

METAL TABAKALI KOMPOZİTLERİN DÜŞÜK HIZLI ENİNE DARBEYE KARŞI DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

¹Memduh KARA, ²Mesut UYANER

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42370, Seydişehir, KONYA

² Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42130, KONYA

¹ mkara@konya.edu.tr, ² muyaner@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 08.02.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 26.02.2016)

ÖZ: Bu çalışmada metal kompozit levhaların düşük hızlı enine darbe davranışları incelenmiştir. 1 mm kalınlığında St37 DKP çelik ve 1050-H14 alaşımlı alüminyum plakalar kullanılarak dört farklı yerleşim düzeninde oluşturulan üç katmanlı kompozit levhalar farklı enerji seviyelerinde düşük hızlı darbe testlerine maruz bırakılmışlardır. 150x150 mm ebatlarında kesilen metal levhalar üç alüminyum, üç çelik, alüminyum+çelik+alüminyum ve çelik+alüminyum+çelik olacak şekilde dizilerek dört tarafı ankastre olacak şekilde bağlanmıştır. Deneylerde kullanılan vurucu kütlesi 6,35 kg olup 24 mm yarı küresel geometriye sahiptir. Hazırlanan her bir deney numunesinin ortasına 10J, 20J, 30J, 40J ve 50J enerji seviyelerinde darbe testleri yapılmıştır. Darbe testleri sonucu elde edilen kuvvet-zaman, hız-zaman ve kuvvet-yer değiştirme değişimleri grafikler halinde incelenmiştir. Her bir deney numunesinde meydana gelen hasarların boyutları ve hasar şekilleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metal tabakalı kompozit, Enine darbe, Hasar davranışı, Dinamik cevap

Investigation of Low Velocity Transverse Impact Behavior of Metal Laminated Composites

ABSTRACT: In this study, transverse impact behavior of laminated metal composites was investigated. Four different configuration namely (Al)₃, (St)₃, (Al+St+Al) and (St+Al+St), were made by using St37 DKP and 1050-H14 Al alloy which all in 1 mm thick. Three layered composites were tested under various impact energies. The panels were cut in 150x150 mm dimensions and they were restricted from their four sides. Impactor that used in tests has mass of 6.35 kg and it has 24 mm semispherical tip. Each configuration was impacted 10 J, 20 J, 30 J, 40 J and 50 J. Retrieved data from the tests were investigated in forms of force-time, velocity-time and force-displacement. Finally, failures were evaluated for each test.

Key Words: Metal laminated composite, Transverse impact, Failure behavior, Dynamic response

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzemelerde dışarıdan gelebilecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için, malzemenin en uygun cevabı verebilmesi istenir. Darbeden kaynaklanan hasar, üretim, bakım ve servis işlemleri sırasında ortaya çıkabilir. Üretim veya bakım sırasında kullanılan takımlar

DOI: 10.15317/Scitech.2016.56

yapı üzerine düşebilir. Bu tür darbeler düşük hızlı darbe olarak adlandırılmaktadır. Metal ve metal alaşımlarında darbe sonucunda oluşan hasar darbeye maruz kalan yüzeyde meydana gelir. Kompozit malzemelerde ise darbe sonucunda oluşan hasar, çarpmanın türüne göre darbeye maruz kalmayan yüzeyde de örneğin içyapıda delaminasyonlar (tabakalar arasında ayrılma) şeklinde görülebilir. Metallerde darbe cevabı, plastik şekil değiştirme sonucunda bir kopma veya kırılma şeklinde olmasına rağmen, kompozitler çok değişik durumlarda hasara uğrayabilirler ve bu hasar durumlarında parçanın yapısal bütünlüğünde ciddi bir değişiklik meydana gelmez (Kara, 2006).

Metaller, kompozitler ve sandviç malzemeler üzerinde gerçekleştirilen düşük hızlardaki darbe davranışlarıyla ilgili birçok deneysel çalışmalar yapılmıştır ve analitik yöntemler geliştirilmiştir. Bu alandaki önemli çalışmaların bir kısmı şunlardır:

Dinamik yüklemeye altındaki kompozit malzemeleri karakterize etmek için ilk çalışmalar (Rotem ve Lifshits, 1971), (Lifshits, 1976) ile (Sierakowski *ve diğ.*, 1971) tarafından yapılmıştır. (Sierakowski ve Chaturvedi, 1997) ile (Abrate, 1998) çeşitli darbe modeli ve muayene yöntemlerinde ilerlemeler kaydetmişlerdir.

Tabakalı kompozitlerin düşük hızlı darbe cevabı analitik olarak (Ramkuar ve Chen, 1982), (Sun ve Jih, 1995) ile (Abatan *ve diğ.*, 1998) tarafından araştırılmıştır. (Gong ve Lam, 1999) tarafından düşük hızlı darbeye karşı plaka cevabının önceden tahmin edilmesi için yaklaşık bir çözüm sunulmuştur. Bu çözüm, temas kuvveti ve enine kayma şekil değiştirmesinin etkisi gibi plakanın ve takviye elemanlarının beraberce hareketlerini içerir. Hibrit tabakalı kompozit plakaların düşük hızlı darbeye bağlı cevabı kayma deformasyon teorisi kullanılarak (Lee *ve diğ.*, 1997) tarafından araştırılmıştır. (Kim ve Kang, 2001) darbe kuvvetini önceden belirlemek için enine darbeye maruz kompozit plakaların dinamik şekil değiştirmesinden yeni bir analitik metod geliştirmişlerdir.

