

Al Tel Takviyeli Tabakalı Kompozitin Düşük Hızlı Darbe Davranışı

Hakan Burak KARADAĞ^{1*}  Mehmet Cihad ŞAHİN²  Mesut UYANER³ 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye

³ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzun Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 16.04.2024
Kabul Tarihi: 04.06.2024
Yayın Tarihi: 30.06.2024

Anahtar Kelimeler:

Ağırlık Düşürme,
Düşük Hızlı Darbe Deneyi,
Tabakalı Kompozit Malzeme,
Alüminyum Tel Takviye.

Kauçuk karışımı PU polimer, katmanlı kompoziti oluşturmak için 1050 Al levha ile birlikte özelleştirilmiş bir kalıpta kürlenmiştir. Polimer katman, farklı Al tel ekran sıraları kullanılarak güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş kompozit paneli tek seferde üretmek için yeni bir yaklaşım ortaya konmuştur. Düşük hızda darbe testi yapmak için özel olarak yapılmış bir düşme ağırlığı aparatı kullanılmıştır. Düşen ağırlık testleri, numunelerin darbe davranışını incelemek için beş farklı enerji seviyesinde (40J, 60J, 80J, 100J ve 120J) gerçekleştirilmiştir. Her bir olay için kuvvet-zaman geçmişi kaydedilmiştir. "Enerji-zaman" ve "kuvvet-yer değiştirme" değişimleri ASTM D7136/D7136M-12 standardına uygun olarak gerçekleştirilen kinematik analiz ile elde edilmiştir. Hiçbir numunede delinme meydana gelmemiştir. Numuneler katmanlı olduğundan, penetrasyon sadece üst katmanda gözlenmiştir. Ayrıca, tepe kuvvetleri, soğurulan enerji ve darbe ucunun batma değerleri de sunulmuştur. Çarpma sonrasında katmanlı kompozit yapılarda meydana gelen hasarlar incelenmiştir. Polimer katmanındaki Al elek teli takviyesinin, 120 J'deki testler hariç, düşük hızlı darbe tepkisi üzerinde önemli bir etkisi gözlenmemiştir.

Low Velocity Impact Behavior of Al Wire Reinforced Layered Composite

Article Info

ABSTRACT

Received: 16.04.2024
Accepted: 04.06.2024
Published: 30.06.2024

Keywords:

Drop weight,
Low Velocity Impact
Experiment,
Laminated Composite
Materials,
Aluminum Wire
Reinforcement.

Rubber-blend PU polymer was cured in a customized mold together with 1050 Al sheets to create the layered composite. The polymer layer was strengthened using different rows of Al wire screen. A novel approach to fabricate a reinforced composite panel in one spot was introduced. A specifically made drop weight apparatus was used to conduct a low velocity impact test. Drop weight tests were carried out at five distinct energy levels (40J, 60J, 80J, 100J and 120J) to examine the impact behavior of the specimens. Force-time histories were saved for each event. The "energy-time" and "force-displacement" variations were also obtained by kinematic analysis performed in accordance with ASTM D7136/D7136M-12 standard. No puncture occurred in any specimen. Since the specimens were layered, penetration was observed only in the top layer. In addition, the peak forces, the absorbed energy and the impact tip's indentation are also presented. Damage to the layered composite structures after impact was investigated. No significant effect of Al sieve reinforcement in the polymer layer was observed on the low velocity impact response, except for the tests at 120 J.

To cite this article:

Karadağ, H. B., Şahin, M. C., & Uyaner, M. (2024). Al tel takviyeli tabakalı kompozitin düşük hızlı darbe davranışı. *Aerospace Research Letters (ASREL)*, 3(1), 1-14. <https://doi.org/10.56753/ASREL.2024.3.4>

*Sorumlu Yazar: Hakan Burak KARADAĞ, hbkaradag@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ

Geleneksel malzemelerin yerini ileri teknoloji malzemeleri almaktadır. Özellikle savunma sanayii, uzay ve havacılık, zırhlı araçlar ve otomobil sektöründe, özellikle askeri alanda balistik ve darbe dayanımının artırılması için yapılan araştırmalarda ve malzemede oluşan hasarın tespiti ve yeni tasarımların optimum hale getirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Uçağın hasar görmesi durumunda uçuşuna kısmi devam edebileceği düşünülen ikincil yapısal parçalarında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Darbe sonucu malzemede meydana gelen deformasyonların kapsamlı bir şekilde incelenmesi, literatüre katkıda bulunması ve havacılıkta bakım personeli için bir referans olarak önemlidir. Başta havacılık ve uzay endüstrisi olmak üzere ileri teknoloji sektörlerinde, geleneksel malzemelere kıyasla faydalı yük ağırlığı için alüminyum tabakalı kompozit malzemeler tercih edilir. Alüminyum içeren kompozitler ve alüminyum içeren malzemeler, yüksek dayanım ve ağırlık oranları nedeniyle, özellikle havacılık ve uzay endüstrisi gibi faydalı yük ağırlığının önemli olduğu birçok sektörde hayati önem taşır.

Basınçla kalıplama ile tabakalı kompozitin üretimi gerçekleştirilir (Al-Rubaye, 2018). Kalıp içerisine katmanlar yerleştirildikten sonra basınç tatbik edilir. Bu yöntem ile elde edilen parçalar homojen olup işçilik maliyeti de düşüktür (Al-Rubaye, 2018; Kumar Dhananjayan, 2013).

Tabakalı kompozitlerden sandviç yapılar öz kısmı hücresel (Çetin & Karadağ, 2023) veya fiber laminatlarda (Bienias & Jakubczak, 2012; Moriniere, 2014) olduğu gibi dolu olmak üzere iki farklı türde imal edilirler. Bu yapıların üst ve alt plakaları ya sonradan öze yapıştırılmakta ya da üretim sırasında plakaların proses esnasında öze kendiliğinden yapışması sağlanır. Bizim çalışmamızda polimerin alt ve üst plakalara doğrudan adhezyonu gerçekleştirilmiştir.

