

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİÜRE KAPLI METAL LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ VE ZIRH MALZEMESİ OLARAK KULLANIMININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

MELİKE YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ BURCU DİDEM ÇORBACIOĞLU**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLİÜRE KAPLI METAL LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ VE ZIRH MALZEMESİ OLARAK KULLANIMININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Melike YILDIRIM tarafından hazırlanan tez çalışması 29/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Burcu Didem ÇORBACIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Burcu Didem ÇORBACIOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İlknur KÜÇÜK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Korkut AÇIKALIN
Yalova Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nün FYL-2018-3409 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Ülkeye, teknolojiye, bilime ve dünyaya yarar sağlayacak projelerde görev alarak alanında tam donanımlı bir mühendis olmak, birikimlerini ülkenin yararına kullanabilmek ve katma değerli malzemeler üreterek ülkenin ekonomisine katkı sağlamak isteyen yeni mezun bir mühendis olarak, bu çalışmanın savunma sanayii, ileri teknoloji gerektiren platformlar, ağır sanayii ve otomotiv sektörü gibi pek çok sektöre ışık tutacağını ümit ediyorum.

Bu tez çalışmasında tüm bilgi birikimini benimle paylaşarak bana yol gösteren, sabırla her sorumu cevaplayan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Burcu Didem ÇORBACIOĞLU'na teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca tüm eğitim hayatımda ve özellikle tez yazım sürecinde karşılaştığım zorlukları göğüslememi sağlayan ve her zaman yanımda olan ailem başta olmak üzere; metal levhaların temininde yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Mustafa Arslan ve Yakup Büyükbesnili'ye, verilerin düzenlenmesinde yardımına koşan değerli arkadaşım Elif Kurt'a, makale çevirilerinde yardımcı olan kardeşim Muhammet Tarık Yıldırım'a, Poliüre kaplama uygulamasının tüm masraflarını karşılayan Duayen Polyurea Yapı Kimyasalları A.Ş.'ye ve İsmail Yıldız Bey'e, Prokap Makine Bakım Onarım Otomasyon Metal Ve Kaplama Mühendislik San.Tic.LTD.ŞTİ'e ve Yaşar Çelik Bey'e, Yıldız Teknik Üniversitesi BAP biriminden Seren Güven'e, Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü teknisyeni Şaban Ceylan'a, laboratuvar komşum, değerli arkadaşım Aslıhan Çalhan'a, bu zorlu süreçte güzel yürekleri ve destekleri ile bana yoldaş olan değerli piyanist arkadaşlarım Ayşegül Bektaş ve Ayşe Esra Bayrak'a yürekten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2019

Melike YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Hipotez	6
BÖLÜM 2	
ZIRHLARA GENEL BAKIŞ	7
2.1 Zırh Tanımı	7
2.1.1 Giyilebilir Zırhlar	8
2.1.2 Araç Zırhları	9
2.2 Zırhların Sınıflandırılması	11
BÖLÜM 3	
ZIRH TİPLERİ VE ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER	12
3.1 Sert Zırhlar	13
3.1.1 Metaller	14
3.1.1.1 Çelik Alaşımları	14
3.1.1.2 Alüminyum Alaşımları	16
3.1.1.3 Titanyum Alaşımları	18

3.1.2 Seramikler	20
3.1.2.1 Alüminyum Oksit.....	24
3.1.2.2 Bor Karbür	24
3.1.2.3 Silisyum Karbür	25
3.2 Yumuşak Zırhlar	26
3.2.1 Polimer Esaslı Malzemeler.....	26
3.2.1.1 Aramid.....	26
3.2.1.2 Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen	27
BÖLÜM 4	
POLİÜRE KAPLAMA	29
4.1 Poliürenin Tanımı	30
4.2 Poliürenin Özellikleri	31
4.2.1 Poliürenin Kimyasal Özellikleri	31
4.2.2 Poliürenin Fiziksel Özellikleri	33
4.3 Poliüre Kaplamanın Kullanım alanları	34
BÖLÜM 5	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	36
5.1 Malzeme Özellikleri.....	36
5.2 Astar Uygulaması	37
5.3 Kaplama Uygulaması.....	38
5.4 Mekanik Testler	40
5.4.1 Çekme Deneyi.....	40
5.4.2 Ağırlık Düşürme Darbe Testi.....	41
BÖLÜM 6	
DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	46
6.1 Çekme Deneyi Sonuçları	46
6.1.1 Al-5083 Çekme Deneyi Sonuçları	47
6.1.2 P-316 Çekme Deneyi Sonuçları.....	47
6.1.3 DKP Çekme Deneyi Sonuçları	48
6.2 Ağırlık Düşürme Testi Sonuçları	50
6.2.1 Kaplama Kalınlıklarının Dayanıma Etkisi.....	51
6.2.1.1 Al-5083 Deney Sonuçları	51
6.2.1.2 DKP Deney Sonuçları	54
6.2.1.3 P-316 Deney Sonuçları	56
6.2.2 Levha Türünün Dayanıma Etkisi	58
BÖLÜM 7	
SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR.....	69

ÖZGEÇMİŞ.....	74
---------------	----

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
Cu	Bakır
B	Bor
T _g	Camsı Geçiş Sıcaklığı
dk	Dakika
Fe	Demir
P	Fosfor
g	gram
GPa	Gigapascal
J	Joule
C	Karbon
Kg	kilogram
Cr	Krom
S	Kükürt
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
MPa	Megapascal
m	metre
µm	Mikron
mm	milimetre
Mo	Molibden
N	Newton
Ni	Nikel
°C	Santigrat Derece
s	saniye
cm	Santimetre
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
WC	Tungsten
%	Yüzde
yy	Yüzyıl