(Martinez *ve diğ.*, 2011) 2024-T3 alüminyum alaşımını çeşitli hızlarda ve sıcaklıklarda yaptıkları çekme deneyleriyle mekanik olarak karakterize etmiş ve bu malzemeden yapılan plakaları farklı başlangıç sıcaklıklarında düşen ağırlık test cihazıyla 0,5 ve 4,5 m/s darbe hızı aralıklarında test etmişlerdir. Deneylerden elde ettikleri sonuçları literatürde aynı işlemin çeliklere uygulanmasıyla elde edilen sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Delinen alüminyum plakaların deformasyon bölgesinde çanak ve kırık oluşumu olduğunu ve bu plakaların enerji sönümlenme miktarlarının çeliğe kıyasla daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır.

(Grytten *ve diğ.*, 2009) 3,5 ve 15,8 m/s hız aralıklarında darbeye maruz kalan AA5083-H116 alüminyum plakaların deformasyonlarını deneysel olarak, negatif deformasyon sertleşmesinin, plastik anizotropinin ve ısı yumuşamanın etkilerini ise nümerik modellerle incelemişlerdir. Darbe kuvvetinin yalnızca negatif deformasyon sertleşmesinden, hasar derecesinin ve şeklinin ise sadece ısı yumuşamadan etkilendiğini belirlemişlerdir. Plastik anizotropinin etkisiz olduğu görülmüştür.

(Fan *ve diğ.*, 2011) yaptıkları çalışmada fiber-metal katmanlı (FMK) plakaları düşük hızlarda darbeye maruz bırakarak oluşan deformasyon ve hasarı incelemişlerdir. Çalışmadaki FMK 2024-0 alüminyum ve çapraz cam elyaf içermektedir. Katman miktarının artmasıyla artan plaka kalınlığının ve artan penetratör büyüklüğünün yapının darbe enerji sönümlenme kapasitesini artırdığını görmüşlerdir.

(Zucchelli *ve diğ.*, 2010) yaptıkları çalışmada DC04ED tipi düşük karbon içerikli dikdörtgen çelik plaka ve üzeri camsı emaye ile kaplı düşük karbon içerikli dikdörtgen çelik plaka olmak üzere iki farklı malzeme kullanmıştır. Bu malzemeler piezoelektrik yük ölçer içeren düşen ağırlık test cihazında düşme mesafesi değiştirilerek farklı enerji gruplarında test edilmiş ve aynı zamanda bilgisayar ortamında modelleme çalışması yapılmıştır. Test sonuçları değerlendirildiğinde camsı emaye kaplı çelik plakaların kaplı olmayan çelik plakalara göre 6 kat daha fazla kritik enerji seviyesine sahip olduğu belirlenmiş ve modelleme çalışmalarıyla da doğrulanmıştır.

(Crupi *ve diğ.*, 2010) yaptıkları çalışmada, cam elyaf kompozit yüzü PVC göbekli sandviç ve alüminyum plaka yüzeyli alüminyum köpük göbekli sandviç malzemelerin çarpışma mukavemetlerini karşılaştırmıştır. Cam elyaf kompozit yüzü PVC göbekli sandviç yapıların düşen ağırlık testlerinde 7 kg yük kullanılmış ve 4-9 m/s hız aralığında test numuneleri üzerine bırakılmıştır. Alüminyum plaka

yüzeyle alüminyum köpük göbekli sandviç yapıların düşen ağırlık testlerinde ise yük sabit tutulurken çarpma hızı aralığı 4-8 m/s aralığında tutulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde cam elyaf kompozit yüzlü PVC göbekli sandviç yapıların tamamen hasar alması için gereken enerji miktarı alüminyum plaka yüzeyle alüminyum köpük göbekli sandviç yapılardan daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Bu çalışmada düşük hızlarda darbeye maruz kalan St37 DKP çelik ve 1050-H14 alüminyum alaşımı plakalarda oluşan hasar; düşen ağırlık test cihazı ile farklı enerji seviyelerinde gerçekleştirilen darbe deneyleriyle belirlenmiş, darbe karakteristiğini belirlemede kullanılan grafikler elde edilmiş ve hasar analizi yapılmıştır. Deneyler 4 farklı tabakalı yapı oluşturularak gerçekleştirilmiştir.

MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

Deney Numunelerinin Hazırlanması (Preparation of Specimens)

Bu çalışmada düşük hızlarda darbe deneyleri için 1 mm kalınlığında St37 DKP çelik ve 1050-H14 alüminyum alaşımı plakalar kullanılarak dört farklı yerleşim düzeninde tabakalı kompozit metal levhalar oluşturulmuştur. Kullanılan levhaların kimyasal bileşimleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1. Al 1050-H14'nin kimyasal bileşimi (%)

Table 1. Chemical composition of Al 1050-H14 (%)

Al	Fe	Si	Zn	Ti	Mg	Mn	Cu
99,5	0,0 - 0,4	0,0 - 0,25	0,0 - 0,07	0,0 - 0,05	0,0 - 0,05	0,0 - 0,05	0,0 - 0,05

Çizelge 2. St37 Çelik malzemenin kimyasal bileşimi (%)

Table 2. Chemical composition of St37 Steel (%)

C (max)	N	S (max)	P (max)
0,17	0,012	0,04	0,04

Çelik ve alüminyum levhalar kullanılarak oluşturulan kompozit levhalara ait konfigürasyon yapısı Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Oluşturulan kompozit levhalar ve katmanları

Table 3. The structure of the composite layers

Deneysel İsimlendirme	Üst Tabaka	Orta Tabaka	Alt Tabaka
AÇA	Al 1050-H14	St37	Al 1050-H14
ÇAÇ	St37	Al 1050-H14	St37
3A	Al 1050-H14	Al 1050-H14	Al 1050-H14
3Ç	St37	St37	St37

Ağırlık Düşürme Test Cihazı (Drop Weight Test Device)

Dinamik darbe testleri numunelerin düşük hızlı darbe davranışlarını elde etmek için özel olarak imal edilmiş test cihazı ile yapılmıştır. Cihaz üzerindeki vurucu 6,35 kg kütleyle sahiptir. Ağırlık düşürme test cihazı Şekil 1'de görülmektedir. Deneyde kullanılan vurucu 24 mm çapında, yarı küresel uçlu bir geometriye sahiptir. Her bir deney numunesi dört tarafı ankastre olacak şekilde bağlanarak 10 J, 20 J, 30 J, 40 J ve 50 J darbe enerjisi seviyelerinde düşük hızlı darbe testlerine maruz bırakıldı.



Şekil 1. Ağırlık düşürme test cihazı

Figure 1. Drop weight test rig

Deney prosedürü (Experimental procedure)

Deneyde kullanılacak Al ve çelik levhalar 1m x 2m boyutlarında, 1mm kalınlığında temin edilip 15cmx15cm boyutlarında levhalar kestirilmiştir. Yapılacak deneyde çelik-Al-çelik ve Al-çelik-Al kompozit levhalar 2 farklı şekilde aralarda Al ve çelik olacak şekilde ve 3 tabakanın aynı olduğu 2 kompozit levha olmak üzere 4 farklı deney grubu oluşturulmuştur. Oluşturulan kompozit levhaların kalınlığı 3 mm'dir. Oluşturulan deney numunesi dört tarafı ankastre olacak şekilde bağlanarak 10 J, 20 J, 30 J, 40 J, 50 J darbe enerjisi seviyelerinde düşük hızlı darbe testlerine maruz bırakılmıştır.

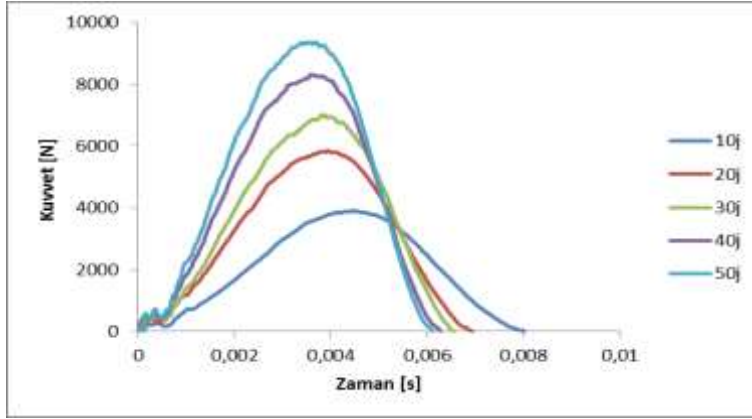
BULGULAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Kuvvet-Zaman grafikleri (Force-Time graphs)

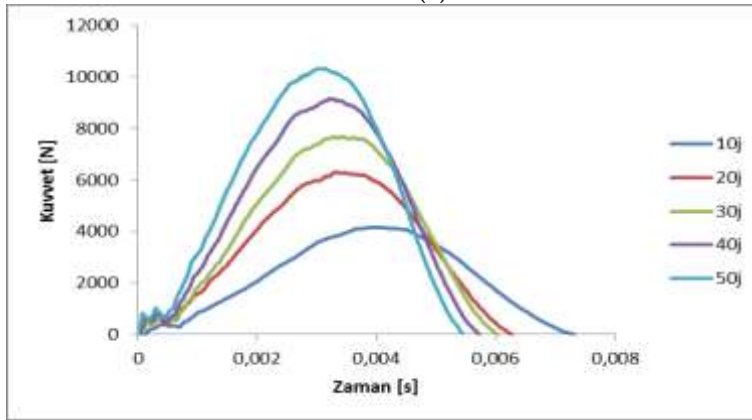
Düşük hızlı darbeye maruz bir numunede çarpma hızının temas kuvvetine olan etkisini belirleyebilmek için deneylerden elde edilen veriler değişik konfigürasyonlardaki numuneler için derlenmiş ve bu değişimler Şekil 2'de gösterilmiştir.