Üretilen panellere yabancı madde çarpmasını incelemek için düşük hızlı darbe deneyleri yapılır. Bu yabancı madde, hav araçlarının iniş veya kalkışı sırasında pistten gelen taş, çakıl, cıvata vs. gibi herhangi bir madde olabilir. Uçağın yapısalına olan bu çarpma uçuşa engel teşkil edecek sonuçlar doğurabilir (Hussin vd., 2016; Masniza vd., 2019). Son yıllarda savunma sanayisi, uzay ve havacılık endüstrisi, zırhlı araçlar ve otomobil endüstrisinde balistik ve düşük hızlı darbe direnci yüksek yeni tasarımların ortaya konulmasının önemi artmaktadır.

Kompozit malzemeler, kullanıldıkları zamanlarda hasara neden olabilecek darbe yüklerine uğrayabilirler. Bu sebeple can ve mal kayıplarına yol açabilecek bu hasarların irdelenmesi ve hasarların neden olduğu darbe yükünün laboratuvar ortamında benzeşiminin yapılması büyük önem taşımaktadır. Karşılaşılan bu durumların deney ortamında en iyi benzeşimi sağlayacak düzenek ağırlık düşürme testidir. Ağırlık düşürme testlerinin ana inceleme konusu olduğu çalışmalar üçe ayrılabilir. Birincisi tamamen deneysel çalışmalar (Çetin & Karadağ, 2023), ikincisi analitik çalışmalar (Vaidya, 2011) üçüncüsü de sanal testlerdir (Dağ vd., 2022, 2023). Bu çalışma tamamen deneysel olup özgün olarak üretilen malzemeler, ağırlık düşürme testine tabi tutulmuştur.

Geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında, kompozit malzemelerin üretim, bakım ve onarım maliyetleri oldukça yüksektir. Kompozit malzemelerde meydana gelen hasarların onarımı yüksek maliyetli olup uzman personel gerektirir. Bu bakım maliyetini düşürmek, aynı zamanda geri dönüştürülebilir malzeme ile üretimin yapılması ve hava aracı bakım personeline bir rehber olması adına yapılan bu çalışmada düşük hızlı darbe sonucunda malzemede meydana gelen hasar tipleri incelenmiştir. Literatürde geri dönüştürülebilir malzeme ile farklı tabakalı kompozitlerin davranışlarını inceleyen, deneysel ve analitik çalışmalarının sınırlı olduğu görülmüş. Bu nedenle mevcut çalışmanın literatüre önemli bir katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Geri dönüştürülmüş malzeme ile yapılan malzemeler üzerine son zamanlarda çokça çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar arasında üretilen numunelerin düşük hızlı darbe testi yapılanlar bizim

araştırmamızda ilgi konusu olmuştur. Buna örnek olarak bir çalışmada geri kazanılmış PP kompozitlere ağırlık düşürme testi uygulanmıştır (Alcock vd., 2006). Denizlerdeki midye kabuğu kullanılarak üretilen başka bir materyali düşük hızlarda çarpma davranışı incelenmiştir (Koçhan, 2019). Bu çalışmada öne çıkan bulguların başında midye kabuklarının hiçbir işlem yapılmadan matris ile güçlü bir bağlantı oluşturması gelmektedir.

Çetin ve Karadağ, uçak ve diğer ulaşım araçlarında iç döşeme malzemesi olarak kullanılacak sandviç panel üretmişler ve üretilen numunelere 20J, 30J, 40J, 50J enerjilerinde darbe testleri gerçekleştirmişlerdir. Tel ilavesinin artmasıyla, malzemede görülen elastikiyetin azalıp, mukavemet değerinin arttığı ve bunun sonucunda maksimum deplasmanın genelde azaldığı sonucuna varmışlardır (Çetin & Karadağ, 2023). Çalışmada kullanılan çelik tel dayanımı artırmış olsa da hava araçlarında korozyon direnci olan paslanmaz malzemeler ve hafif olması sebebiyle alüminyum daha çok tercih olması sebebiyle, bu çalışmada alüminyum tel ve üretim sonucunda dayanım/ağırlık oranı yüksek olabilecek polimer kullanımı tercih edilmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışmada polimer dolgulu Al sandviç numuneler üretilmiştir. Kauçuk-parçacık eklenmiş PU hammaddesi Selçuk Kauçuk (Konya) kuruluşundan edinilmiştir. Kuruluştaki bu malzeme ayakkabı taban imalatında kullanılmakta olup bunun reçetesi ticari sır olduğu gerekçesiyle bizlere verilmemiştir. Polimer çekirdeğe güçlendirici olarak Al 1050 elek teli kullanılmıştır. Sandviç yapının alt ve üst plakaları olarak havacılık endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan Al 1050 seçilmiştir. Polimer ve katmanların birbiri ile yapışmaları için plakalar pürüzlendirilmiştir. Tablo 1, pürüzlülük değerlerini vermektedir.

Tablo 1

Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri

Aritmetik Ortalama Pürüzlülük, Ra (μm)	2,287
Kuadratik Ortalama Pürüzlülük, Rq (μm)	3,092
Maksimum Pürüzlülük Derinliği, Rz (μm)	16,479

Alüminyumun kalınlığı 0,53 mm olarak ölçülmüştür. Levha halindeki polimer hammaddesinin kalınlığı 1,45 mm'dir. Alüminyum eleğin tel çapı 0,2 mm olup göz boyutu da 2 mm'dir.

