

# Tabakalı Kompozitlerin Darbe Direncinin İncelenmesi

Şerafettin ÇETİN<sup>1</sup> Hakan Burak KARADAĞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye  
serafettinncetinn@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-6685-4303>

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Konya, Türkiye  
hbkaradag@erbakan.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0003-1045-7277>

## Makale Bilgileri

## ÖZ

### Makale Geçmişi

**Geliş:** 23.11.2023

**Kabul:** 24.12.2023

**Yayın:** 31.12.2023

### Anahtar Kelimeler:

Darbe Hasar Analizi,  
Düşük Hızlı Darbe Deneyi,  
Tabakalı Kompozit Malzeme,  
Çelik Tel Takviye.

Bu çalışmada, hava araçları ve diğer ulaşım araçlarında iç yapısal malzeme olarak kullanılabilen bir sandviç panel üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sandviç panelin özü, takviyesiz ve üç sıralı çelik tel takviyeli olacak şekilde saf EVA pestillerinin 180 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile pişirilmesiyle elde edilmiştir. Bu özlerin alt ve üst yüzeylerine 0,5 mm kalınlığında 5457 kalite alüminyum levhalar poliüretan yapıştırıcı ile yapıştırılarak kompozit panel elde edilmiştir. Sandviç panellere muhtelif seviyelerde (20J, 30J, 40J ve 50J) darbe testi yapılmıştır. Deneyler sonrasında numunelerin, farklı enerji değerlerine karşılık gelen kuvvet-zaman, kuvvet-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Tel takviyesi arttıkça malzemenin elastikiyetinin azaldığı ve mukavemetinin arttığı, buna bağlı olarak da maksimum deplasmanın genellikle azaldığı gözlemlenmiştir.

## Investigation of Impact Resistance of Laminated Composites

## Article Info

## ABSTRACT

### Article History

**Received:** 23.11.2023

**Accepted:** 24.12.2023

**Published:** 31.12.2023

### Keywords:

Impact Damage Analysis,  
Laminated composite materials,  
Low Velocity Impact Experiment,  
Steel Wire Reinforcement.

In this study, a sandwich panel that can be used as an internal structural material in aircraft and other transportation vehicles has been produced. The core of this sandwich panel was obtained by baking neat EVA sheets without reinforcement and with three rows of steel wire reinforcement at 180 °C for 30 minutes. On the upper and lower surfaces of these cores, 0.5 mm thick 5457 aluminum sheets were adhered with polyurethane adhesive and thus composite panels were obtained. The sandwich panels were subjected to impact tests at various levels (20J, 30J, 40J and 50J). After the tests, force-time and force-displacement graphs of the specimens corresponding to different energy values were obtained. It was observed that as the wire reinforcement increases, the elasticity of the material decreases and the strength of the material increases, and accordingly, the maximum displacement generally decreases.

**Atıf/Citation:** Çetin, Ş, & Karadağ, H. B. (2023). Tabakalı kompozitlerin darbe direncinin incelenmesi. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(2), 114-127. <http://dx.doi.org/10.56753/ASREL.2023.2.5>

\* Bu çalışma Şerafettin ÇETİN'in Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yapmış olduğu "Tabakalı Kompozitlerin Darbe Direncinin İncelenmesi" isimli yüksek lisans tezinden türetilmiş olup aynı zamanda Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 201319008 numaralı projesi ile desteklenmiştir.



"This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)"

## GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesi ile birlikte insanların ihtiyaçları da hızlı bir şekilde artmakta ve dünyadaki kaynakları tüketmektedir. Bundan dolayı bilim insanları sağlam, hafif, ucuz, mukavemetli ve ekonomik malzemelerin üretilmesi için çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Böylece değişik özellikleri içinde barındıran ve iki veya daha fazla malzemenin özel tekniklerle fiziksel olarak birleştirilmesi ile üretilen kompozit malzemelerin önemi artmıştır. Kompozit malzemeler savunma, enerji, havacılık ve otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan malzemelerdir.

Malzemeler mühendislik uygulamalarında ve servis şartlarında birtakım darbelere maruz kalabilirler. Malzemelerden bu beklenmedik darbelere karşı uygun cevabı vermesi istenir. Malzemeler uygulama alanlarına ve kullanım amacına göre farklı darbe şekillerine maruz kalabilirler. Darbeler hızlarına göre düşük, orta ve yüksek hızlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bazı araştırmacılar düşük hızlı darbeyi 2 ile 10 m/s aralığında değişen hızlar olarak değerlendirmişlerdir (Albayrak & Kaman, 2019).

Malzemelerin darbeye karşı dirençleri değişkenlik göstermektedir. Metal ve alaşımlarında darbe sonucunda darbe yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelirken kompozitlerde çarpmanın türüne göre yüzey bölgelerinde hasar meydana gelebilir. Metallerin aksine kompozit malzemeler darbeyi absorbe ederek hasarı bünyelerinde depolayabilirler. Kompozit malzemelerde oluşan hasarlar her zaman gözle görülmeyebilir. Malzemede fiber hasarı, delaminasyon, nüfuziyet ve matris çatlağı gibi hasar türleri ile oluşabilmektedir.

Ümran ve Ali Yasin, cam elyaf düzlem kompozitlerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında parametre olarak iki farklı darbe enerjisi ve iki farklı kalınlık kullanmışlardır. 2 ve 4 mm kalınlıklarındaki kompozit plakalar 8 ve 16 katmandan oluşmaktadır. Darbe testleri 20J ve 60J enerji seviyelerinde yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda 8 tabakalı numunelerde 20J darbe enerjisinde delinmenin oluşmadığını, 60J darbe enerjisinde delinme hasarının meydana geldiğini, 16 tabakalı numunelerde ise iki darbe enerjisinde de delinme hasarının oluşmadığını gözlemlemişlerdir (Esendemir & Caner, 2017).

Öndürücü ve Karacan farklı oryantasyona sahip cam elyaf/epoksi kompozit numunelerin farklı darbe enerji seviyelerindeki darbe davranışlarını incelemişlerdir. Araştırma sonucunda artan darbe enerjisi ile maksimum kuvvet ve deplasyon miktarı değerlerinin de arttığını tespit etmişlerdir (Öndürücü & Karacan, 2018).

Kompozit yapılar nanoelyaf katkısının özellikle tabakalı kompozitlerde tabakalar arası mukavemeti artırdığı bilinmektedir (Uyaner & Yar, 2019).

Aktaş ve çalışma ekibi, E-cam/epoksi kompozit malzemelerin darbe davranışlarını incelemişlerdir. Bu kompozitlerde gözlenen hasar türleri matris çatlağı ile fiber hasarıdır (Aktaş vd., 2009).