Elde edilen kuvvet-zaman değişimlerinin çingırak eğrisi şeklinde olduğu görülmektedir. Bütün şekillerde kuvvet hızla artarak bir azami kuvvet değerine ulaşmaktadır ve daha sonra sifıra düşmektedir. Her bir grafikte darbenin başlangıcında bir salınım meydana geldiği görülmektedir. Bu durum kompoziti oluşturan metal levhaların birbiri üzerine serbest olarak konmasından tabakalar arasında herhangi bir bağlayıcı olmamasından kaynaklanmaktadır. Grafiklerde darbe enerjisinin artmasıyla birlikte temas süresinin azaldığı, numune üzerinde oluşan en büyük temas kuvvetinin arttığı

görülmektedir. ÇAÇ kompozit levhada gerçekleşen darbenin süresi AÇA kompozit levhada gerçekleşen darbenden daha kısa olmuştur. Bunun sebebi ÇAÇ levhada darbenin çelik tabakanın yüzeyinde gerçekleşmesidir. Çelik alüminyuma göre daha rijit olduğu için ÇAÇ kompozit AÇA kompozite göre daha rijit olmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 2. a) AÇA ve b) ÇAÇ Kompozit levhalar için kuvvet-zaman grafikleri

Figure 2. Force-Time graphs for a) ASA and b) SAS composite layers

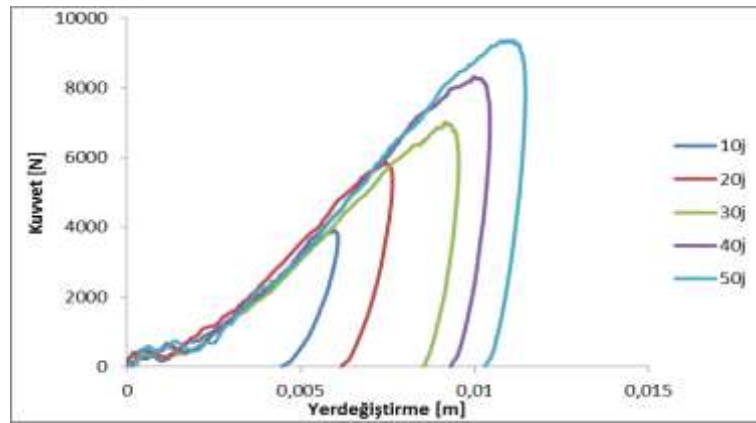
Kuvvet-Yer Değiştirme grafikleri (Force-Displacement graphs)

Darbeye maruz kalan kompozit metal levhaların darbe davranışını belirlemede kullanılan grafiklerden bir diğeri kuvvet-yer değiştirme (kuvvet-çökme) değişim grafikleridir. Farklı enerji seviyelerinde düşük hızlı darbeye maruz kalmış kompozit metal levhalar için elde edilen kuvvete bağlı yer değiştirme değerleri Şekil 3'te verilmiştir. Darbe sırasında vurucunun numuneye temasıyla numunede yer değiştirme (çökme) başlamış ve kuvvet en büyük değerine ulaşmaya kadar devam etmiştir. Darbe enerjisi arttıkça kuvvet ve yer değiştirme miktarı artmaktadır. Kuvvet en büyük değerine ulaştığında yer değiştirme miktarı da en büyük değerine ulaşmaktadır.

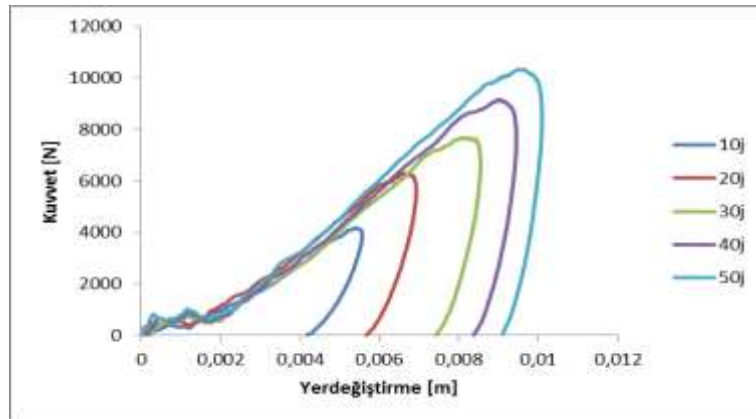
Kuvvet-yer değiştirme eğrisinde artma kısmındaki eğim darbe yüküne karşı numunenin göstermiş olduğu dirençten dolayı eğilme rijitliği olarak adlandırılır. Eğilme rijitliğindeki salınımlar ve değişimler numunede oluşan hasarlanmayı göstermektedir. Darbe enerjisinin artmasıyla numunelerin eğilme rijitliğinde büyük bir değişim gözlenmemiştir. Bunun en büyük nedeni numunelerin metal malzeme olması ve rijitliğinin yüksek olmasıdır. Farklı metal levhalardan oluşan kompozit malzeme dıştan