KISALTMA LİSTESİ

DKP	Karbon Çelik
DMA	Dynamic mechanical analysis
DSC	Differential Scanning Calorimetry
FTIR	Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre
FMJ	Full Metal Jacket
HHA	High Hardness Armour
HB	Brinell Sertliği
HV	Vickers Sertliği
MDI	Metilen difenil diizosiyanat
M.Ö	Milattan Önce
MIL-SPEC	Military Spesification
NATO	North Atlantic Treaty Organization
PPG	polipropilen glikol
RHA	Rolled Homogenous Armour
TGA	Thermogravimetric Analysis
UHA	Ultra High Hardness Armour
UHMWPE	Ultra High Molecular Weight Polyethylene

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Yelek tipi ve süslemeli zırhlar 8
Şekil 2.2	Çelik ile zırhlandırılmış Fırtına Obüsü..... 10
Şekil 3.1	Üretiminde kullanılan malzemeye göre zırhların sınıflandırılması 13
Şekil 3.2	Alüminyum, Çelik ve Titanyumun karşılaştırılmalı balistik dayanımları 20
Şekil 3.3	Seramiklerin sınıflandırılması..... 22
Şekil 3.4	İkili seramik ve destek plakalı zırh tasarımı..... 23
Şekil 4.1	Poliürenin sentez reaksiyonu 30
Şekil 4.2	Poliürenin kimyasal yapısı 32
Şekil 4.3	Poliürenin yapısı..... 33
Şekil 5.1	Kaplama öncesi metal levhalar 37
Şekil 5.2	Astar uygulaması sonrası levhalar 38
Şekil 5.3	Poliüre uygulama sistemi a) basınçlı ısıtma tertibatı; b) poliüre bileşenleri 38
Şekil 5.4	Poliüre kaplama uygulaması 39
Şekil 5.5	Kaplama uygulaması sonrası levhalar 39
Şekil 5.6	Çekme deneyi cihazı ve deney için hazırlanan numuneler 41
Şekil 5.7	Ağırlık düşürme test cihazı 42
Şekil 5.8	Darbe test cihazının içten görünüşü 43
Şekil 5.9	Temsili Kuvvet-Enerji-Zaman grafiği 43
Şekil 5.10	Temsili Kuvvet-Zaman eğrisi ve darbe yanıtları 44
Şekil 5.11	Temsili Absorbe edilen Enerji-Zaman grafiği 45
Şekil 6.1	Çekme dayanımı-Kalınlık ilişkisi-1 49
Şekil 6.2	Çekme dayanımı-Kalınlık ilişkisi-2 50
Şekil 6.3	Geri sekme karakterli Enerji-Zaman grafiği 51
Şekil 6.4	Al-5083 kaplama kalınlıkları ile değişen Enerji-Zaman grafiği 52
Şekil 6.5	Al-5083 levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Kuvvet-Zaman grafiği... 53
Şekil 6.6	DKP sac levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Enerji-Zaman grafiği 54
Şekil 6.7	DKP levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Kuvvet-Zaman grafiği..... 55
Şekil 6.8	P-316 levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Enerji-Zaman grafiği..... 56
Şekil 6.9	P-316 levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Kuvvet-Zaman grafiği..... 57
Şekil 6.10	Kaplamasız levhaların Enerji-Zaman grafikleri..... 58
Şekil 6.11	2mm kaplamalı levhaların Enerji-Zaman grafikleri 59
Şekil 6.12	3mm kaplamalı levhaların Enerji-Zaman grafikleri 60
Şekil 6.13	4mm kaplamalı levhaların Enerji-Zaman grafikleri 61

Şekil 6.14	Ham levhaların Kuvvet-Zaman grafikleri.....	63
Şekil 6.15	2mm kaplamalı levhaların Kuvvet-Zaman grafikleri	63
Şekil 6.16	3mm kaplamalı levhaların Kuvvet-Zaman grafikleri	64
Şekil 6.17	4mm kaplamalı levhalarda Kuvvet-Zaman grafikleri	65

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Farklı yıllarda ve medeniyetlerde zırhların geliştirilmesi 7
Çizelge 3.1	Sık kullanılan zırh çeliklerinin kimyasal bileşimi 15
Çizelge 3.2	Zırh çeliklerinin mekanik özellikleri 16
Çizelge 3.3	Farklı serideki alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimi 17
Çizelge 3.4	Çizelge 3.4 5083 tipi Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri 18
Çizelge 3.5	Ti-6Al-4V alaşımlı Titanyum plakaların kimyasal bileşimleri 18
Çizelge 3.6	Çelik, Alüminyum ve RHA'nın mekanik özelliklerinin kıyaslanması 19
Çizelge 3.7	Sık kullanılan seramik zırhlar ve üretim şekilleri 23
Çizelge 3.8	Alüminyum Oksidin saflık yüzdelere göre genel özellikleri 24
Çizelge 3.9	Bor karbürün genel özellikleri 25
Çizelge 3.10	Silisyum Karbürün genel özellikleri 25
Çizelge 3.11	Bazı Aramid lifleri ve mekanik özellikleri 27
Çizelge 3.12	Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen liflerinin mekanik özellikleri 28
Çizelge 4.1	Poliürenin kimyasal özellikleri 32
Çizelge 4.2	Poliürenin fiziksel özellikleri 33
Çizelge 4.3	Poliüre uygulamasının avantajları ve dezavantajları 35
Çizelge 5.1	P-316 Kimyasal Bileşimi 36
Çizelge 5.2	Al-5083 Kimyasal Bileşimi 37
Çizelge 5.3	DKP Kimyasal Bileşimi 37
Çizelge 5.4	Uygulama sonrası toplam levha kalınlıkları 40
Çizelge 6.1	Al-5083 çekme deneyi sonuçları 47
Çizelge 6.2	P-316 çekme deneyi sonuçları 48
Çizelge 6.3	DKP çekme deneyi sonuçları 48
Çizelge 6.4	Kaplama kalınlıkları ile değişen Al-5083 plakalara ait önemli veriler 53
Çizelge 6.5	Kaplama kalınlıkları ile değişen DKP plakalara ait önemli veriler 55
Çizelge 6.6	Kaplama kalınlıkları ile değişen P-316 plakalara ait önemli veriler 57
Çizelge 6.7	Ham levha türlerine ait önemli veriler 59
Çizelge 6.8	2mm kaplamalı levhalara ait önemli veriler 60
Çizelge 6.9	3mm kaplamalı levhalara ait önemli veriler 61
Çizelge 6.10	4mm kaplamalı levhalara ait önemli veriler 62