Tabakalı kompoziti oluşturacak bileşenlerin muhtelif konfigürasyondaki kütleleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2

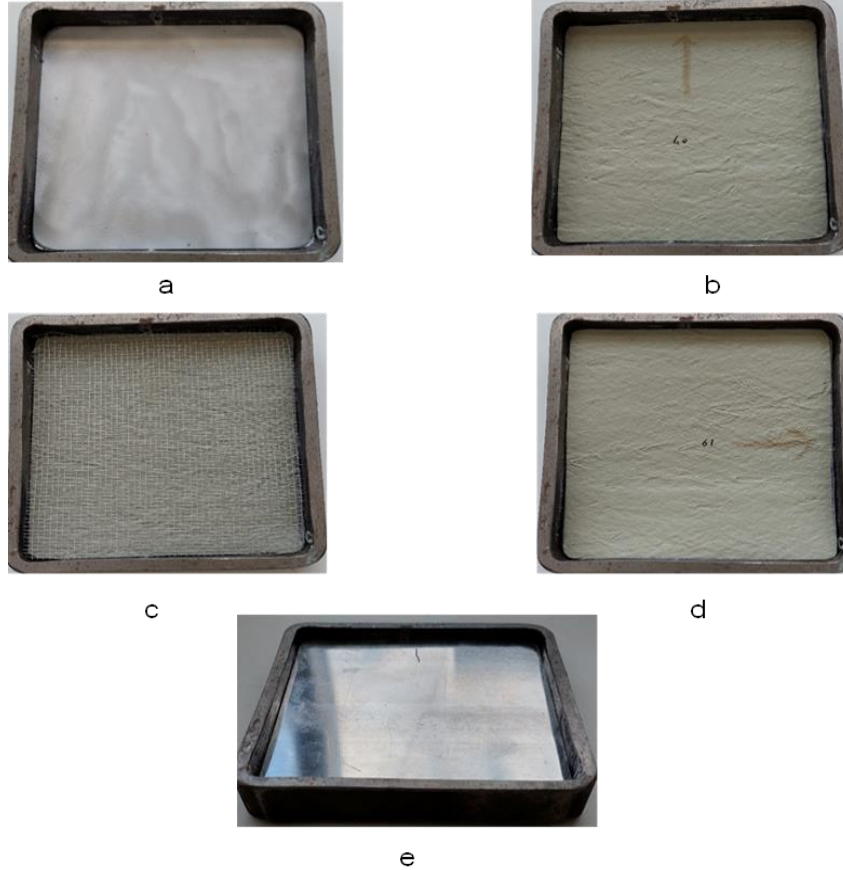
Bileşen Ağırlıkları

Bileşen	Ağırlık (g)
Polimer Tabaka (120x120x1,45mm)	8,636
Al Tel Elek (120x120x0,75mm)	0,935
Al Plaka (120x120x0,53mm)	20
Al – 4 Polimer – Al	54,544
Al –2 Polimer–1 Tel Elek–2 Polimer–Al	55,479
Al – 1 Polimer – 1 Tel Elek– 1 Polimer – 1 Tel Elek– 1 Polimer – 1 Tel Elek– 1 Polimer – Al	57,349

Şekil 1, sandviç numuneyi oluşturan bileşenlerin dizilimini göstermektedir. Bu bileşenler yüksekliği 15 mm olan bir kalıp içerisinde yerleştirilmiştir. Numunelerin kalıba yapışmadan kolayca çıkması için kalıp ayırıcı kullanılmıştır.

Şekil 1

Malzemelerin kalıba dizilimi a) Alt yüzeye, yüzeyi pürüzlendirilmiş alüminyum konulması b) Alüminyum üstüne polimerlerin konulması c) Alüminyum tel eleğin konulması. d) Polimer ilavesi e) Üst yüzeye, yüzeyi pürüzlendirilmiş alüminyum konulması



Bu kalıp içindeki malzemeler sıcaklığı 215°C olan bir fırında 60 dakika bekletilmiştir. Fırından çıkarılan kalıbın tutucuları hızlı bir şekilde çıkarılarak tabakalı kompozitin genişlemesine müsaade edilmiştir. Önceden ısıtılmış fırına tabakalar, fırının ısısını düşürmeden, ivedilikle fırına yerleştirilir. Pişme süresi tamamlanan numuneler fırından alınarak, kalıptan çıkarılır. Üretim yapılırken uygun sıcaklık ve basınçta pişirme işlemi gerçekleşmesinin sebebi, dolgu malzemesinin alüminyum yüzeylere yapışarak kabarak pişmesi için en uygun üretim şekli olduğu için tercih edilmiştir.

Tablo 3, pişirme öncesi ve sonrasında bileşenlerin toplam kalınlıkları göstermektedir. Pişme sonrası kalınlıklar genişleme sonrasında ölçülmüştür.

Tablo 3

Pişme Öncesi ve Sonrası Kalınlıklar

Malzemeler	Pişme öncesi kalınlık (mm)	Pişme sonrası kalınlık (mm)
Al-4P-Al	6,8	13,5
Al-2P-T-2P-Al	7,55	11,8
Al-P-T-P-T-P-T-P-Al	9,05	10,9

Tablo 4, proses parametrelerini içermektedir.