uygulanan yüklere karşı daha az şekil değiştirmekte ve buna bağlı olarak eğilme rijitliğinde büyük bir değişim görülmemektedir. Eğilme rijitliğinde büyük bir değişimin olmaması deney numunesinde büyük hasarların saplanma ve delinme hasarlarının olmadığına işaret etmektedir. Farklı enerji seviyelerinde düşük hızlı darbeye maruz kalan kompozit levhaların eğilme rijitliğinde ciddi değişimler olmaktadır. Şöyle ki kuvvet-yer değiştirme eğrisinin artma kısmında kuvvet belirli bir değere ulaştıncaya numune oluşan hasarlanmadan dolayı eğilme rijitliğinde keskin bir düşme meydana gelmiştir (Kara 2006).

Aynı enerji seviyesi için ÇAÇ levhada meydana gelen çökme miktarının AÇA levhada meydana gelen çökmeden daha az olduğu görülmektedir. Bunun en büyük nedeni iki çelik tabaka kullanılan numunenin daha rijit davranmasıdır.



(a)



(b)

Şekil 3. a) AÇA ve b) ÇAÇ Kompozit levhalar için kuvvet-yer değiştirme değişimleri

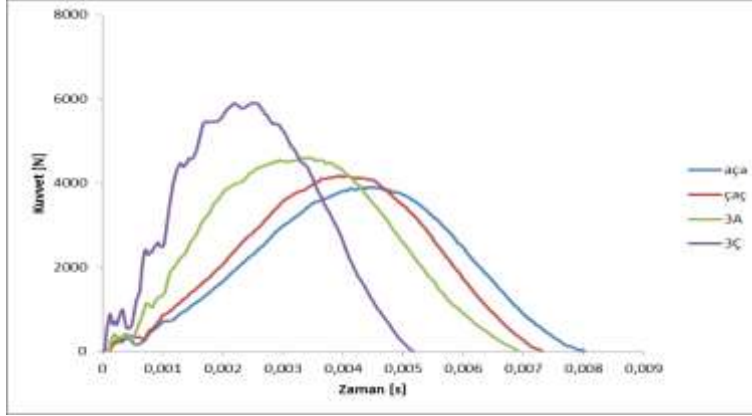
Figure 3. Force-Displacement graphs for a) ASA and b) SAS composite layers

Metal Kompozit Levhalarda Konfigürasyonun En Büyük Temas Kuvvetine Etkisi (The Effect of Configuration on Maximum Contact Force in Metal Composite Panel)

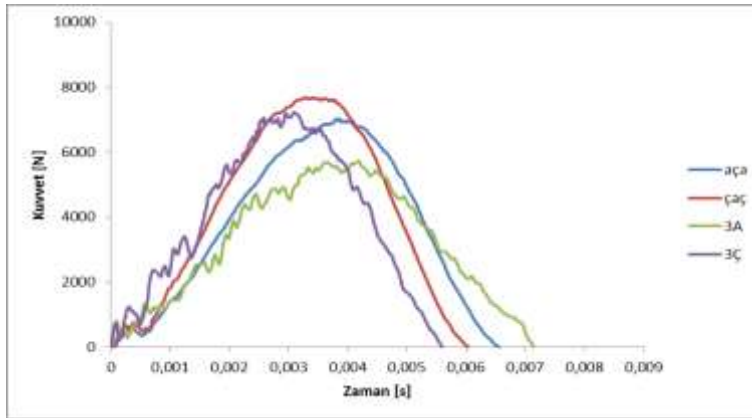
Şekil 4'te Farklı konfigürasyonlara sahip metal kompozit levhalarda a) 10J, b) 30J ve c) 50J Enerji seviyeleri için Kuvvet-Zaman Değişimi görülmektedir.

10J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet zaman değişim grafiği incelendiğinde üç katmanlı çelik yapıda en büyük temas kuvvetinin ve en düşük temas süresinin gerçekleştiği görülmektedir. Üçlü çelik yapısını üçlü alüminyum yapı takip etmektedir. ÇAÇ kompozit levhada ise darbe AÇA levhaya göre daha kısa sürede tamamlanmıştır. 30J ve 50J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet zaman değişim grafiği incelendiğinde 10J'den farklı olarak en büyük temas kuvvetinin ÇAÇ kompozit numunede olduğu, en düşük temas süresinin ise 10J'de olduğu gibi üçlü çelik yapıda gerçekleştiği görülmektedir.