Baucom ve Zikry, tekrarlı yapılan darbe yükleme koşulları altında kompozit levhalarda cam elyaf takviye geometrisinin hasar ilerlemesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarda 2D kumaş, 3D kumaş ve çift eksenli güçlendirilmiş kumaş kompozitleri kullanılmıştır. 3D kompozitlerin, penetrasyona karşı maksimum dirence sahip olduğunu ve bunun 3D kompozitlerdeki kıvrımlı kısımdan kaynaklandığını belirtmişlerdir (Baucom & Zikry, 2005).

Abdullah ve Cantwell dokuma cam elyaf takviyeli polipropilen ve alüminyum alaşımından oluşan fiber metal laminatların yüksek hızlı darbe davranışlarını incelemişlerdir. Darbelenen numunelerde enerjinin alüminyum tabakaların plastik deformasyonu ve kırılması ile kompozit tabakalarda ise delaminasyon, matris deformasyonu ve lif kırılması yoluyla absorbe edildiğini belirtmişlerdir (Abdullah & Cantwell, 2006).

Eğilme rijitliğinin yüksek olması nedeniyle bal peteği veya köpük özlü sandviç yapılar yapısal malzeme olarak çokça kullanılmaktadır. Köpük dolgu bal peteği özlü sandviç yapı üretimi güncel konular

arasındadır (Atalay Kalsen vd., 2023). Yeni üretilen bu yapının düşük hızlı darbe direncinin yüksek olması beklenmektedir.

Düşük hızlı darbenin deneysel çalışmaları kadar analitik ve sayısal analizi de çok önemlidir. Bu konudaki güncel çalışmalara Ömer ve diğerlerinin kompozit yapının sanal testi (Şişkolar vd., 2022) ile Tolunay ve arkadaşlarının düşük hızlı darbe simülasyonu (Dağ vd., 2022) verilebilir.

Bu çalışmada, 90x90x15 mm boyutlarındaki deney numuneleri 15 mm kalınlığındaki çelik kalıp içerisinde 180 °C sıcaklıkta ve 30 dakika pişirme ile üretilmiştir. Kalıp iç kenarlarına kalıp ayırıcı uygulanarak pişirme sonrası malzemenin kalıptan ayrıştırılması kolaylaştırılmıştır. Deney numuneleri dört farklı konfigürasyonda üretilmiştir. Herbir kenarından sabitlenen numunelere dört farklı hızda düşük hızlı darbeler uygulanmıştır. Düşük hızlı darbe deneylerinde ağırlıklı olarak kuvvetin zamana göre ve sehime göre değişimleri elde edilmektedir. Çalışmada tasarlanıp üretimi gerçekleştirilen bu tabakalı kompozit malzemelerin gerek hava-uzay araçlarında ve gerekse yüksek hızlı raylı taşımacılık sektörü gibi birçok alanda içyapı malzemesi olarak kullanılabilmesi düşünülmüştür.

## YÖNTEM

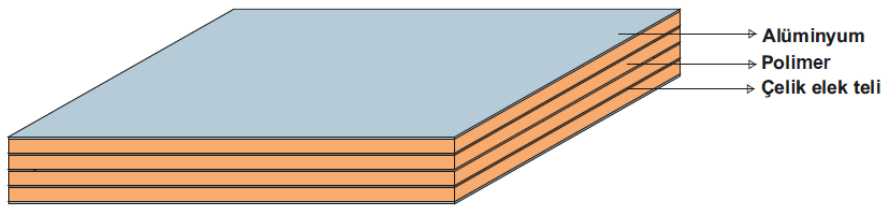
Kompozit malzeme üretim aşamaları alüminyum plakaların, polimer levhaların ve çelik elek telinin boyutları  $10 \times 10 \pm 0,50$  mm olacak şekilde kesilmesiyle başlamıştır. Kesimi yapılan malzemeler 15 mm kalınlığındaki  $10 \times 10 \pm 0,80$  mm boyutlarındaki kalıba belirlenen parametrelere göre dizilmiştir.

Oluşturulan numune alt ve üst plakası olan ısıtıcıya konularak 180 °C sıcaklıkta 30 dakika süre ile pişirilmiştir. Isıtıcı plakaların başlangıç sıcaklıkları 180 °C olacak şekilde ısıtılmıştır. Pişirme sırasında hacmi sınırlandırmak için pişirici üzerine ağırlık konulmuştur. Kalıp iç kenarlarına kalıp ayırıcı uygulanarak pişirme sonrası malzemenin kalıptan ayrıştırılması kolaylaştırılmıştır.

Numuneler dizilimleri dört farklı yapıda olacak şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 1. Numune Dizilim Sıraları (P: Polimer, T: Tel)

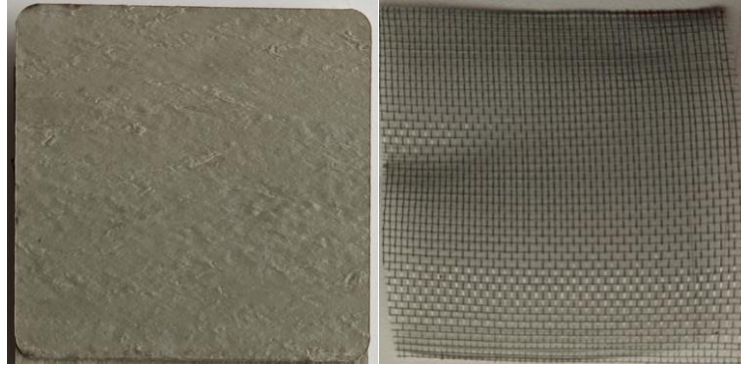
Numune Adı	Dizilim
T0	Al - P - P - P - P - Al
T1	Al - P - P - T - P - P - Al
T2	Al - P - T - P - P - T - P - Al
T3	Al - P - T - P - T - P - T - P - Al



Şekil 1. T3 tabakalı kompozit

Şekil 1.'de T3 çelik tel takviyeli tabakalı kompozit malzeme şematik olarak gösterilmiştir.

Matris malzemesi olarak levha şeklinde olan EVA polimer (Şekil 2a) malzemesi kullanılmıştır. EVA, etilen ile vinil asetatın kopolimeridir. Yapıda vinil asetat ağırlıkça %10 ile %40 arasında değişirken geri kalan kısım etilendir. Yapıda vinil asetat miktarı arttıkça yoğunluk, darbe dayanımı, yırtılma dayanımı ve elastik özelliği artmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 2. (a) Polimer matris malzemesi ve (b) Çelik elek teli

Numunelerde takviye elemanı olarak AISI 1008 kalite malzemeden üretilen çelik elek teli kullanılmıştır (Şekil 2b). Tel kalınlığı 0,20 mm, ara ölçüleri ise 1,50 x 1,50 mm'dir.