Tablo 4
Proses parametreleri

Kalıp boyutları	120x120x15mm
Fırın sıcaklığı	215 °C
Fırında bekleme süresi	60 dakika

Ağırlık Düşürme

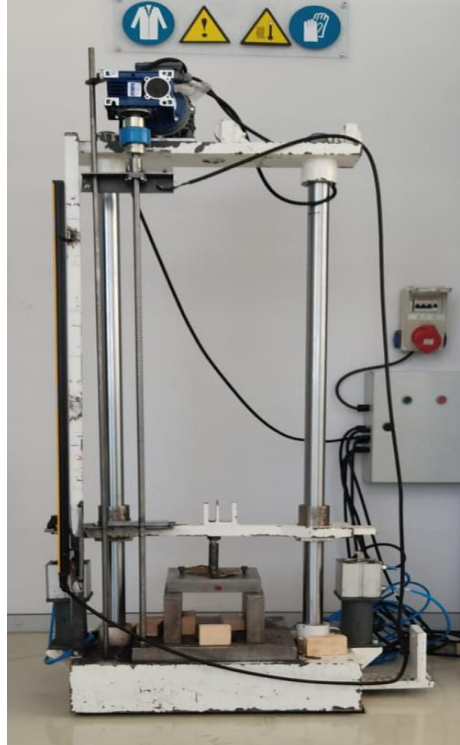
Elde edilen uygun sıcaklık ve basınç değerlerinde üretilen tabakalı kompozit malzeme için, yaşam döngüsü boyunca maruz kalabileceği farklı darbe enerjilerini simüle etmek için düşük hızlı darbe deneyi yapmak için özel olarak üretilen ağırlık düşürme test düzeneğinde testler yapılmıştır.

Deney düzeneğinin vurucusu 17 kg'dır. Darbeler, 12 mm yarıçapındaki yarı-küresel bir çelik vurucu ile numunelerin merkezlerine yapılmıştır. Tekrarlı darbelerden kaçınmak için ilk darbeden sonra vurucu tutulmuştur. Kuvvetin zamana bağlı değişimi, darbe süresi boyunca bir veri toplama kartı yardımıyla bilgisayara kaydedilmiştir.

Test cihazında PLC kontrollü olarak bir dijital cetvel yardımıyla vurucu istenilen yüksekliğe kadar çıkarılmaktadır. Deneye hazır olduğunda bir bağlatma düğmesi ile vurucu mıknatıslı tutucudan kurtulmakta ve test numunesi üzerine serbest düşme yapmaktadır. Yine dijital cetvelden alınan konum bilgisi ile vurucu numuneye çarptıktan sonra havalı sistem tetiklenmekte ve tutucu malzemeye penetre olduğunda havalı pistonlar ile vurucu numuneden yukarıya doğru kaldırılmakta ya da vurucu numuneden geri sektiğinde vurucu numuneye ikinci vuruşu yapmadan açılan pistonlar üzerine düşmektedir (Şekil 2).

Şekil 2

Düşük Hızlı Darbe Test Cihazı



Ağırlık düşürme testinde, enerjinin potansiyel ve kinetik enerjiye dönüşümünün yanı sıra bir kısım enerji numunede hasara harcanmaktadır. Kaymalı yatak ve hava sürtünmesi ihmal edilecek kadar küçüktür. Vurucu kütlesi belli olduğundan darbe enerjisi doğrudan belli bir yüksekliğe çıkarılmış vurucunun potansiyel enerjisine eşit olmaktadır. Çarpma anındaki darbe başlangıç hızı enerjinin korunumu ilkesiyle kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Bu açıklamalar ışığında öngörülen, 40, 60, 80, 100 ve 120 J darbe enerjilerine karşılık gelen düşme yüksekliği, darbe hızı hesaplanmış olup bu değerler ile diğer test parametreleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5*Ağırlık Düşürme Test Parametreleri*

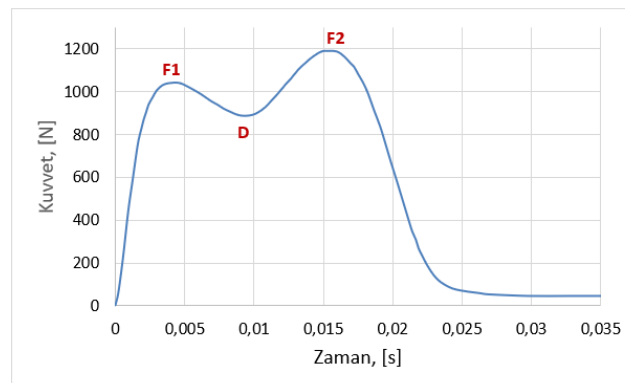
Özellikler	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Darbe Enerjisi (J)	40	60	80	100	120
Düşüş Yüksekliği (m)	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72
Darbe İlk Hızı (m/s)	2,17	2,66	3,07	3,43	3,76
Vurucu Kütlesi (kg)	17	17	17	17	17
Vurucu Çapı (mm)	12	12	12	12	12
Numune Boyutları (mm)	120x120	120x120	120x120	120x120	120x120

Ağırlık düşürme testinde darbe enerjisinin tamamen elastik ve plastik deformasyon ile hasarlara harcadığı kabul edilmiştir.

40, 60, 80, 100 ve 120 J olmak üzere beş değişik darbe enerjileri için ağırlık düşürme testleri gerçekleştirilmiştir. Al kapaklar **Al**, polimer katmanı **P** ve tel takviyesi **T** olmak üzere üç farklı dizilimde numuneler üretilmiştir. Bu üç dizilim sırasıyla **Al/4P/Al**, **Al/2P/1T/2P/Al** ve **Al/P/T/P/T/P/Al** dir. Her bir test üçer kez tekrarlanmıştır.

Deneyler sırasında vurucunun numunelere temas süresince doğan kuvvetler zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Kuvvet geçmişleri kullanılarak kinematik analiz yardımıyla yer-değiştirmeye bağlı kuvvet değişimi ile temas süresince enerji geçmişleri elde edilmiştir (Uyaner, 2021).