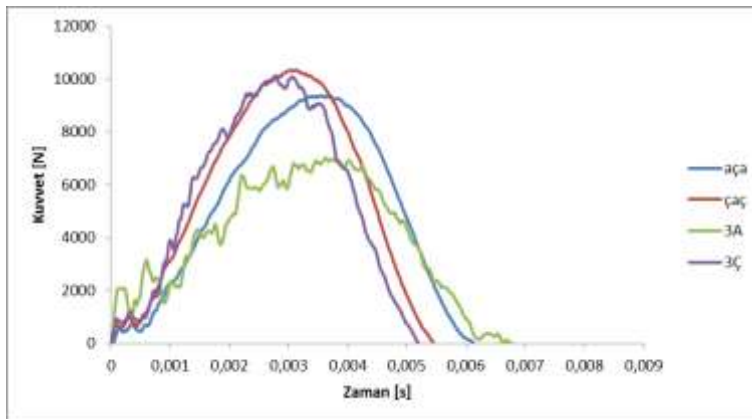
30J ve 50J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet zaman değişim grafiğinde üçlü çelik ve üçlü alüminyum levhalarda diğerlerine göre daha fazla salınım olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin darbe esnasında birlikte hareket eden tabakaların aynı özellikli olmasından ve bağlayıcı bulunmamasından dolayı meydana gelen kaymaların daha fazla olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.



(a)



(b)



(c)

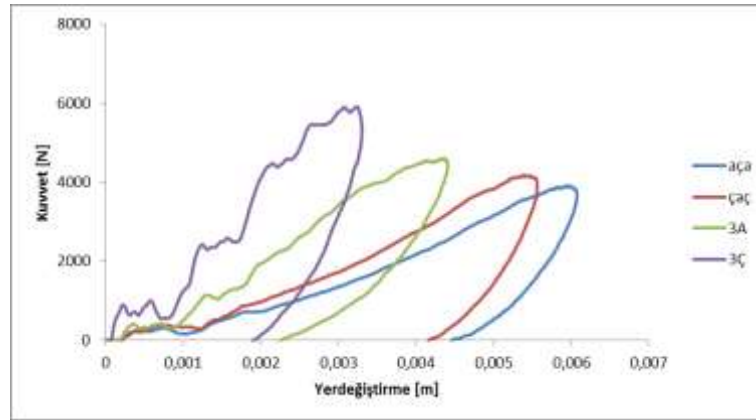
Şekil 4. Farklı konfigürasyonlara sahip metal kompozit levhalarda a) 10J, b) 30J ve c) 50J enerji seviyeleri için kuvvet-zaman değişimleri

Figure 4. Force-Time histories for metallic composite layers with different configurations at a) 10J, b) and c) 50J energy levels

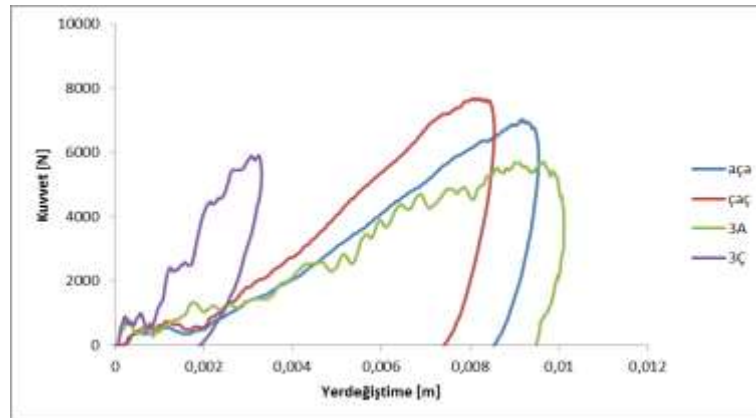
Metal Kompozit Levhalarda Konfigürasyonun Kuvvet-Yer değiştirme Değişimine Etkisi (The Effect of Configuration on The Force versus Displacement in Metal Composite Panel)

Şekil 5'te farklı konfigürasyonlara sahip metal kompozit levhalarda a) 10J, b) 30J ve c) 50J Enerji seviyeleri için Kuvvet-yer değiştirme değişimi görülmektedir. 10J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet yer değiştirme değişim grafiği incelendiğinde üç katmanlı çelik yapıda en büyük eğilme rijitliğinin gerçekleştiği görülmektedir. Üçlü çelik yapıyı üçlü alüminyum yapı takip etmektedir. En düşük eğilme rijitliği AÇA kompozit levhada görülmüştür.

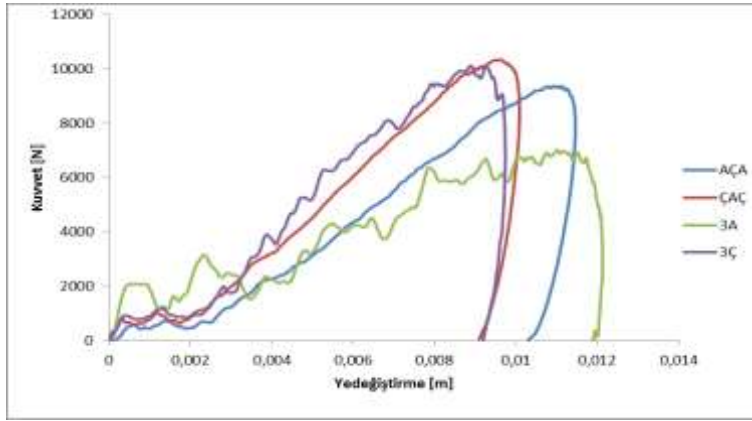
30J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet yer değiştirme değişim grafiği incelendiğinde 10J'de olduğu gibi üç katmanlı çelik yapıda en büyük eğilme rijitliğinin gerçekleştiği görülmektedir ancak en düşük eğilme rijitliği üçlü alüminyum kompozit levhada görülmüştür. 50J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet yer değiştirme değişim grafiği incelendiğinde üç katmanlı çelik yapıda ve ÇAÇ kompozit yapıda meydana gelen eğilme rijitliğinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En düşük eğilme rijitliği 30J enerji seviyesinde olduğu gibi üçlü alüminyum kompozit levhada görülmüştür.



