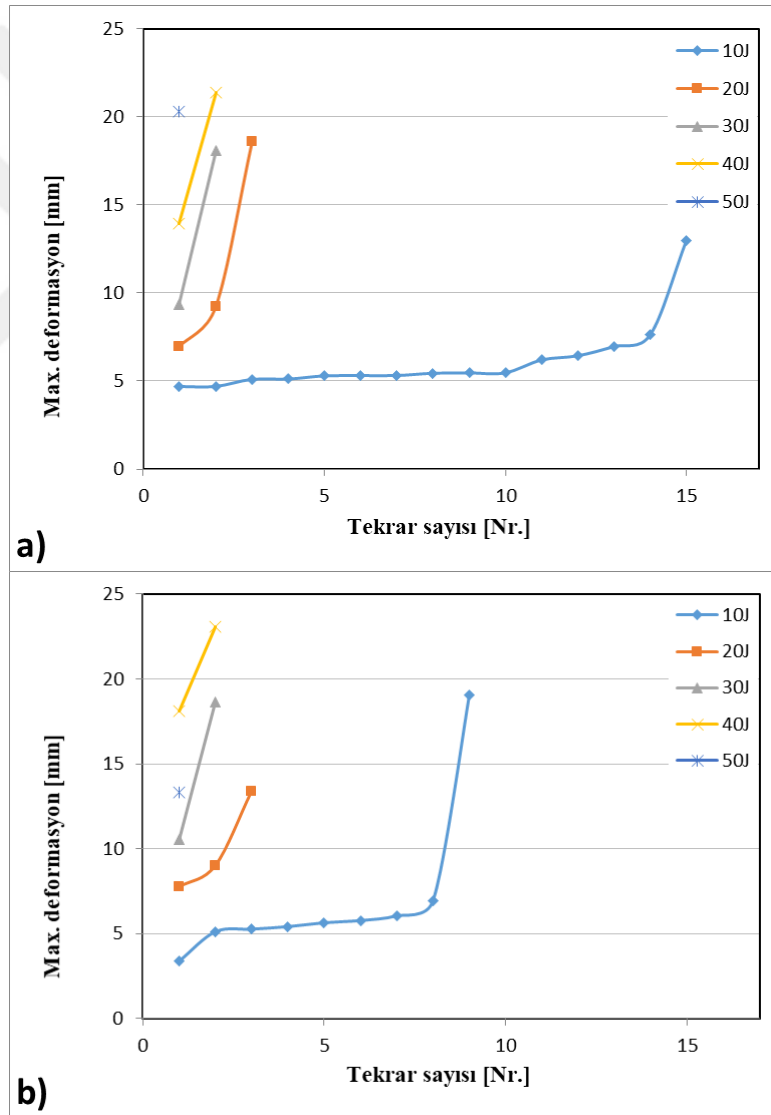
%10 metal takviyeli kompozitlerin maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında darbe enerjilerine göre Şekil 3.34'te verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde 10J enerjisinde maksimum temas kuvveti önce yükselmiş sonrasında düşmüştür. Ancak daha yüksek

enerjilerde ise maksimum temas kuvveti ilk darbe sonrasında düşmüştür. 75°C’de yapılan deneyler incelendiğinde ise oda sıcaklığına benzer şekilde 10J enerjisinde maksimum temas kuvveti önce yükselmiş sonrasında düşmüştür. Daha yüksek enerjilerde ise oda sıcaklığındaki duruma benzer olarak maksimum temas kuvveti ilk darbe sonrasında düşmüştür. Sıcaklık artışı %10 metal takviyeli kompozitlerin tekrarlı darbe dayanımlarına olumlu bir etki yaratmıştır ve maksimum temas kuvvetinde, oda sıcaklığıyla karşılaştırdığında yükseliş gözlemlenmiştir.



Şekil 3.34 %10 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı grafikleri

%10 metal takviyeli kompozitlerin maksimum temas kuvveti – tekrar sayısı eğrileri iki farklı sıcaklık koşullarında darbe enerjilerine göre Şekil 3.35'te sunulmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneyler incelendiğinde 10J enerjisinde maksimum deformasyon değerleri daha düşüktür. Ayrıca, daha yüksek enerjilerde maksimum deformasyon değerlerinin ani olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür. 75°C'de yapılan deneyler incelendiğinde ise oda sıcaklığına benzer şekilde 10J enerjisinde maksimum deformasyon değerleri daha düşüktür. Bunun yanında daha yüksek enerjilerde ise oda sıcaklığındaki duruma benzer olarak maksimum temas kuvveti ilk darbe sonrasında düşmüştür.