Al levha olarak 5754 kalite 0,50 mm 5000 serisi alüminyum levha kullanılmıştır. Çizelge 2, bu levhaların kimyasal içeriklerini göstermektedir.

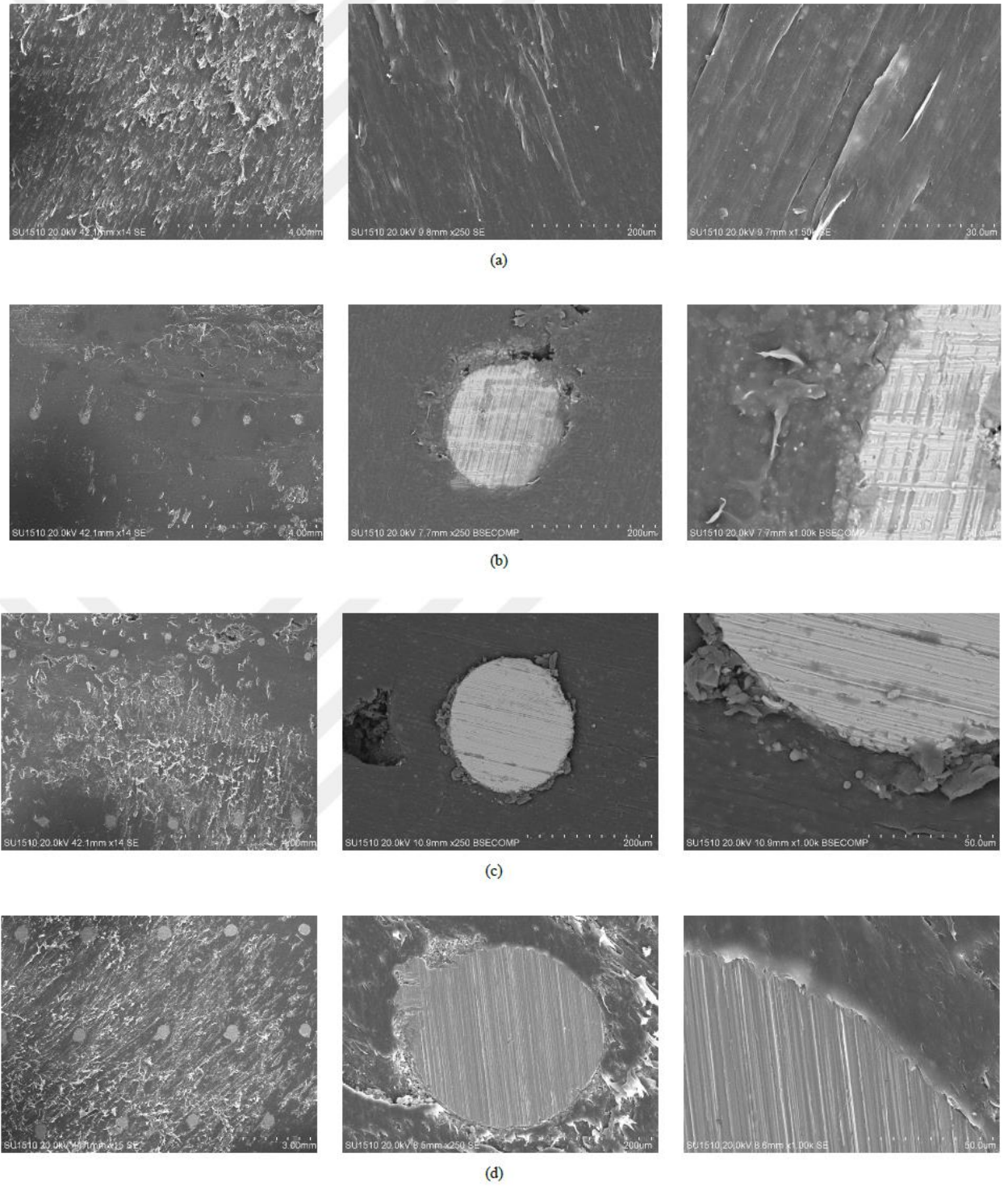
Çizelge 2. 5754 Al Levha Kimyasal Bileşimi

Malzeme	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
5754 Al levha	0,4	0,4	0,1	0,5	2,6-3,6	0,2	0,3	0,15	0,15	Kalan

### SEM görüntüleri

Üretilen numunelerden 1 cm x 1 cm 'lik parçalar alınarak elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Polimer matris malzeme yalıtkan özellik gösterdiği için altın kaplama yapılarak iletkenlik kazandırılmıştır. Bu incelemeler, NEÜ BİTAM'da gerçekleştirilmiştir. Dört farklı grup halinde üretilen numunelerin mikro yapıları ve çelik tel ile polimer arasındaki yapı incelenmiştir. Numuneler sırası ile 15, 250 ve 1500 büyütme ile gözlemlenerek analiz edilmiştir.

Şekil 3. (a)'da T0 takviyesiz numunesi matris polimeri lifli yapısı görülmektedir. Şekil 3. (b)'de T1 (1 tabaka tel takviyeli) matris polimeri lifli yapısını korumakla birlikte matris malzemenin çelik tel etrafını sarmış ve malzemenin dayanımını olumlu yönde etkilemiştir. Bu durum Şekil 3.(c)'de gösterilen T2 ve Şekil 3.(d) T3 için de geçerlidir. Beton malzeme ile çelik filmaşınlar arasında mekanik bağ vardır. Bu bağ olmasa filmaşınlar beton içinden çıkar ve betonun dayanımını yitirir. Üretmiş olduğumuz malzemelerde de aynı durum söz konusudur. Bu durumda da tel yapının içinden çıkarıldığı zaman malzemenin mukavemetinde azalma olacaktır. Üretilen malzemede de aynı şekilde polimer ile çelik elek teli arasında mekanik bağ oluşmaktadır. Bu durum da yapının dayanımını artıracaktır.