(a)



(b)



(c)

























Şekil 5. Farklı konfigürasyonlara sahip metal kompozit levhalarda a) 10J, b) 30J ve c) 50J Enerji seviyeleri için kuvvet-yer değiştirme değişimleri

Figure 5. Force-Displacement histories for metallic composite layers with different configurations at a) 10J, b) and c) 30J) 50J energy levels

Hasar Analizi (Failure Analysis)

Şekil 6'da farklı enerji seviyeleri için AÇA kompozit levhada oluşan hasarlar görülmektedir. Şekilde kompozit levhanın ön ve arka yüzeylerinde meydana gelen hasar görünümlerine ilaveten her bir tabakanın ön ve arka yüzeylerinde görülen hasarlar verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi her tabakada çökmeler meydana gelmiş ancak saplanma veya delinme görülmemiştir. Darbe enerjisi arttıkça tabakalardaki çökme miktarı da artmaktadır. Bu numune için en büyük çökme üst alüminyum levhada gerçekleşmiştir.

Şekil 7'de farklı enerji seviyeleri için ÇAÇ, Şekil 8'de farklı enerji seviyeleri için AAA ve Şekil 9'da farklı enerji seviyeleri için ÇÇÇ kompozit levhada oluşan hasarlar görülmektedir. Tüm konfigürasyonların içinde aynı enerji seviyeleri için en büyük çökme miktarının üçlü alüminyum yapıda en küçük çökme miktarının üçlü çelik yapıda gerçekleştiği tespit edilmiştir. En büyük çökmelerin olduğu üçlü alüminyum yapıda herhangi bir saplanma veya delinme gözlenmemiştir.

AÇA LEVHA	GENEL GÖRÜNÜM		ÜST PLAKA		ORTA PLAKA		ARKA PLAKA	
	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA
10 J								
30 J								
50 J								

























Şekil 6. Farklı enerji seviyeleri için AÇA kompozit levhada oluşan hasarlar

Figure 6. Damage zones of ASA composite layers for different energy levels

ÇAÇ LEVHA	GENEL GÖRÜNÜM		ÜST PLAKA		ORTA PLAKA		ARKA PLAKA	
	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA
10 J								
30 J								
50 J								

























Şekil 7. Farklı enerji seviyeleri için ÇAÇ kompozit levhada oluşan hasarlar

Figure 7. Damage zones of SAS composite layers for different energy levels

3A LEVHA	GENEL GÖRÜNÜM		ÜST PLAKA		ORTA PLAKA		ARKA PLAKA	
	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA
10 J								
30 J								
50 J								

Şekil 8. Farklı enerji seviyeleri için AAA kompozit levhada oluşan hasarlar

Figure 8. Damage zones of AAA composite layers for different energy levels

3Ç LEVHA	GENEL GÖRÜNÜM		ÜST PLAKA		ORTA PLAKA		ARKA PLAKA	
	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA	ÖN	ARKA
10 J								
30 J								
50 J								

Şekil 9. Farklı enerji seviyeleri için ÇÇÇ kompozit levhada oluşan hasarlar

Figure 9. Damage zones of SSS composite layers for different energy levels

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada düşük hızlarda darbeye maruz kalan St37 DKP çelik ve 1050-H14 alüminyum alaşımı kompozit plakalarda oluşan hasar; düşen ağırlık test cihazı ile farklı enerji seviyelerinde gerçekleştirilen darbe deneyleriyle belirlenmiş, darbe karakteristiğini belirlemede kullanılan grafikler elde edilmiş ve hasar analizi yapılmıştır. Deneyler 4 farklı tabakalı yapı oluşturularak gerçekleştirilmiştir.

- Kuvvet-zaman değişim eğrilerinde darbe enerjisinin artmasıyla birlikte temas süresi azalmakta, numune üzerinde oluşan en büyük temas kuvveti artmaktadır. ÇAÇ kompozit levhada gerçekleşen darbenin süresi AÇA kompozit levhada gerçekleşen darbeden daha kısa olmuştur.

- Aynı enerji seviyesi için rijitliğin daha yüksek olmasından dolayı ÇAÇ levhada meydana gelen çökme miktarının AÇA levhada meydana gelen çökmeden daha az olduğu tespit edilmiştir.

- 10J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet zaman değişim eğrilerinde üç katmanlı çelik yapıda en büyük temas kuvveti ve en düşük temas süresi gerçekleşmiştir. 30J ve 50J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet zaman değişim eğrilerinde ise 10J'den farklı olarak en büyük temas kuvvetinin ÇAÇ kompozit numunede en düşük temas süresi ise 10J'de olduğu gibi üçlü çelik yapıda gerçekleşmiştir.