Şekil 3.35 %10 metal takviyeli kompozitlerin 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki a) 23°C ve b) 75°C sıcaklıklar için maksimum deformasyon – tekrar sayısı grafikleri

BÖLÜM DÖRT

YARGILAR

Bu tez çalışmasında, farklı oranlarda alüminyum metal atığı takviyeli cam elyaf polipropilen sandviç kompozitlerin tekil ve tekrarlı düşük hızlı darbe davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan ağırlıkça farklı metal takviye miktarına sahip numunelerin (%0, %3, %5 ve %10) düşük hızlı darbe davranışları 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerinde belirlenmiştir. Deney sonrasında bulunan veriler önce metal takviye oranlarına göre sonrasında darbe enerjilerine göre karşılaştırılmalı olarak incelenmiş ve sonuç olarak elde edilen yargılar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Metal takviyesinin %0'dan %3'e yükselişi ile numunelerin darbe dayanımlılarının ciddi olarak etkilenmediği ancak takviye oranının %5 ve %10'a yükselmesi ile numunelerin darbe dayanımlarında düşüş gözlenmiştir.
- Metal takviyesiz durumda delime öncesi enerjilerde oda sıcaklığındaki maksimum temas kuvvetleri 75°C'deki maksimum temas kuvvetlerinden daha yüksek değerlere sahiptir. Metal takviye oranının artışı ile delinme öncesi maksimum temas kuvvetleri arasındaki sıcaklıkla oluşan fark artmaktadır.
- Metal takviyesiz ve %3 ve %5 metal takviyesi durumunda delime sonrası enerjilerde 75°C'deki maksimum temas kuvvetleri oda sıcaklığındaki maksimum temas kuvvetlerinden daha yüksek değerlere sahiptir. Metal takviyesi oranının %10'a artışı ile delinme sonrası 75°C'deki maksimum temas kuvvetleri oda sıcaklığındaki değerlerin altına düşmüştür.
- Metal takviyesiz ve %3 ve %5 metal takviyesi durumunda delime sonrası enerjilerde absorbe edilen enerjilerde 75°C'deki absorbe edilen enerji değerleri oda sıcaklığındaki absorbe edilen enerji değerlerinden daha yüksek değerlere sahiptir. Metal takviyesi oranının %10'a artışı ile delinme sonrası 75°C'deki absorbe edilen enerji değerleri oda sıcaklığındaki değerlerin altına düşmüştür.

- 75°C'deki 10J ve 20J darbe enerjilerinde maksimum deformasyon değerleri metal takviyesiz ve %3 metal takviyesi değerlerinde yakın değerler iken; takviye oranlarının artışı ile birlikte bu değer yükselmektedir.
- Dört farklı numune için belirlenen oda sıcaklığındaki delinme enerjileri 30J ve 40J değerleri arasında değişmektedir.
- Oda sıcaklığındaki ve 75°C'deki metal takviyesiz ve %3, %5 ve %10 metal takviyeli numunelerin absorbe edilen enerji değerleri delinme sonrasında 35J – 40J değerleri arasında yer almaktadır.

Çalışmanın diğer aşamasında kullanılan metal takviyesiz ve ağırlıkça %3, %5 ve %10 metal takviye miktarına sahip numunelerin tekrarlı düşük hızlı darbe deneyleri 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjileri altında yapılmıştır. Deney sonrasında bulunan veriler karşılaştırılmalı olarak incelenmiş ve sonuç olarak elde edilen yargılar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- 10J darbe enerjisi için metal takviyesiz ve %3 metal takviyesine sahip numunelerin sıcaklık artışı ile tekrar sayısı artmıştır. Ancak metal takviyesinin %5 ve %10'a artışı ile sıcaklık tekrar sayısına olumsuz etki yaratmıştır.
- Metal takviyesiz ve %3 ve %5 metal takviyesine sahip numuneler için maksimum temas kuvveti değerleri oda sıcaklığında 10J değerinde, 75°C'de ise 10J ve 20J değerlerinde önce yükselmiş sonra düşmüştür. %10 metal takviyesine sahip numuneler için iki sıcaklıkta da maksimum temas kuvvetleri sadece 10J enerjisinde önce yükselmiş sonra düşüş göstermiştir.
- Sıcaklık artışı tüm kompozitlerin tekrarlı darbe dayanımlarına olumlu bir etki yaratmıştır.
- Son olarak çalışmada elde edilen sonuçlara göre kompozitlerin darbe dayanımına göre en iyi takviye oranı %3 metal takviyesi durumudur.