**POLİÜRE KAPLI METAL LEVHALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ VE ZIRH MALZEMESİ OLARAK KULLANIMININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Melike YILDIRIM

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Burcu Didem ÇORBACIOĞLU

Eski çağlardan itibaren insanoğlu, zorlayıcı yaşam koşullarına ve yaşamını tehdit eden unsurlara karşı kendini korumaya çalışmıştır. Bu amaçla metal ve metal türevi malzemelerden başlayarak pek çok farklı türde ürün geliştirmiş ve kullanmıştır. Özellikle Dünya savaşlarıyla birlikte gelişen silah teknolojileri, balistik korunma amaçlı kullanılan malzemelerin önemini arttırmıştır. Günümüzde de başta metaller olmak üzere seramikler, polimer ve kompozit malzemeler, tehdit şiddetine bağlı olarak çeşitlendirilerek zırh malzemesi yapımında kullanılmaktadır.

Hafif metaller ve alaşımları, ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı endüstride yoğun biçimde kullanılmaktadır. Savunma sanayinde kullanılmak üzere geliştirilen zırh malzemelerinden beklenen özellikler ise yüksek mukavemet/yoğunluk oranı, kolay şekillendirilebilme, korozyona karşı ve kimyasal etkilere karşı direnç gibi özelliklerdir. Polimerler hafiflikleri, yüksek mukavemetleri, fiziksel ve kimyasal koşullara karşı dayanıklılık gibi kabiliyetlerinden ötürü pek çok sektörde sıklıkla kullanılmaktadır ve zırh malzemesi üretimi için ihtiyaç duyulan önemli özellikleri sağlamaktadır. Polimerlerin bu üstün özelliklerinin değerlendirilmesi ve yeni teknolojik ürünlerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalar arasında son zamanlarda metal-poliüre birleşimi dikkat çekmektedir.

Literatürde bildirilen birtakım deneysel araştırmalar, metal levhalara uygulanan Poliüre kaplamanın, levhaların darbe direncine ve balistik dayanımına önemli ölçüde katkı sağladığını ve zırh malzemesi üretiminde değeriendirilebileceğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada alüminyum, paslanmaz çelik ve DKP sac levha üzerlerine farklı kalınlıklarda poliüre kaplama yapılarak, metal-poliüre çok katmanlı zırh sisteminin mekanik özellikleri incelenmiş, mevcut koruma teknolojilerine alternatif olabilirliği değeriendirilmiştir.

Çalışmada hafifliği nedeniyle alüminyum, üstün sertliği nedeniyle paslanmaz çelik ve ekonomik avantajları nedeniyle endüstriyel kullanımlı sac levhalar (DKP) kullanılmıştır. Levhalar sabit kalınlıkta (4mm) ve boyutta (25x25cm) kesilmiş ve levha arka yüzeylerine 3 farklı kalınlıkta (2mm, 3mm, 4mm) Poliüre kaplama uygulanmıştır. Elde edilen malzemelere çekme deneyi ve ağırlık düşürme testi uygulanmış, metal levhaların darbe direncine kaplama ile kazandırılan özellikler tespit edilmeye çalışılmıştır. Polimer kaplamanın levhaların darbe direncine katkı sağlayan yapısı ve kinetik enerjiyi sönümleme kabiliyeti araştırılmıştır. Elde edilen bulgular ile, P-316 levha tipinin en yüksek çekme dayanımına sahip olduğu, Al-5083 levha tipinin ise en yüksek enerji absorpsiyon değeriine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zırh, metal levha, poliüre, poliüre kaplama, kompozit malzeme

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYUREA COATED METAL PLATES AND EVALUATION OF THEIR USE AS ARMOR MATERIAL

Melike YILDIRIM

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Burcu Didem CORBACIOGLU

Since the dawn of time, humanity tried to defend itself from harsh conditions and elements that threatened life. With this purpose humanity created and used many different products made out of metal and metal derivatives. Improved defence industries, especially after the World Wars, have greatly increased the importance of ballistic materials that are being used for protection. Nowadays materials such as ceramics, polymers, composites and especially metals are being used as armor materials according to the severity of the threat.

Light metals and their alloys, are in widespread usage in industry because of environmental and economic issues. Desired properties of materials developed for usage for defence industries, are high resistance/density ratio, easy formability, resistance against corrosion and chemical effects. Polymers are being used in many different sectors for their lightweightness, high resistance and their durability against physical and chemical conditions and provides the desired properties for production of materials for armor. Evaluation of these superior properties of polymers and development of new technological products such as metal-polyurea combination attracts attention recently.