- 10J enerji seviyesi için elde edilen kuvvet yer değiştirme değişim eğrilerinde üç katmanlı çelik yapıda en büyük eğilme rijitliğinin gerçekleştiği görülmektedir. Üçlü çelik yapısını üçlü alüminyum yapı takip etmektedir. En düşük eğilme rijitliği AÇA kompozit levhada görülmüştür. 30J enerji seviyesi için üç katmanlı çelik yapıda en büyük eğilme rijitliğinin gerçekleştiği görülmektedir ancak en düşük eğilme rijitliği üçlü alüminyum kompozit levhada görülmüştür. 50J enerji seviyesi için üç katmanlı çelik yapıda ve ÇAÇ kompozit yapıda meydana gelen eğilme rijitliğinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En düşük eğilme rijitliği 30J enerji seviyesinde olduğu gibi üçlü alüminyum kompozit levhada görülmüştür.

- Numunelerde meydana gelen hasarlar incelendiğinde her tabakada çökmeler meydana gelmiş ancak saplanma veya delinme oluşmamıştır. Darbe enerjisi arttıkça tabakalardaki çökme miktarı da artmaktadır. Bu çalışma için en büyük çökme üçlü alüminyum levhada gerçekleşmiştir.

KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 10201142 numaralı Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abatan, A., Hu, H., Olowokere, D., 1998, "Impact Resistance Modeling of Hybrid Laminated Composites", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Vol. 11, pp. 249-260.
- Abrate, S., 1998, *Impact on Composite Structures*, Cambridge, Cambridge University Press. 135-160.
- Crupi, V., Epasto, G., Guglielmino, E., 2010, "Low-Velocity Impact Strength of Sandwich Materials", *Journal of Sandwich Structures and Materials*, Vol. 13, pp. 409-426.
- Fan, J.Z., Guan, W., Cantwell, W. J., 2011, "Numerical Modeling of Perforation Failure in Fiber Metal Laminates Subjected To low Velocity Impact Loading", *Composite Structures*, Vol. 93, pp. 2430-2436.
- Gong, S.W., Lam, K.Y., 1999, *Transient Response of Stiffened Composite Plates Subjected to Low Velocity Impact*, *Composites, Part B*, Vol. 30, pp. 473-484.
- Grytten, F., Børvik, T., Hopperstad, O.S., Langseth, M., 2009, "Low Velocity Perforation of AA5083-H116 Aluminium Plates", *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 36, pp. 597-610.
- Kara, M., 2006, *Düşük hızlı darbeye maruz tabakalı kompozitlerin dinamik cevabı*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 93s.
- Kim, J.K., Kang, K.W., 2001, "An Analysis of Impact Force in Plain-weave Glass-epoxy Composite Plates Subjected to Transverse Impact", *Composite Science and Technology*, Vol. 61, pp. 135-143.

- Lee, Y.S., Kang, K.H., Park, O., 1997, "Response of Hybrid Laminated Composite Plates under Low Velocity Impact", *Computers & Structures*, Vol. 65, pp. 965-974.
- Lifshitz, J.M., 1976, "Impact Strength of Angle Ply Fiber Reinforced Materials", *Journal of Composite Materials*, Vol. 10, pp. 92-101.
- Ramkumar, R.L., Chen, P.C., 1982, "Low Velocity Impact Response of Laminated Plates", *AIAA Journal*, Vol. 21, pp. 1448-1452.
- Rodríguez-Martínez, J. A., Rusinek, A., Arias, A. 2011, "Thermo-Viscoplastic Behaviour of 2024-T3 Aluminium Sheets Subjected to Low Velocity Perforation at Different Temperatures", *Thin-Walled Structures*, Vol. 49, pp. 819-832.
- Rotem, A., Lifshitz, J.M., 1971, "Longitudinal Strength of Unidirectional Fibrous Composite under High Rate Of Loading" *Proc. 26th Annual Tech. Conf. Soc. Plastics Industry Reinforced Plastics, Composites Division, Washington, DC, Section 10-G: pp. 1-10.*
- Sierakowski, R.L., Nevil, G.E., Ross, A., Jones, E.R., 1971, "Dynamic Compressive Strength and Failure of Steel Reinforced Epoxy Composites", *Journal of Composite Materials*, Vol. 5, pp. 362-377
- Sierakowski, R.L., Chaturvedi, S.K., 1997, *Dynamic Loading and Characterization of Fiber-Reinforced Composites*, Publisher: Wiley-Interscience, New York, NY, United States.
- Sun, C. T., C. J. Jih., 1995, "Quasi-static Modeling of Delamination Crack Propagation in Laminates Subjected to Low-velocity Impact", *Composites science and technology*, Vol. 54.2, pp.185-191.
- Zucchelli, A., Minak, G., Ghelli, D., 2010, "Low-velocity Impact Behavior of Vitreous-Enameled Steel Plates", *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 37, pp. 673-684.