Şekil 3. T0 (a), T1 (b), T2 (c) ve T3 (d) tabakalı kompozit malzemelerin SEM analiz görüntüleri

### Kompozit malzeme polimer sertlik ölçümü

Üretilen numune düz bir şekilde ortadan ikiye bölünerek ASTM D 2240 Shore A metodu ile sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur. Shore A yumuşak lastikler ve plastiklerin sertlik ölçümlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Çizelge 3. Pişirilmiş Kompozit Polimer Sertlik Ölçüm Çizelgesi

Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ölçüm	Ortalama Değer	Standart Sapma
1	2	3	4	5	6	7	8	86,875	1,8851
86	87	87	88	88	90	84	85		

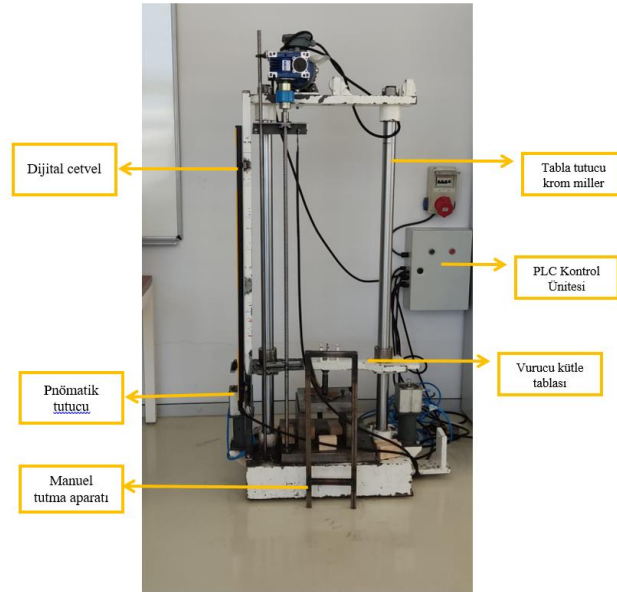
Shore A sertlik verilerine göre (Çizelge 3) ortalama Shore sertlik değeri 86,875, standart sapma ise 1,8851 olarak hesaplanmıştır.

### Düşük hızlı darbe testi

Kompozit malzemelerde 0-1-2-3 adet takviye elemanı olacak şekilde dört farklı konfigürasyon oluşturulmuş ve dört farklı darbe hızında (1,53 m/s, 1,88 m/s, 2,17 m/s, 2,43 m/s) deneyler gerçekleştirilmiştir. Vurucunun hangi yükseklikten bırakılacağı Denklem (1) yardımıyla hesap edilmiştir.

$$E_p = m.g.h \quad (1.)$$

Şekil 4'te görülen düşük hızlı darbe deneyi NEÜ-BİTAM Malzeme Laboratuvarında bulunmaktadır. Bu cihaz ile çarpma olayının tamamında temas kuvveti algılanmakta ve bir bilgisayara aktarılmaktadır.



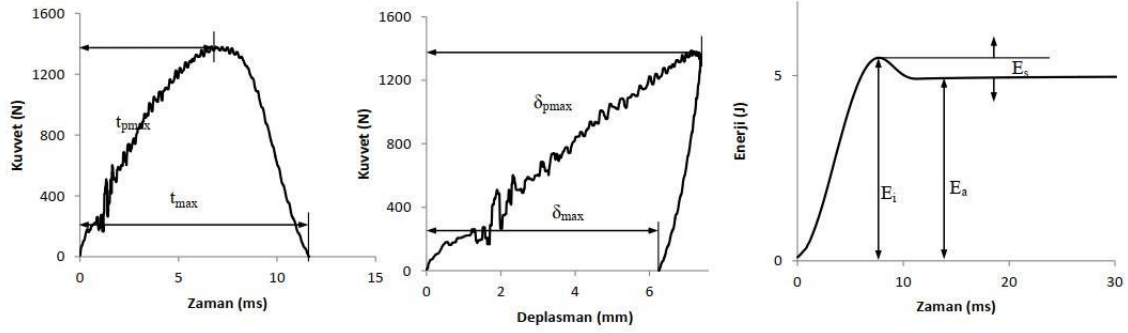
Şekil 4. Test düzeneği

Vurucu kütlesi 17 kg olup 1000 mm 'den serbest olarak düşebilmektedir. Vurucunun istenilen mesafeden bırakılabilmesi için mıknatıslı kilit mekanizması vardır. Düşük hızlı darbe düzeneğinin en büyük serbest düşme teorik hızı 4,4 m/s'dir. Vurucu kütlelerinin sürtünmesini azaltmak ve daha stabil bir serbest düşme sağlamak için rulmanlı yatak sistemi kullanılmıştır. Vurucu kütlelerinin dengeli çalışabilmesi için taşıyıcı tabla iki adet krom kaplı mile bağlanarak monte edilmiştir.

Düşük hızlı darbe deneyleri dört tarafı ankastre olan bir kalıp kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalıp açıklığı 90x90 mm'dir. Merkezi çarpmanın temini için alt kalıp işaretlenmiş ve her numune aynı alana konulmuştur. Bağlama aparatının montajı vurucunun numunelerin merkezine darbe yapacak şekilde yapılmıştır.

10 mm çaplı yarı küresel uçlu vurucu deneyler yapılmış olup her bir numunenin merkezine darbe yapılacak şekilde uygulanmıştır. Serbest düşmeden sonra vurucu ilk darbeyi yapar ve tekrarlı darbeleri engellemek için darbe tutucu aparat ile darbe tekrarlanması engellenmiş olur. Darbenin başlangıcından itibaren sonuna kadar sensör tarafından okunan bütün veriler veri toplama kartı üzerinden bilgisayara

aktarılmıştır. Bu verilerin kinematik analizleri, Prof. Dr. Mesut Uyaner tarafından literatüre kazandırılan Test To Graph (Uyaner, 2021) programı ile yapılmıştır. İşlenmiş verilerden de kuvvet zaman ile kuvvet deplasman değişimleri elde edilmiştir.



Şekil 5. Düşük hızlı darbe olayında temel karakteristikler (Engin, 2011)

Şekil 5, düşük hızlı darbe olayının tipik karakteristikleri göstermektedir. Bu karakteristikler;

$t_{pmax}$ , en büyük kuvvetin gerçekleştiği zaman

$t_{max}$ , çarpma olayı için geçen toplam süre,

$\delta_{pmax}$ , en büyük çökme,

$\delta_{max}$ , numunedeki kalıcı yerdeğiştirme,

$E_i$ , çarpma enerjisi,

$E_a$ , soğurulan enerji,

$E_s$ , ise sekme enerjisidir (Engin, 2011).

## BULGULAR

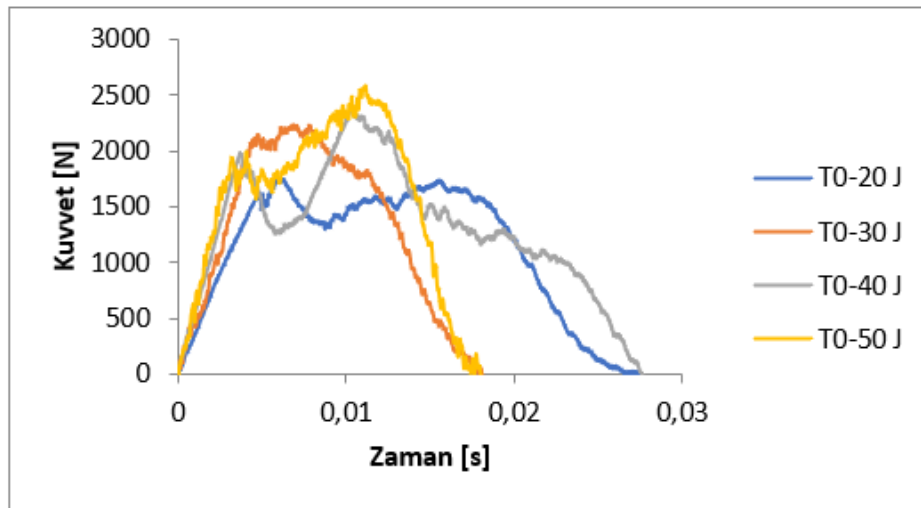
180 °C 'de 30 dakika pişirilerek çelik tel takviyesiz ve çelik tel takviyesi yapılarak üretilen tabakalı kompozit malzemeler 20 J, 30 J, 40 J ve 50 J darbe enerjilerine maruz bırakılmışlardır. Numunelere bir kez vuruş yapılmıştır.