Several studies recently reported to the literature have pointed out the feasibility of metal plates covered in polyurea as materials for armor production and their great improvement in impact resistance and ballistic resistance.

In this study, properties of different thickness levels of aluminum, stainless steel and DKP sheets covered with polyurea are evaluated and them being an alternative for current armor materials are considered.

Aluminum for its lightweightness, stainless steel for its unmatched durability and DKP sheets for their economic advantages were used. The plates are made in fixed thickness (4mm) and dimensions (25x25cm) and 3 different thickness levels (2mm,3mm,4mm) of polyurea were applied to their rear surfaces. Tension tests and impact tests are implemented on the obtained products and their improvements on the impact resistance were detected. The structure of the polymers that improve the impact resistance and the ability to absorb kinetic energy were researched.

Keywords: Armor, metal plates, polyurea, polyurea coating, composite materials.

1.1 Literatür Özeti

Bu bölümde, Poliürenin darbe dayanımına ilişkin literatürde yapılan çalışmalar sıralanmıştır;

Mohotti ve arkadaşları (2014) [1], farklı kalınlıklarda poliüre kaplı alüminyum plakaların darbe etkisi altındaki davranışı üzerine bir araştırma yürütmüşlerdir. Çalışmada 300 mmx300 kare Al-5083 alüminyum plakalar üzerine iki farklı kalınlıkta (6 mm ve 12 mm) poliüre kaplanmış ve kaplamalı levhalar 5-15 m/s'lik hız aralığında hareket eden, yaklaşık 5 kg ağırlığa sahip çelik bir merminin darbe etkisine maruz bırakılmışlardır. 5 kg'lık mermiyi ateşlemek için gaz tabancası mekanizması kullanılmıştır. Çalışmada kaplamanın darbe sönümleme kabiliyetini açıkça ortaya koymak amacıyla aynı kalınlıktaki kaplamasız plakalar da darbe etkisine maruz bırakılmış ve deneysel sonuçlar modellenmiştir. Çalışmada elde edilen veriler ile poliüre kaplı plakaların kaplanmamış plakalara kıyasla düzlem dışı deformasyonda belirgin bir azalma gösterdiği raporlanmıştır. Bu bulgular, poliüre'nin düşük hız darbe hasarına karşı verimli bir enerji soğurucu/sönümleyici malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışmada alüminyum levhanın, yüklenen enerjinin yaklaşık olarak %70'ini absorbladığı, poliüre kaplamanın ise en yüksek kaplama kalınlığında (12mm) yaklaşık olarak %20'lik bir enerji absorpsiyonu sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kaplama kalınlığının artmasıyla darbe sönümlemede başarının arttığı da çalışmada raporlanmıştır [1].

Ackland ve arkadaşları 2013 yılında yürüttükleri çalışmada [2], Poliüre kaplamalı ve kaplamasız levhaların patlama enerjisi etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir.

Çalışmada Polimer kaplama uygulaması, kare biçimindeki çelik levhaların darbe alan yüzünün arka tarafına yapılmıştır. 6 mm'lik kaplamasız çelik levhaya dayanarak 4,7 g/cm²'lik bir alan yoğunluğu seçilmiş ve 4 mm ve 5 mm'lik plakalara Poliüre kaplamalar uygulanmıştır. Kaplamalı ve kaplamasız levhalar patlama enerjisine maruz bırakılmış ve ANSYS AUTODYN kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, belirli bir alan yoğunluğu için kalın çelik bir plakanın, patlama deformasyonunun azaltılmasında Poliüre kaplı ince çelik bir plakadan daha etkili sonuç verdiğini göstermiştir. Çalışmada, çelik levhalara Poliüre kaplamanın eklenmesiyle plakalarda elde edilen deformasyon azalmasının, temel olarak plakanın rijitliğinde gerçekleşen minimum değişikliklerle, sisteme bir kütlenin eklenmesi sebebiyle gerçekleştiği ortaya konmuştur. Poliürenin mevcut bir yapıya uygulanmasının, özellikle karmaşık geometriler söz konusuysa, ilave bir levhanın eklenmesinden daha pratik olabileceği, ancak delaminasyon potansiyelinin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır [2].

Grujicic ve arkadaşları mevcut çalışmada (2010) [3], Poliürenin camsı geçiş sıcaklığı ile deformasyonu arası enerji-dağılımı/absorplama mekanizması ilişkisini incelenmişlerdir. Bu amaçla mermi ile kaplamalı plaka etkileşimlerinin bir dizi sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, enerji emiliminin miktarını değerlendirmek ve uygulanan çarpma koşullarının bir fonksiyonu olarak test plakasını tanımlamak için kullanılmıştır. Sonuçlar Poliürenin çarpma koşulları altındaki mekanik tepkisinin, test sıcaklığının (daha doğrusu test sıcaklığı ile camsı geçiş sıcaklığı arasındaki farkın) oldukça hassas bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, özellikle bu fark büyük olduğunda Poliürenin tipik bir elastomerin süneklik halindeki yüksek süneklik davranışını sergileme eğiliminde olduğunu, ancak test sıcaklığı camsı geçiş sıcaklığına yakın olduğunda, Poliürenin deformasyon sırasında camsı durumuna dönüşme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Poliürenin bu davranışının viskoz tipte enerji dağılımı ile ilişkili olduğu çalışmada gözlemlenmiş, ayrıca ilave enerji emici mekanizmaların, poliürenin üstün balistik ve patlama enerjisi koruma kapasitesine katkıda bulunabileceği belirtilmiştir [3].