Şekil 3 vurucunun bir sandviç numuneyi tamamen deldiği bir darbe testinde elde edilen tipik bir kuvvet geçmişini göstermektedir. Bu tür testlerin kuvvet geçmişlerinde iki adet maksimum nokta ortaya çıkar. Bu noktalara karşılık gelen kuvvetler sırasıyla F1 ve F2 olarak isimlendirilmiştir. Buradaki F1 kuvveti üst plakanın delindiği, F2 kuvveti ise alt plakanın delinme anındaki kuvvetlerdir. Kuvvetin geçmişinde ortaya çıkan bu durum alt ve üst kabuk rijitliğinin dolgu katmanına (çoğunlukla bu dolgu katmanı hücrelidir) göre yüksek olan sandviç kompozitlerde ortaya çıkar.

Şekil 3*Bir Sandviç Kompozitin Ağırlık Düşürme Testinde Ortaya Çıkan Tipik Kuvvet Geçmişi*

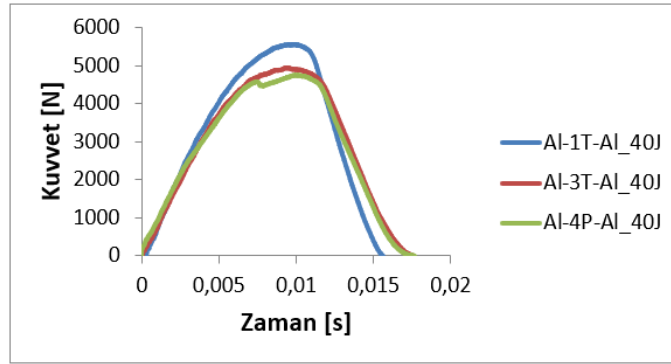
Temas sırasında ortaya çıkan kuvvet, vurucunun üst katmana temasıyla beraber üst plaka yırtılana kadar hızla artar. Üst plaka metal ise çukurcuk oluşumu ve yırtılma ile, metal olmayan kabuklarda da bu kabuğun hasarı ile vurucunun altındaki dolgu hacmi sıkışmaya başlar. Bu sıkışma sonucu dolgunun sıkışma bölgesindeki yoğunluğu artar. Bu olaya densifikasyon denir. Bu yoğunluk artışının nihai noktası kuvvet geçmişinde D noktasına karşılık gelir. Yoğunluğu bölgesel artmış dolgu malzemesi maksimum yoğunluğa eriştikten sonra vurucuya direnç gösterir ve bunun sonucu temas kuvveti tekrar artmaya başlar. Temas kuvvetinin ikinci kez maksimum olduğu F2 noktasında alt plaka delinmeye başlar ve bunun sonucunda kuvvette düşme görülür. Sandviç malzeme delindikten sonra vurucu ile numune arasındaki sürtünme kuvveti nedeniyle temas kuvveti tamamen sıfır olmaz.

BULGULAR

40, 60, 80, 100 ve 120 J olmak üzere beş farklı enerji seviyelerinde yapılan deneylere ait kuvvet geçmişi, yer-değiştirmeye karşılık kuvvet değişimi ve enerji geçmişleri elde edilmiştir. Bu değişimlerin tamamı (MCŞ 2023) te mevcuttur. 120 J için olan hariç diğer darbe enerjisi için bulgular birbirine benzemektedir. Değerlendirme için sadece 40J ve 120 J deneylerine ait grafikler takdim edilmiştir (Şekil4 - Şekil 9).

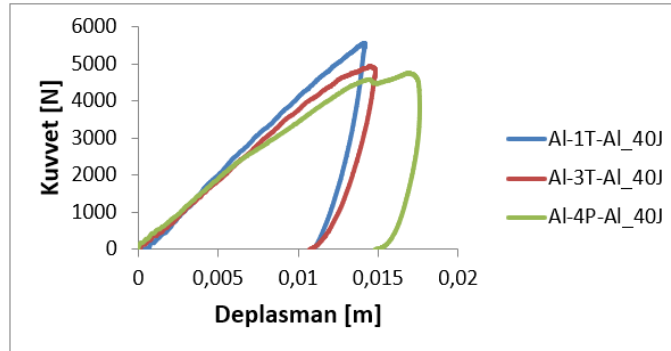
Şekil 4

40J İçin Kuvvet Geçmişi



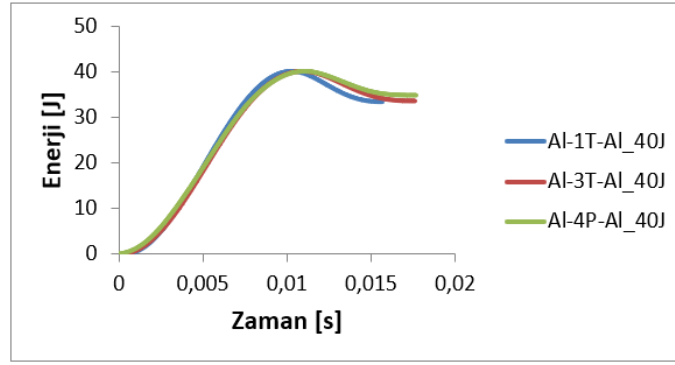
Şekil 5

Yer değiştirmeye bağlı kuvvet değişimi (40J)