Düşük hızlı darbe testlerinde sıklıkla kullanılan kuvvet deplasman grafikleri malzemenin darbeye verdiği cevap ve hasarları değerlendirme konusunda bilgi vermektedir. Kuvvet deplasman grafikleri genellikle kapalı grafik ve açık grafik olarak ikiye ayrılmaktadır (Engin, 2011). Genellikle kapalı eğriler numunenin delinmeyerek vurucunun rebound yaptığı hasar durumlarını temsil ederken açık eğriler ise delinmenin (perforasyon) veya delinme eşiğindeki ve saplanmanın (penetrasyona) olduğu hasar durumlarını temsil eder.

Çizelge 4. Bu çalışmada elde edilen temel karakteristikler

Numune Grubu	$E_i$ (J)	$F_{max}$ (N)	$t_{pmax}$ (s)	$t_{max}$ (s)	$\delta_{pmax}$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)
T0	20J	1758,65	0,0060	0,0275	0,0085	0,0143
	30J	2229,27	0,0069	0,0181	0,0115	0,0200
	40J	2386,15	0,0104	0,0188	0,0277	0,0275
	50J	2591,04	0,0111	0,0180	0,0219	0,0283
T1	20J	2427,76	0,0082	0,0207	0,0104	0,0115
	30J	2398,96	0,0139	0,0254	0,0178	0,0171
	40J	2098,01	0,0086	0,0182	0,0153	0,0236
	50J	3314,59	0,0038	0,0177	0,0089	0,0242
T2	20J	2213,27	0,0084	0,0141	0,0108	0,0142
	30J	2290,10	0,0059	0,0175	0,0103	0,0205
	40J	2827,96	0,0084	0,0238	0,0162	0,0224
	50J	2722,31	0,0057	0,0183	0,0131	0,0289
T3	20J	2744,72	0,0107	0,0180	0,0130	0,0139
	30J	2424,56	0,0090	0,0209	0,0142	0,0186
	40J	2805,55	0,0053	0,0205	0,0107	0,0233
	50J	3625,14	0,0085	0,0234	0,0170	0,0199

Çarpma olayının kuvvet-zaman ve kuvvet-çökme grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler ve darbelenen numunelerin alt, üst ve kesit görünüşleri kullanılarak malzemenin darbe süresince verdiği tepkinin değişimi incelenmiştir.

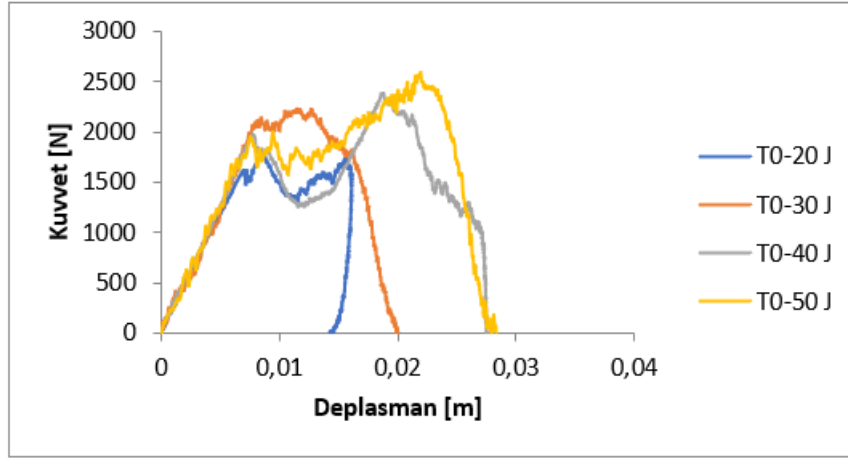


Şekil 6. T0 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için kuvvet zamanla değişimi

Şekil 6.'da T0 (Takviyesiz) numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de artış olduğu görülmüştür. Takviyesiz numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin

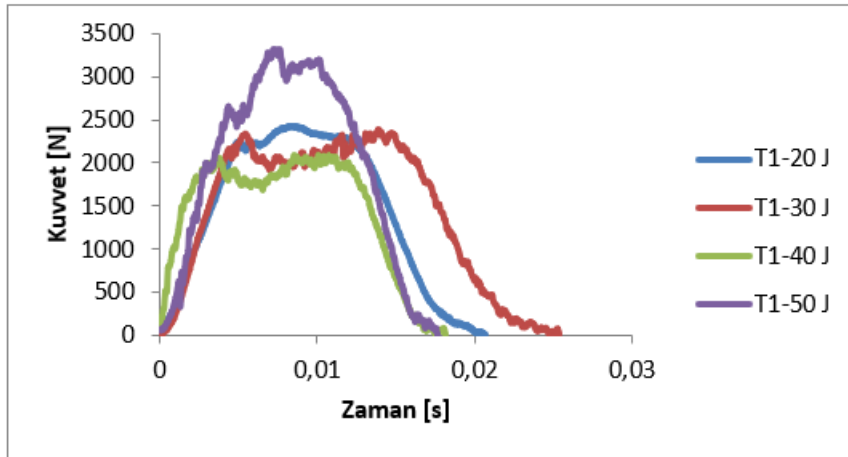


uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 1758,65, 2229,27, 2386,15, 2591,04 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.