Amini ve arkadaşları 2010'da [4] yaptıkları deneysel çalışmada, çelik ve poliüre kaplamalı çelik levhaların deformasyon biçimlerini levhalara doğrudan basınç uygulayarak incelemişlerdir. Deney düzeneği namı ucunda hız sensörleri bulunan bir gaz tabancası

sisteminden oluşmaktadır. 832 g nominal kütleye sahip bir 7075 alüminyum mermi kontrollü bir hızla gaz tabancası tarafından ateşlenmiş, plakaların geçici tepkileri, levha yüzeylerindeki deformasyonlar ve kırılmalar yüksek hızlı fotoğrafçılıkla kaydedilmiştir. Merminin hızı tabanca namlusunun ucuna yerleştirilmiş hız sensörleri kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmada poliüre kaplamanın ön yüze (darbe alan taraf) uygulandığında ilk darbe etkisi ile levhadaki deformasyonu arttırdığı, levhanın arka kısmına kaplama yapıldığında ise daha başarılı sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Basınç altında Poliüre tabakasının sertliğinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma, tüm deney sonuçlarının sistematik hesaplamalı simülasyonları ile de desteklenmiştir [4].

2013 yılında yapılan bir çalışmada Mohotti ve ark. [5], poliüre kaplı alüminyum plakaları yüksek hızlı mermi penetrasyonu altında incelemiştir. Çalışmada farklı Poliüre kalınlığının, mermilerin hızı üzerindeki etkisi incelenmiş ve sunulmuştur. 945 m/s'lik sabit hızda 10 m mesafeden, kaplanmış alüminyum plakalara çelik uçlu 5.56 kalibre (5.56/45 mm) mermi ateşlenmiş, farklı toplam kalınlıklara sahip yedi plaka konfigürasyonu kullanılmıştır. Levhalar 6 mm ve 12 mm Poliüre katmanları ile 5 mm ve 8 mm taban plakalarının kombinasyonundan (Al-5083) oluşmaktadır. Giriş ve çıkış hızları iki lazerli hız sensörleri kullanılarak ölçülmüş, hızın azalması, hasar mekanizması, plakaların kinetik enerji absorpsiyonu ve farklı tabakalı konfigürasyonların mermi hızı üzerindeki etkisi açısından Poliüre kaplamanın etkinliği sunulmuş ve tartışılmıştır. Çalışmada Alüminyum plaka ile enerjisinin bir kısmını kaybeden merminin sahip olduğu kalan enerjinin, Poliüre katmanı tarafından absorblandığı gözlemlenmiştir. 6 mm kaplama tarafından emilen toplam enerji, 12 mm kaplama tarafından emilen enerjinin yaklaşık %50'sidir. Bu da kaplama kalınlığının artması ile absorblanan enerjinin arttığını göstermektedir. Bu bulgularla birlikte, Poliüre kaplamanın kompozit sistemin enerji emilimine katkısı açıkça anlaşılmaktadır [5].

2015 yılında Mohotti ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmada [6], NATO standartları göz önüne alınarak belirlenen yüksek hızlı mermilerin, poliüre kaplı alüminyum plakalar üzerine etkisi incelenmiş ve sayısal olarak modellenmiştir. Alüminyum-poliüre plaka kombinasyonlarının darbe sonrası kalan hızlarını tahmin etmek için analitik bir model önerilmiş ve hem deneysel hem de sayısal araştırmalarla önerilen model doğrulanmıştır. Poliüre kaplı alüminyum plaka kombinasyonlarına, NATO standardı'na karşılık gelen, tam

metal ceket (FMJ) mermileri (5.56 mm/ 45 mm), 945 m/s'lik sabit bir hızla 10 m mesafeden ateşlenmiştir. 16 ila 34 mm arasında değişen kalınlıklarda dört farklı plaka konfigürasyonu kullanılmıştır. Her bir test için darbe sonrası kalan hızlar kaydedilmiş, penetrasyon işleminin sayısal simülasyonları, gelişmiş sonlu elemanlar kodu LS-DYNA kullanılarak oluşturulmuştur. Deney verileri kullanılarak önerilen model, her bir plakanın kalınlığından ziyade, plaka sistemlerinin alan yoğunluklarına dayanmaktadır. Bu sayede, modelin koruyucu plakalara uyumu ve kullanılabilirliği arttırılmıştır. Elde edilen model hem sayısal hem de deneysel veriler ile desteklenmiştir. Model sayesinde, Poliürenin merminin kalan hızını azaltma kabiliyeti açıkça ortaya konmuştur. Aynı zamanda poliürenin uçan parçacıkların hızını azaltmada ek bir kalkan görevi görebileceği belirtilmiştir [6].