KAYNAKLAR

- Abrate S. (2010). *Impact engineering of composite structures* (1. Baskı). New York: Springer Wien.
- Aktas, M., Icten B.M., Atas C., ve Karakuzu R. (2009). Low temperature effect on impact response of quasi-isotropic glass/epoxy laminated plates. *Composite Structures*, 91,318–323.
- Aktaş, M., Karakuzu R., ve Icten B.M. (2011). Thermal impact behavior of glass-epoxy laminated composite plates. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 24, 535-553.
- Almeida, P.H.T., Cacciagane, S.H., ve Junior, A.A. (2020). Ten-year follow-up of treatment with zygomatic implants and replacement of hybrid dental prosthesis by ceramic teeth: A case report. *Annals of Medicine And Surgery*, 50,1-5.
- Biron, M. (2013). *Thermoplastics and thermoplastic composites* (1. Baskı). Amsterdam: Elsevier.
- Boria, S., Scattina, A., ve Belingardi, G. (2017). Impact behavior of a fully thermoplastic composite. *Composite Structures*, 167,63–75.
- Boumbimba, R.M., Coulibaly, M., Khabouchi, A., Kinvi-Dossou, G., Bonfoh, N. ve Gerard, P. (2017). Glass fibres reinforced acrylic thermoplastic resin-based tri-block copolymers composites: Low velocity impact response at various temperatures. *Composite Structures*, 160, 939–951.
- Campbell, F.C. (2010). *Structural composite materials* (1. Baskı). Ohio: ASM International.

Durk, H.C., Dai, G.L., ve Jin, H.C. (1997). Manufacture of one-piece automotive drive shafts with aluminum and composite materials. *Composite Structures*, 38, 309-319.

Kandaş, H. (2019). *Farklı ön gerilme yüklerinde cam elyaf takviyeli polipropilen kompozitlerin düşük hızlı darbe davranışı*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Üniversitesi, İzmir.

Kaw, A. K. (2006). *Mechanics of composite materials*. (2th ed.). Boca Raton: CRC Press.

Letcher, T.M., ve Slack, R. (2011). *Waste* (1. Baskı). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.

Mallick, P.K. (2007). *Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design*. London: CRC Press.

Mazumdar, S.K. (2002). *Composites manufacturing materials, product and process engineering* (1. Baskı). America: CRC Press.

Morada, G., Ouadday, R., Vadean, A., ve Boukhili, R. (2017). Low-velocity impact resistance of ATH/epoxy core sandwich composite panels: Experimental and numerical analyses. *Composites Part B*, 114, 418–431.

Özdemir, O., Öztoprak, N ve Kandaş, H. (2018). Single and repeated impact behaviors of bio-sandwich structures consisting of thermoplastic face sheets and different balsa core thicknesses. *Composites Part B*, 149, 49–57

Shuyong, D., Zhanming, Z., Fang, W., Xu, H., ve Kai, W. (2020). Theoretical study and physical tests of circular hole-edge stress concentration in long glass fiber reinforced polypropylene composite. *Composite Structures*, 236, 111884

Sofar, H. (2019). *Thermoplastics properties, types, uses, advantages and disadvantages*. 17 Nisan 2019, <https://www.online-sciences.com/industries/thermoplastics-properties-types-uses-advantages-and-disadvantages>.

Thattai parthasarathy, K.B., Pillay, S., Bansal, D., Ning, H., ve K.Vaidya, U. (2013). Processing and Characterization of Continuous Fibre Tapes Co-Moulded With Long Fibre Reinforced Thermoplastics. *Polymers & Polymer Composites*, 2,483-494.

Wüst, A., ve Nelson, E. (2013). *The use of composite materials in the automotive industry*. 17 Nisan 2019, <https://www.autodesk-university/class/Use-Composite-Materials-Automotive-Industry-2013>.