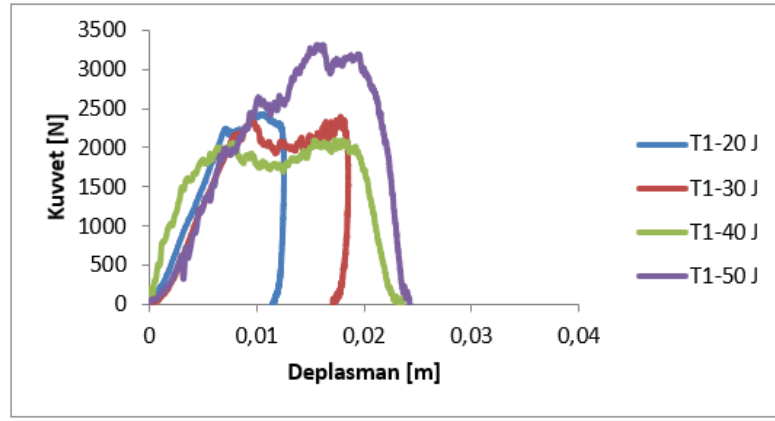
Şekil 7. T0 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 7’de T0 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T0 numunede maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0143 mm, 0,0200 mm, 0,0275 mm, 0,0283 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir. Eğriler incelendiğinde 20 J enerjide geri sekme olurken 30 J, 40 J ve 50 J enerjilerinde nüfuziyet olmuştur. Çünkü 20 J enerjide maksimum çökmeden sonra geri dönme olurken 30 J, 40 J ve 50 J enerjilerinde geri dönmeyi temsil eden bir kısım yoktur. Bu noktalardaki deplasman maksimum seviyeye ulaşırken kalıcı deformasyona eşit olmaktadır (Engin, 2011).



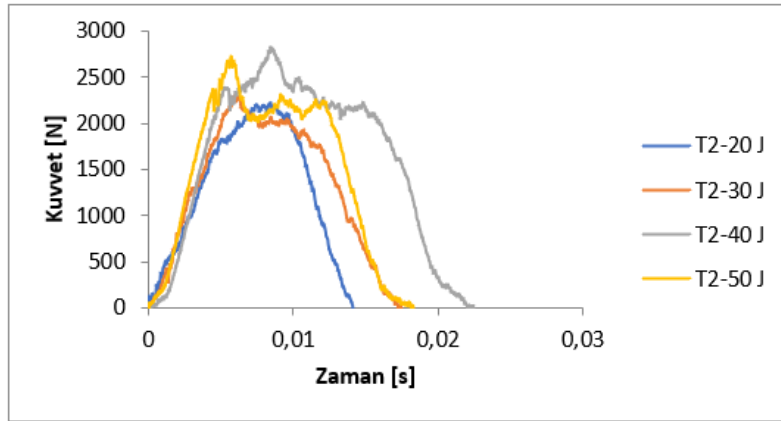
Şekil 8. T1 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği

Şekil 8.’de T1 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda 20J ve 30J darbe enerjilerinde kısmen benzer maksimum kuvvet olmasına rağmen 40J darbe enerjisinde maksimum kuvvette bir miktar düşme olmuştur. Üretim proseslerinden oluşan kusurlardan dolayı oluşan maksimum kuvvet düşüşünden dolayı 40J maksimum kuvveti ihmal edilmiştir. 50 J darbe enerjisinde ise maksimum kuvvette artış olduğu görülmüştür. Bu analizlerden yola çıkılarak darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de artış olduğu görülmüştür. T1 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2427,76 N, 2398,96 N, 2098,01 N, 3314,59 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.



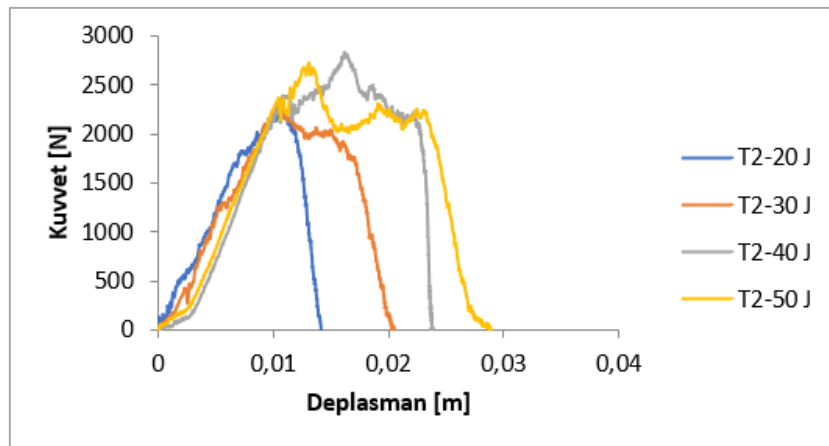
Şekil 9. T1 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 9'da T1 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T1 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0115 mm, 0,0171 mm, 0,0236 mm, 0,0242 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir.



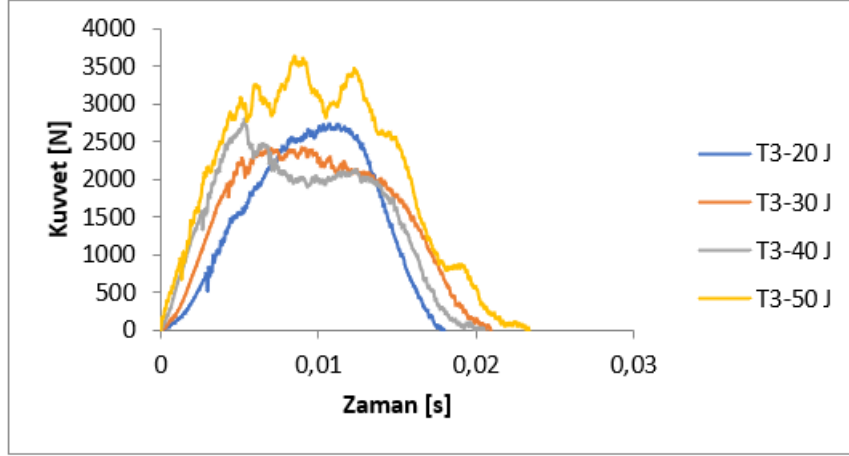
Şekil 10. T2 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için Kuvvet-Zaman grafiği

Şekil 10'da T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de genellikle artış olduğu görülmüştür. T2 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2213,27 N, 2290,10 N, 2827,96 N, 2722,31 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.



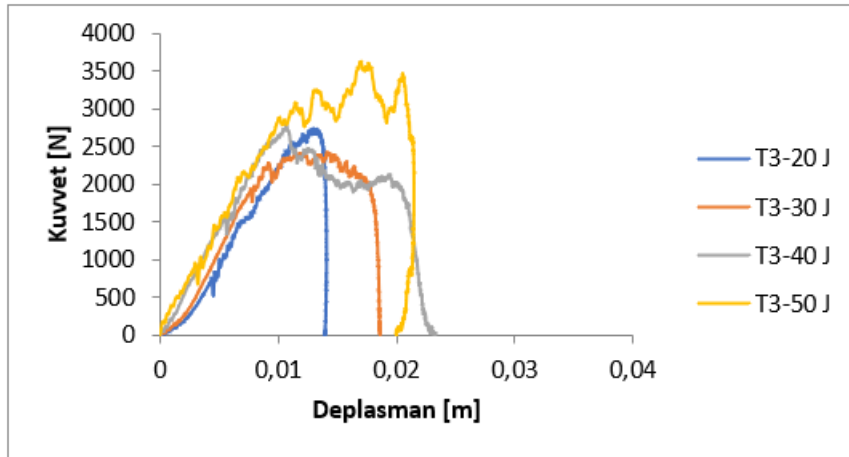
Şekil 11. T2 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 11’de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T2 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0142 mm, 0,0205 mm, 0,0224 mm, 0,0289 mm şeklindedir. Darbe enerjisinin artmasıyla deplasmanda artış olduğu görülmektedir. Bu noktalardaki deplasman maksimum seviyeye ulaşırken kalıcı deformasyona eşit olmaktadır.