2016 yılında Toader ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmada [7], esneklik dereceleri farklı çeşitli aromatik diamin türevleri kullanılarak, balistik koruma amaçlı uygulamalarda değerlendirilebilecek bir dizi farklı Poliüre polimeri geliştirilmeye çalışılmıştır. Çalışmada Poliüre sentezinde izosiyanat grubu olarak MDI (metilen difenil diizosiyanat) ve amin grubu olarak PPG (polipropilen glikol) yanında, benzidin, 4,40 diamino difenil metan ve 3,6-diamino karbazol ve Çinko ftalosiyenin (ZnPc) kullanılmıştır. İzosiyanat grubu ve amin grubu arası molar derişim sabit ve 1:1 oranda değişmemektedir. Ancak amin grubu içerisinde farklı molar derişim kombinasyonları kullanılmıştır (1:1,1:2 ve 1:3). Amin grubu içerisindeki değişimler ile polimerin mekanik özelliklerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen farklı Poliüre türleri Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), termal ölçümler (DSC ve TGA), çekme testleri ve taramalı elektron mikroskopu ile incelenmiştir. Sentezlenen tüm polimerler arasından ZnPc kullanılarak elde edilen polimerin, aynı anda yüksek stres ve yüksek gerilme değerleri gösterebildiği, dolayısıyla yüksek deformasyon enerjisine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Sentezlenen Poliürelerin benzersiz özelliklerinin, onları balistik koruma amaçlı çok iyi adaylar yaptığını çalışmada açıkça belirtilmiştir [7].

2019 yılında yapılan bir çalışmada [8] farklı ester tipleri kullanılarak sentezlenen ve farklı elastisite modülü değerlerine sahip poliüre polimerleri, 15mm x 100 mm boyutlarında ve 6mm kalınlıktaki seramik karolara kaplanmış, 3 noktalı eğilme testi ve sonlu elemanlar yöntemi ile malzemelerin deformasyon mekanizması incelenmiştir. Çalışma özellikle

polimer kaplamanın konumu ve farklı ester karışımları ile hazırlanan malzemelerin elastisite modülünün, malzeme dayanımına etkisi üzerine yoğunlaşmıştır. Poliüre kaplama, 200, 300, 400, 500, 800 and 1000 μm kalınlıklarda seramik malzemenin arka yüzeylerine sırası ile; tüm yüzey, malzemenin orta yüzeyi ve destek pimlerinin alt yüzeylerine gelecek şekilde kaplanmıştır. 3 noktalı eğilme testi ile elde edilen sonuçlar, yüksek elastisite modülüne sahip polimer ile kaplanmış seramik numunenin eğilme dayanımında önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Düşük elastisite modülüne sahip polimerin ise, seramik malzemelerin yerleştirildiği destek pimlerinin alt kısmına gelecek şekilde kaplandığında faydalı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca kaplama kalınlığının artması ile malzemenin bükülmesinin zorlaştığı gözlemlenmiştir. Artan kalınlık ile bükülmenin zorlaşmasının sebebinin, polimer kısmın kaplama kalınlığı ile artan elastisite modülünün, seramik malzemenin elastisite modülüne yaklaşması olduğu raporlanmıştır [8].

1.2 Tezin Amacı

Metal ve benzeri malzemeler, sahip oldukları mekanik özellikler nedeniyle savunma sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle zırh malzemesi üretiminde önemli rol oynayan metaller hem daha nitelikli hem de daha ekonomik malzemeler geliştirmek amacıyla pek çok çalışmada kullanılmaktadır. Ülkemizde de savunma sanayindeki gelişmelerle birlikte yerli ve milli ürünlere ihtiyacın artması, performansı yüksek zırh sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalara hız kazandırmıştır. Bu bağlamda bu çalışma, askeri teçhizatın temel unsurlarından biri olan zırh sistemlerine alternatif bir ürün geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, yeni nesil bir kaplama malzemesi olan ve farklı sektörlerde farklı amaçlarla kullanılan Poliüre kaplamanın, metal levha yüzeylerine kaplanarak elde edilen kaplamalı malzemenin darbe etkisi altındaki performansının değerlendirilmesi, polimerin sahip olduğu darbe sönümleme kabiliyetinin yapısal özellikleri ile ilişkilendirilmesi ve zırh sistemlerine alternatif bir ürün sunulması amaçlanmaktadır.

Bu amaçla 4mm sabit kalınlıkta ve 25x25cm boyutlardaki Al-5083, P-316 ve DKP sac levhalara 2,3,4 mm kalınlıklarda Poliüre kaplama uygulanmış, kaplamalı ve kaplamasız levhalara çekme testi ve ağırlık düşürme testi yapılmıştır. Levha gruplarına uygulanan

kaplama kalınlığının ve metal türünün darbe dayanımına etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Kuvvet-Zaman, Enerji-Zaman grafikleri halinde sunulmuş ve kıyaslanmıştır.

1.3 Hipotez

Metaller üstün sertlikleri ve balistik dayanımları ile koruyucu panel/zırh üretiminde kullanılmaktadır. Poliüre hemen hemen her yüzeye yapışma özelliğine sahiptir. Poliüre metaller ile birleştirilerek üstün dayanım özelliklerine sahip ince ve hafif zırh sistemleri tasarlanabilir.

Poliüre, darbelere ve hava koşullarına, aşındırıcı kimyasallara ve korozyif ortamlara karşı dayanıklı olduğundan her türlü koşullara karşı dayanıklı zırh/panel tasarımında kullanılabilir. Poliüre ısıya dayanıklı bir malzemedir, zırhlı araçlarda ısı yalıtımı sağlayabilir, araçlarda ağırlık tasarrufu sağlayarak verimi arttırabilir ve yakıt tasarrufu sağlayabilir. Ayrıca çok yüksek uzama kapasitesine sahip poliüre, balistik sistemlerin tasarımında kullanılabilir.