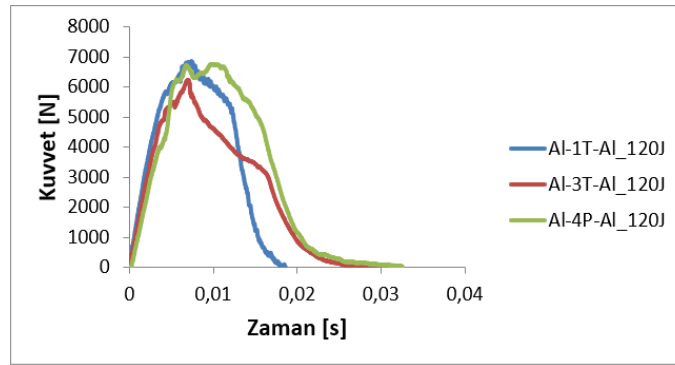


Şekil 6

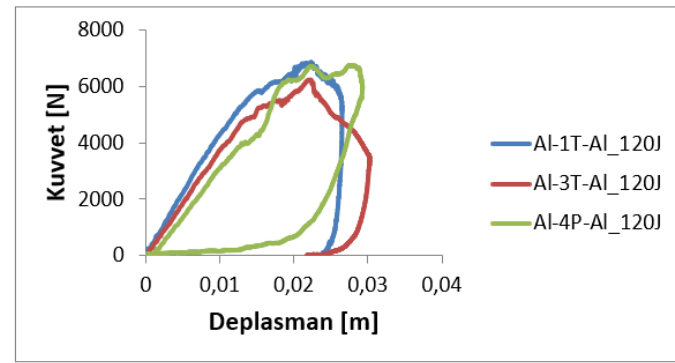
40J için enerji geçmişi



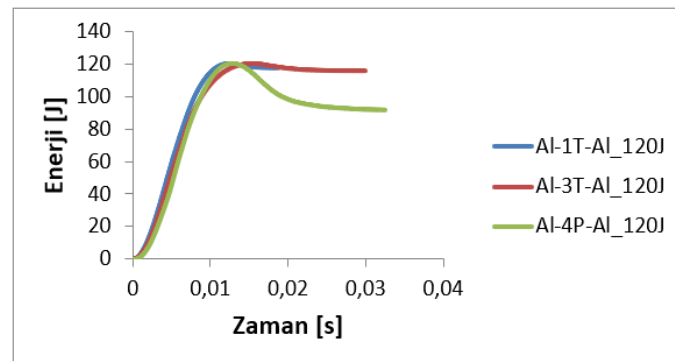
Şekil 7
120J için Kuvvet Geçmişi



Şekil 8
Yer Değiştirmeye Bağlı Kuvvet Değişimi (120J)

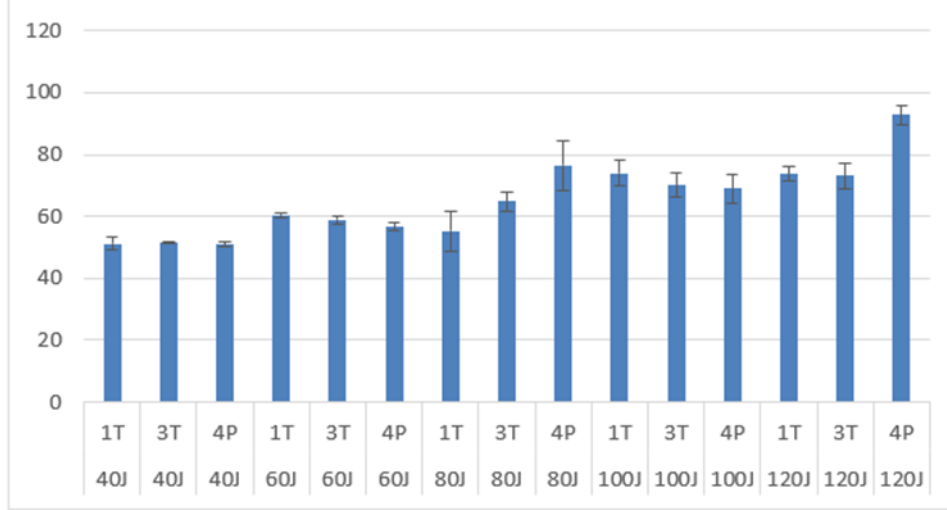


Şekil 9
120J için Enerji Geçmişi

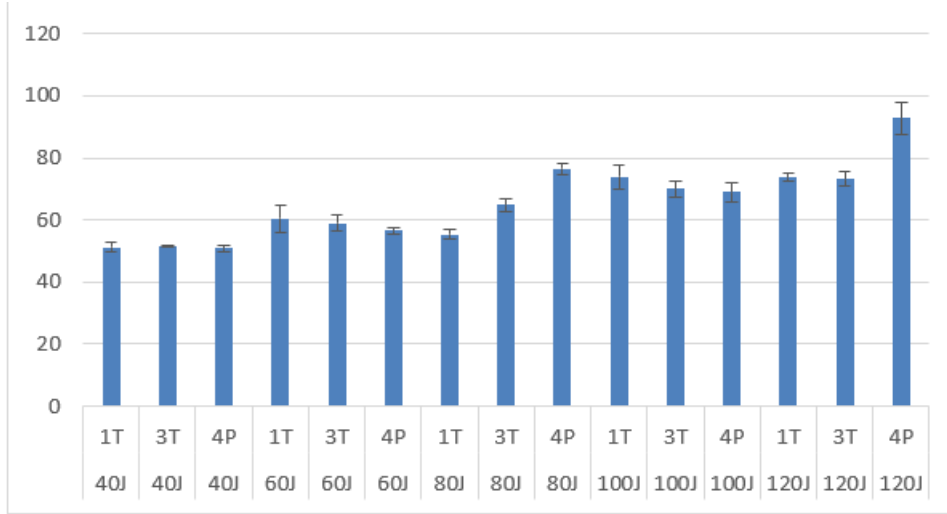


Teste tabi tutulan numunelerin hiçbirinde alt plakalar delinmemiştir. Bunun sonucu olarak kuvvet geçmişlerinde ikinci tepe noktası oluşmamıştır.