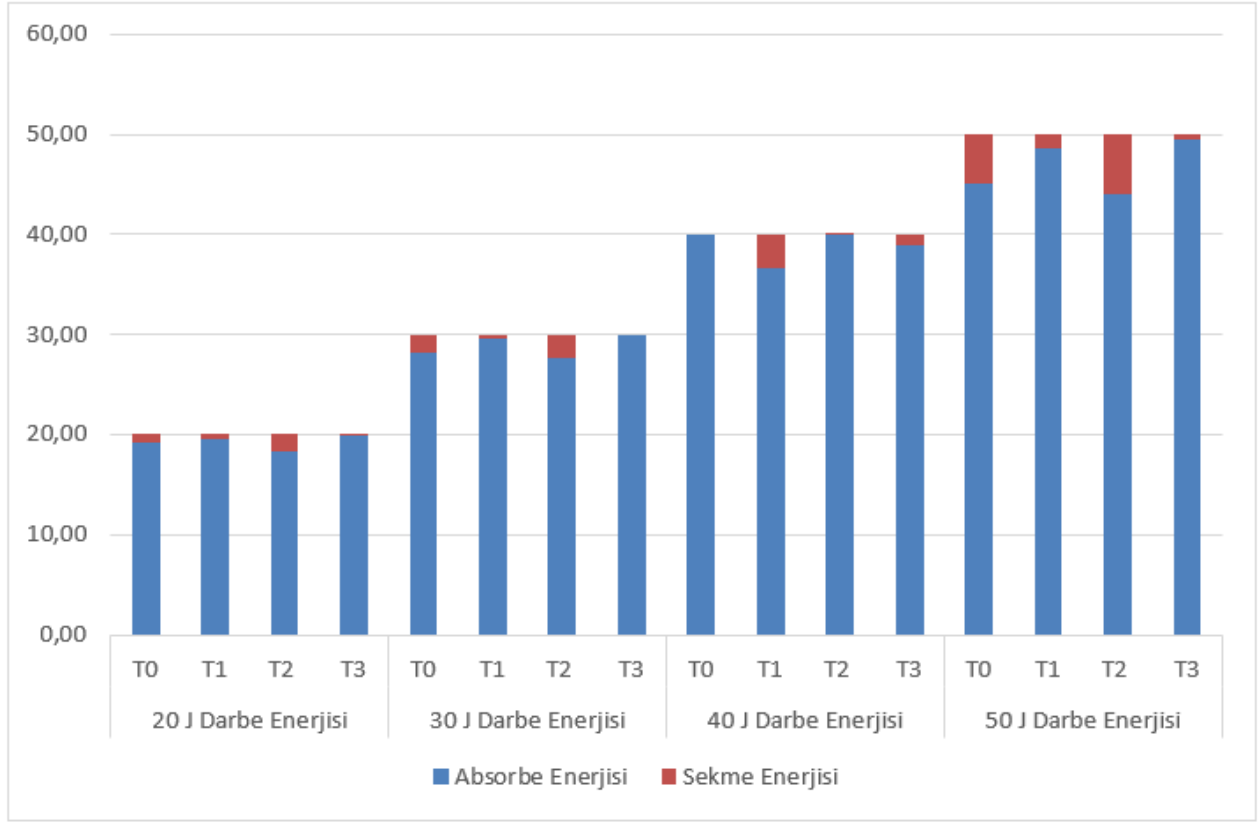
Şekil 12. T3 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe için kuvvet zamanla değişimi

Şekil 12.’de T3 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet zaman değişimleri gösterilmektedir. Aynı malzeme konfigürasyonunda darbe enerjisinin artmasıyla maksimum kuvvette de genellikle artış olduğu görülmüştür. T2 numuneye 20J, 30J, 40J, 50J darbe enerjisinin uygulanmasıyla sırasıyla en yüksek 2744,72 N, 2424,56 N, 2805,55 N 3625,14 N maksimum temas kuvvetine ulaşılmıştır.



Şekil 13. T3 kompozit numunelerin 20-30-40-50 J darbe enerjisindeki kuvvet-deplasman grafiği

Şekil 13’de T2 numuneye uygulanmış farklı darbe enerjilerinde meydana gelen kuvvet deplasman değişimleri gösterilmektedir. 20 J, 30 J, 40 J, 50 J enerji darbelerinde T2 numunede meydana gelen maksimum deplasmanlar sırası ile 0,0139 mm, 0,0186 mm, 0,0233 mm, 0,0199 mm şeklindedir. T3 numunelerde 50 J enerji darbesinde malzeme absorbe özelliğini kaybetmiştir.



Şekil 14. Soğurulan ve sekme enerjileri bilançosu

Şekil 14’te T0, T1, T2 ve T3 numunelerinin 20J, 30J, 40J ve 50J darbe enerjilerindeki absorbe enerjisi ve darbe enerjileri gösterilmektedir. Darbe enerjisi arttıkça numuneler tarafından absorbe edilen enerji genellikle artmaktadır.

## TARTIŞMA / SONUÇ / ÖNERİ

### Sonuçlar

Çelik tel takviye edilen numunelerde temas kuvvetlerinin fazla çıktığı gözlemlenmiştir. Aynı malzemelerde darbe enerjilerinin artması ile temas kuvvetlerinde artış olduğu ve buna bağlı olarak deplasman miktarının da arttığı görülmüştür. Takviye elemanı eklenmesi ile malzemede rijitlik kazanıldığı için deformasyonda azalma olmaktadır. Aynı deney grubunda darbe enerjisi arttıkça alt levha ve üst levhada meydana gelen deformasyonda artış olmaktadır. Genel olarak tel takviye sayısı arttıkça malzeme daha rijit hale geldiği için deney süresinde azalma olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak maksimum kuvvet değerleri tel takviyesi fazla olan numunelerde genellikle daha yüksek değerlerde olmaktadır. Tel takviyesi arttıkça malzemenin elastikiyetinin azaldığı ve mukavemetinin arttığı, buna bağlı olarak da maksimum deplasmanın genellikle azaldığı görülmektedir.