BÖLÜM 2

ZIRHLARA GENEL BAKIŞ

2.1 Zırh Tanımı

Zırhlar vücutta gövde ve gövdeye bağlı uzuvları koruma amaçlı kullanılan, giyilebilir bir savunma aracı olup, çok eski tarihlerden itibaren kullanıldığı bilinmektedir. “Zırh” tanımı Eski Türkçe’de “yarık”, Latince’de “lorica”, Moğolca’da “cebe”, Farsça’da “zırh-cevşen”, Ortaçağ Avrupası’nda “armour”, Arapça’da “dir-le-me” sözcükleri ile belirtilmiştir. Savaş meydanlarında düşmanların tehdit unsurlarına ve silahlarına karşı yaşamsal bölgeler öncelikli olmak üzere, vücudu zarar verici etkilerden koruyan en mühim savunma araçlarından birisidir. Ayrıca Cooper G. ve Gotts P. [15], koruyucu zırhlar için enerjiden korunma sağlayan herhangi bir malzeme tanımını kullanmışlardır. Bahsi geçen bu enerji delici/delici olmayan, patlamalı mermi dalgaları, darbeleri veya şarapneller gibi hasar verici unsurların sebep olduğu etkiler olarak tanımlanabilir [9,10,15].

Çizelge 2.1 Farklı yıllarda ve medeniyetlerde zırhların geliştirilmesi [15]

Dönem	Zırh Malzemeleri ve Tasarımları
Mısırlılar	Keten, bronz, çelik, yün, ahşap
Sümerliler	Keten, bronz, çelik, yün, ahşap
Asurlular	Keçe, yün, deri, ahşap, demir, bronz
Yunanlar	Metalik zırh, deri zırh
Romalılar	Demir, lamine zırh, plaka zırh

Çizelge 2.1 Farklı yıllarda ve medeniyetlerde zırhların geliştirilmesi [15] (Devamı)

Dönem	Zırh Malzemeleri ve Tasarımları
16. yy	Manganez alaşımlı oluklu veya kanallı zırh
17. yy	Yeni geliştirilen silahlardan korunmak için metal zırhın kalınlığı arttırıldı
I. Dünya Savaşı	Metal kasklar, ağır metal göğüs plakası, zırhlı yelek
II. Dünya Savaşı	Çelik levhalar, cam elyafı, polyester ve naylondan oluşan katmanlı zırhlar
1960'lar ve Sonraları	Seramik zırh, fiberglas laminatlar, alüminyum oksidin ilk zırha dönüşmesi, bor karbür, poliamidler

2.1.1 Giyilebilir Zırhlar

Tarihte zırhlar ile alakalı ilk örnekler M.Ö 2050'de gözlemlenmiştir. O dönemlerde zırhlar, özellikle deri ve çağa adını vermiş bronz kullanılarak yapılmıştır. Demirin ön plana çıkmasıyla beraber zincir biçiminde parçalar ile örülmüş zırhlar üretilmeye başlanmış ve yelek biçimi verilen bu giyisiler, metal ince plakalar ile desteklenerek koruyucu özellikleri arttırılmaya çalışılmıştır [9,10].

Eski Türk toplumlarında da büyük önem taşıyan zırhlar, Osmanlılar'da da üretilmiş ve farklı farklı şekillerde imal edilmiştir. Özellikle yüksek mertebe devlet adamlarının ve askerlerin zırhları farklı metal çeşitleri ve madenlerden üretilmiştir [9,10].



Şekil 2.1 Yelek tipi ve süslemeli zırhlar [9]

Üzerleri ince süslemeler ve nakışlar içeren zırhlar ve üretimi, eski dönemlerde sanat dalı olarak algılanmış, süslemeli zırhlar gösterişleri ile devlet büyüklerinin şan ve şöhretini temsil etmiştir. Tarihte neredeyse bütün toplumlarda zengin ve seçkin kişilerce giyilmiş, kahramanlık ve yiğitliğin timsali olmuştur (Şekil 2) [9].

Üretim sürecindeki zorluklar, üretim süresinin uzunluğu, hammadde pahalılığı ve üretici sayısının azlığı gibi nedenlerden zırhlar, tarih süresince daima lüks bir askeri teçhizat olarak görülmüştür. Demirden üretilen ince tellerin halka haline getirilip birbiri içerisine geçirilmesiyle elde edilen zırhlar, ağırlıkları ve yeterince esnek olmamaları nedeniyle kişilerin hareket kabiliyetlerini sınırladığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle alternatif ve gelişmiş tasarımlara sahip, hafif ve daha korunaklı zırh üretme çabaları, eski çağlardan itibaren süregelmektedir [9, 10].

Modern askeri operasyonlar, teknolojiye dayalı savaş taktikleri ve mevcut taşınabilir bireysel silah ve mühimmatlar hasara dayanıklı, esnek, hafif ve yüksek enerji emme kapasitesine sahip gelişmiş balistik koruma vücut zırhı sistemlerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Yeni zırh taleplerinin karşılanması amacıyla, son 20 yılda vücut zırhı malzemelerinin yeni konseptleri ve tasarımlarıyla ilgili literatüre birçok çalışma bulunmaktadır [11,12,19].

Üretilen tüm zırhların birincil hedefi, merminin vücuda girişini engellemek ve kullanıcının hareket kabiliyetini sınırlamadan özgür bir koruma sağlayabilmektir. Günümüzde ateşli veya patlayıcı tehdit unsurlarına karşı, genellikle ceket ya da yelek tipi giyilebilir koruyucu zırhlar kullanılmaktadır. Vücudun özellikle göğüs ve kalça bölgesini örten yelek tipi giyisilerin bölmelerine, metal çeşitli alaşımlardan veya yüksek ağırlıklı polimerlerden üretilmiş küçük levhalar yerleştirilmiştir. Yerleştirilen levhalar zırha esneklik sağlamak amacıyla birbirine bağlanmaz. Yerleştirilen levhalar ile zırhın koruyucu özelliklerinin artırılması amaçlanmaktadır [13].