Şekil 10
İtki Kuvvetleri















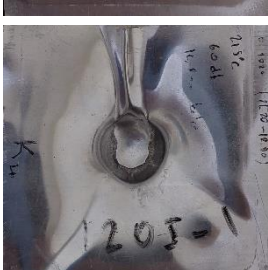


Şekil 11
Yutulan Enerjiler



Test edilen numunelerin itki kuvvetleri ve yutulan enerjiler sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de görülmektedir. Çekirdek tabakasına Al tel takviyesinin yutulan enerji bakımından tüm enerji seviyelerinde anlamlı bir değişikliğe yol açmamıştır. Tel ilaveli ve tel ilavesiz numunelerde vurucunun temas süresi hemen hemen aynı görülmektedir. 120J değerindeki 4 kat polimer ve telsiz olan numunede anlamlı bir fark görülürken, diğer değerlerde anlamlı bir sonuç görülmemiştir. Darbelerin tekrar sayısının artması ya darbelerin tekrarlanması ya da orta hızlı darbelerle deneylerin gerçekleşmesi anlamlı sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Tablo 6, darbe testi sonrası kompozit plakalarda meydana gelen hasarları özetlemektedir. Tüm numunelerde delinme gerçekleşmemiştir. Ağırlıklı olarak her numunede batmalar ve kompozitin üst katmanında vurucu ucunu çevreleyen hat boyunca yırtılmalar oluşmuştur.

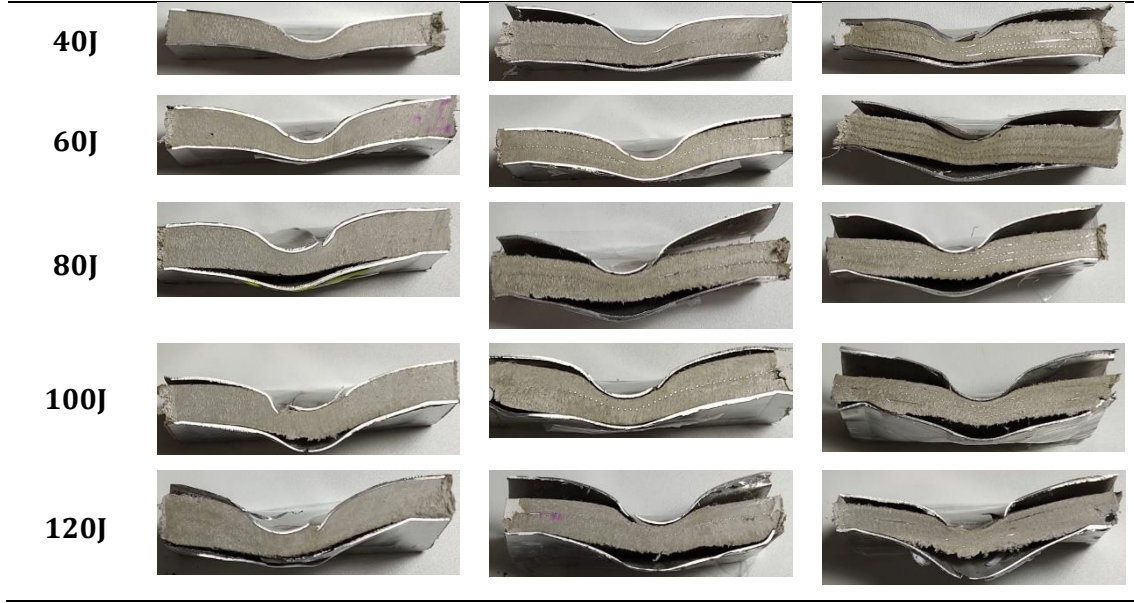
Tablo 6
Numune Ön Yüzlerine Ait Hasar Görüntüleri

<i>E</i>	Al/4P/Al	Al/2P/1T/2P/Al	Al/P/T/P/T/P/T/P/Al
40J			
60J			
80J			
100J			
120J			

Tablo 7, darbe testi uygulanmış numunelerin kesit görüntülerini içermektedir. Numunelerde ya üst plaka ya alt plaka ya da her iki plaka ile polimer arasında delaminasyon oluşmuştur.

Tablo 7
Hasarlı Numunelerin Kesit Görüntüleri

<i>E</i>	Al/4P/Al	Al/2P/1T/2P/Al	Al/P/T/P/T/P/T/P/Al
----------	----------	----------------	---------------------



TARTIŞMA

Kürleme fırının sıcaklık dağılımının düzgün olmaması nedeniyle numunelerin bazı kısımlarında kalınlık farklılıkları oluşmuştur. Ayrıca alüminyum tel elek sayısının artması ile birlikte polimerin genişmesi negatif olarak etkilenmiştir. Bunun sebebi olarak alüminyum eleğin ortamdaki ısıyı soğurması görülmüştür. Bunun yanında Al tellerin polimerlerin birbiriyle etkileşime girerek yeteri kadar yapışmasına ve kabarmasına engel olduğu düşünülmüştür.

Darbe testleri esnasında elek ilaveli numunelerde alt ve üst tabakalarda delaminasyon artışı gözlemlenmiştir. Al tel takviyeli kompozit panel üretim sürecinin yeniden planlanarak farklı bir üretim prosesin geliştirilmesi sonucuna varılmıştır.

Elek ile polimer tabakaları arasında bir ayrılma görülmemiştir. Bu nedenle polimerin elek tabakasına yeterince nüfuz ettiğini söyleyebiliriz.