### Öneriler

Al levha kalınlığı değiştirilerek deneyler tekrarlanabilir ve levha kalınlığının darbe davranışına etkisi inceleyebilir. Matris polimer malzemenin kalınlığı değiştirilerek deneyler. Malzeme pişirme sıcaklığı ve süresi üzerine çalışmalar yapılarak daha az enerji tüketimi ve zaman kazanımı sağlanabilir. Çelik tel kalınlığındaki değişimin darbe davranışına etkisini görmek için çelik tel kalınlığı değiştirilerek çalışmalar yapılabilir. Üretilen bu sandviç yapının düşük hızlı darbesinin sanal testi çalışılabilir.

## KAYNAKÇA

- Abdullah, M., & Cantwell, W. (2006). The impact resistance of polypropylene-based fibre–metal laminates. *Composites Science and Technology*, 66(11-12), 1682-1693. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.11.008>
- Aktaş, M., Atas, C., İçten, B. M., & Karakuzu, R. (2009). An experimental investigation of the impact response of composite laminates. *Composite Structures*, 87(4), 307-313. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2008.02.003>
- Albayrak, M., & Kaman, M. O. (2019, Ekim 18). Low velocity impact behavior of aluminum sandwich plates having rubber core. 4. *International Conference on Material Science and Technology in Kızılcahamam/ANKARA(IMSTEC)*.
- Atalay Kalsen, T. S., Karadağ, H. B., & Eker, Y. R. (2023). The out-of-plane compression behavior of in situ ethylene vinyl acetate (EVA)-foam-filled aluminum honeycomb sandwich structures. *Materials*, 16(15), 5350. <https://doi.org/10.3390/ma16155350>
- Baucom, J. N., & Zikry, M. A. (2005). Low-velocity impact damage progression in woven E-glass composite systems. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(5), 658-664. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2004.07.008>
- Dağ, T., Yıldırım, N., Kepir, Y., & Uyaner, M. (2022). E/cam epoksi laminelerin üzerine uygulanan düşük hızlı darbe davranışının sayısal simülasyonu. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.56753/ASREL.2022.1.1>
- Engin, Z. B. (2011). *Balpeteği sandviç kompozitlerin darbe davranışının incelenmesi* [Yüksek Lisans]. Atatürk Üniversitesi.
- Esendemir, Ü., & Caner, A. Y. (2017). Tabakalı kompozit malzemelerin darbe davranışının deneysel olarak incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 207. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.72732>
- Öndürücü, A., & Karacan, A. (2018). Tabakalı cam elyaf/epoksi kompozitlerin darbe davranışının deneysel olarak incelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3), 435-447. <https://doi.org/10.21923/jesd.363292>
- Şişkolar, Ö., Sezen, H., Genç, F. H., & Uyaner, M. (2022). Pekiştirilmiş panellerin sanal testi. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 1(2), 84-94. <https://doi.org/10.56753/ASREL.2022.2.2>
- Uyaner, M. (2021). *Test to graph*. Mendeley Data, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.17632/gydhpktxjk.2>
- Uyaner, M., & Yar, A. (2019). Nano elyaf takviyeli nanokompozit üretimi ve karakterizasyonu. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 10-19. <https://dergipark.org.tr/en/pub/neufmbd/issue/44699/518455>

### EXTENDED ABSTRACT

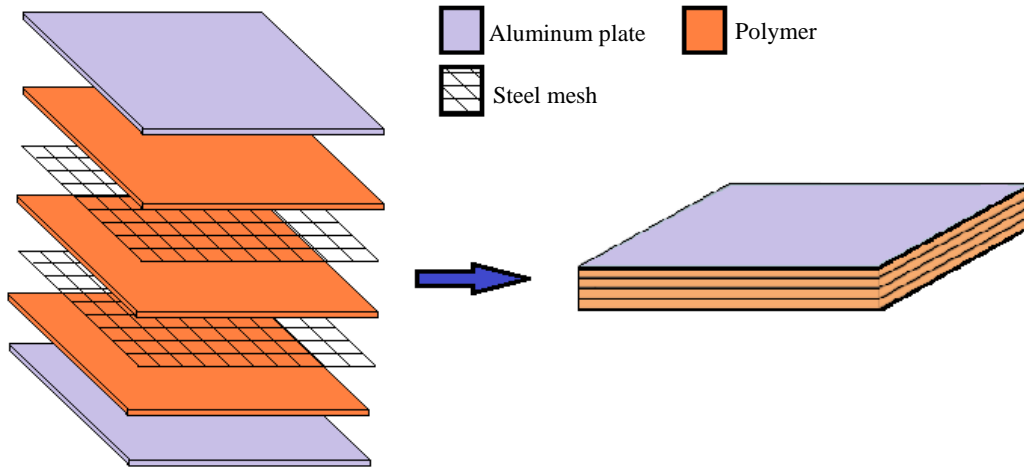


Figure A. Laminated composite and its components

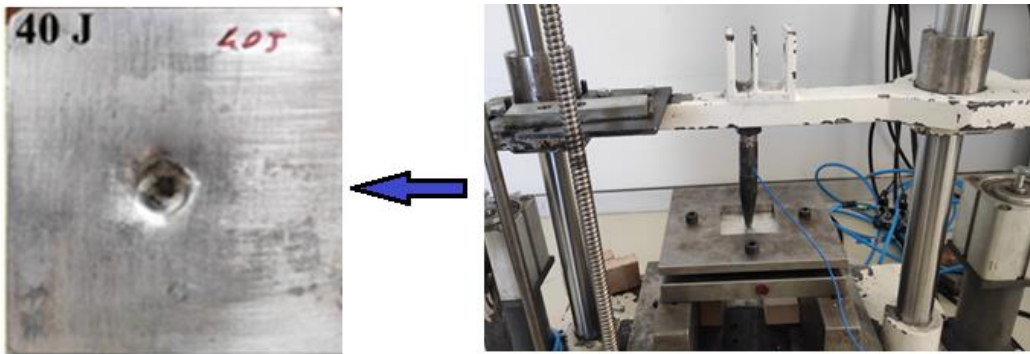


Figure B. LVI test device and tested composite

**Purpose:** In this study, it was aimed to produce a sandwich panel that can be used as an internal structural material in aircraft and other transportation vehicles.

**Theory and Methods:** Aluminum, EVA polymer and steel mesh layers were prepared in 10X10 cm dimensions. Composite material was produced by baking under pressure between heating plates.

**Results:** It was observed that the contact forces were higher in the samples reinforced with steel wire. It has been observed that as the impact energies increase in the same materials, there is an increase in contact forces and accordingly the amount of displacement increases.

**Conclusion:** It has been determined that as the number of wire reinforcements increases, the test time decreases as the material becomes more rigid. Accordingly, maximum force values are generally higher in samples with more wire reinforcement. It is seen that as the wire reinforcement increases, the elasticity of the material decreases and its strength increases, and therefore the maximum displacement generally decreases.