SONUÇ

Bu çalışma için gerçekleştirilen darbe testlerinde hiçbir numune tam penetrasyona ulaşamamıştır. Elek telli numuneler, alüminyum tel ekranın katmanlı yapıyı güçlendirmesi beklenmesine rağmen, alüminyum sandviç plakalarda delaminasyon hasarının arttığını göstermiştir. Soğurulan enerji, artan darbe enerjisiyle orantılı olarak artmıştır. Numunelerin hiçbiri tam penetrasyon göstermese de 100 J ve 120 J okumaları, elek teli eklenmemiş numunelerin maksimum enerji emilim değerine ulaştığını göstermektedir. 120 J'de, Al tel ekranın etkisi görülebilir. 120J'nin altındaki enerji seviyelerinde önemli bir fark görülmemiştir.

ÖNERİ

Al tellerinin elek tel açıklığı daha fazla olan tercih edilebilir. Bunun için yeni bir proses ile üretimler düşünülebilir.

Alüminyum sandviç plakalar ile polimerin yapışmasını iyileştirecek ikincil bir polimer kullanılabilir.

Etik Beyan

Bu çalışma Mehmet Cihad Şahin'in Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yapmış olduğu "Al Tel Takviyeli Tabakalı Kompozitin Düşük Hızlı Darbe Davranışı" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışmada etik kurul onayı gerektiren insan veya hayvan denekleri kullanılmamıştır. Araştırma, kamuya açık veri setleri, literatür taramaları veya teorik analizler üzerinden yürütülmüştür. Etik kurallar gereği, araştırma sürecinin her aşamasında akademik dürüstlük ve bilimsel etik kurallara tam uyum sağlanmıştır. Bu nedenle, etik kurul onayı gerekmemiştir.

Yazar Katkıları

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) Mesut UYANER (%60) – Hakan Burak KARADAĞ (%40)

Veri Toplama (CRediT 2) Mehmet Cihad ŞAHİN (%100)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) Mesut UYANER (%50) – Hakan Burak KARADAĞ (%30) Mehmet Cihad ŞAHİN (%20)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Mesut UYANER (%75) – Mehmet Cihad ŞAHİN (%25)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) Mesut UYANER (%10)

Finansman

Çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün 211316001 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 9 Sanayi, Yenilikçi ve Altyapı

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 12 Sorumlu Üretim ve Tüketim

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 13 İklim Eylemi

REFERANSLAR

- Alcock, B., Cabrera, N., Barkoula, N., & Peijs, T. (2006). Low velocity impact performance of recyclable all-polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 66(11-12), 1724-1737. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.11.010>
- Al-Rubaye, M. M. J. (2018). *Low Velocity Impact Behavior of Glass Fiber and Carbon Fiber Reinforced Composites* [MSc.]. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bienias, J., & Jakubczak, P. (2012). Low velocity impact resistance of aluminium/carbon-epoxy fiber metal laminates. *Composites Theory and Practice*, 12(3), 193-197.
- Çetin, Ş., & Karadağ, H. B. (2023). Tabakalı kompozitlerin darbe direncinin incelenmesi. *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*, 2(2), 114-127. <https://doi.org/10.56753/ASREL.2023.2.5>
- 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>
- Dağ, T., Yıldırım, N., Şentürk, G., Durmazoğlu, M., Yıldırım, S., & Uyaner, M. (2023). Virtual investigation on the response of Glare to low velocity impact. *2023 10th International Conference on Recent Advances in Air and Space Technologies (RAST)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/RAST57548.2023.10198016>
- Hussin, R., Ismail, N., & Mustapa, S. (2016). A study of foreign object damage (FOD) and prevention method at the airport and aircraft maintenance area. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 152(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/152/1/012038>
- Koçhan, C. (2019). Low velocity impact behaviour of recycled mussel shell particles reinforced epoxy composites. *Materials Research Express*, 6(8), 85105. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab21ff>
- Kumar Dhananjayan, V. (2013). *Design and Analysis of a Compression Molded Carbon Composite Wheel Center* [Yüksek Lisans]. The University of Texas at Arlington, Faculty of the Graduate School.
- Masniza, Y., Zulfabli, H. M., Amarul, T., Khairunnisa, S. N., Zilawati, N. A. R. N. N., Nazera, D., & Ismalina, H. N. (2019). Potential FOD defects on the composite material. *AIP Conference Proceedings: 5th International Conference on Green Design and Manufacture (IConGDM 2019)*, 2129(July). <https://doi.org/10.1063/1.5118064>
- Moriniere, F. D. (2014). *Low-velocity impact on fibre-metal laminates* (C. 2, Sayı 2012). <https://doi.org/doi.org/10.4233/uuid:022e1a88-f48e-493e-805e-014f396a05dc>
- Uyaner, M. (2021). *Test to graph*. Mendeley Data, Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.17632/gydhpktxjk.2>
- Vaidya, U. K. (2011). Impact Response of Laminated and Sandwich Composites. İçinde S. Abrate (Ed.), *Impact Engineering of Composite Structures* (ss. 97-191). Springer Vienna. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0523-8_4

EXTENDED ABSTRACT

Purpose: It has been noticed that there are few studies in the literature examining the behavior of recyclable materials and different layered composites and conducting experimental and analytical studies, and this study aims to fill the missing part of the literature.

Theory and Method: The layered composite was produced by curing the rubber blended PU polymer together with 1050 Al sheets in a special mold. Various rows of Al wire screen were used to reinforce the polymer layer. A new method to produce a reinforced composite panel in one spot was tested.

Results: No puncture occurred in any specimen. Since the specimens were layered, penetration was observed only in the top layer. In addition to all these curves, the maximum force values, the energy absorbed by the layered composite structure and the indentation depth of the impact tip obtained from the low-speed impact test are also shown.

Conclusion: In response to the increasing impact energy, the amount of energy absorbed increased. While full penetration was not observed in any sample, values of 100 J and 120 J show that the maximum energy absorption value was reached in samples without sieve addition. The effect of aluminum sieve wire can manifest itself at a value of 120 J. No significant change was observed at impact energy levels lower than 120 J.