2.1.2 Araç Zırhları

Zırhların tarihsel gelişiminde de görüldüğü gibi, genellikle giyilebilir bir teknoloji ile üretilen zırhlar, zırhlı araçların geliştirilmesiyle daha çok araçlarda kullanılmaya başlanmış ve yürütülen çalışmalardada daha çok zırhlı araç teknolojilerine ağırlık verilmiştir.

20. yy'ın başlarında araç üzerine silah yerleştirme fikri ile zırhlı araçlar geliştirilmeye başlanmıştır ve o zamandan itibaren yürütülen çalışmalar ve kullanım çabaları zırh içeren araçların gelişimine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Araçlarda zırh kullanımı ilk olarak Almanlar'ın tanklarında hafif silahlardan korunma amaçlı emaye kaplama kullanmaları ile ortaya çıkmış, II. Dünya Savaşı ile seramik zırhlar ve Kore Savaşı'nda çelik ve silikatlardan elde edilen zırhlar kullanılmaya başlanmıştır [13,15,16].



Şekil 2.2 Çelik ile zırhlandırılmış Fırtına Obüsü [17]

Zırhlı araç sistemlerinde zırh olarak alüminyum, çelik, seramik, cam, fiberglas, plastik, Al-Mg-Mn, titanyum gibi malzemeler kullanılmaktadır. [13, 18].

İstenen koruma seviyesine ulaşabilmek için zırhlı araçların tasarımına eklenecek materyallerde, hacim ve ağırlık parametreleri araç performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle koruma amaçlı eklenecek levha/panel gibi ek malzemelerin hafif olması, aracın hareket kabiliyetini sınırlandırmadan balistik koruma seviyesine katkı sağlaması beklenmektedir. Elde edilen tasarımın düşük ağırlık ve yakıt etkinliğine sahip olması da oldukça önemlidir. Alüminyum alaşımları ve titanyum gibi hafif metaller beklenen enerji korumasını ve ağırlık tasarrufunu sağladıkları için zırhlı araçların imalatında kullanıldığı literatürde belirtilmektedir. Bu metallerin üzerleri çeşitli kompozitler, seramikler ya da çelik levhalar ile desteklenerek zırh koruma etkinliği arttırılmaktadır [18, 20-23].

2.2 Zırhların Sınıflandırılması

Zırhları genel olarak sert zırhlar ve yumuşak zırhlar olarak ikiye ayırabiliriz. Sert zırhlar esnek olmayan yapılar olup, metal plakalar, seramikler, güçlendirilmiş plastik ve kompozitler gibi sert malzemelerden oluşurlar. En büyük dezavantajları ağırlıkları ve esnek olmamalarıdır [24].

Yumuşak zırhlar, polimer esaslı malzemeler olup, yüksek molekül ağırlıklı liflerden üretilen kumaşlardır. Yumuşak zırhlar esneklikleri, hafiflikleri ve konfor özellikleri nedeniyle bireysel korunma amaçlı tercih edilmektedir. Balistik koruma amaçlı kullanılan kumaşların, seramik ve metal gibi sert malzemelere tercih edilmesinin sebebi, sağladıkları ağırlık tasarrufunun yanı sıra kullanıcının hareket özgürlüğünü sınırlandırmadan koruma sağlamasıdır. Aramid/ para-aramid ve yüksek molekül ağırlıklı polietilen kumaşlar en çok tercih edilen balistik kumaşlardır [13,14,24].

ZIRH TIPLERİ VE ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER

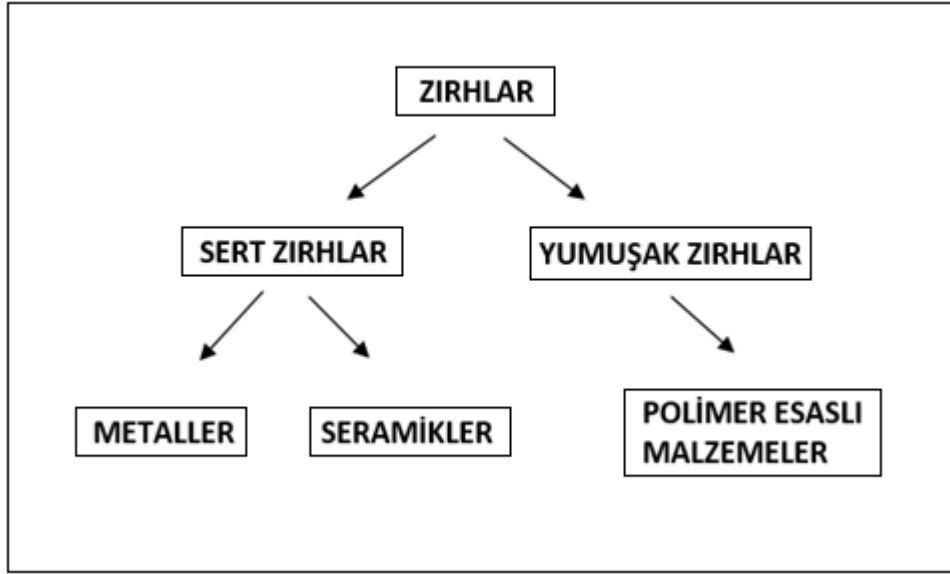
Modern askeri hareketlar ve modern teknolojiye dayalı savaş mühimmatları sayesinde gelişen silah teknolojileri, modern zırh sistemlerinin üretimini zorunlu kılmıştır. Tüm bu tasarım çalışmalarına rağmen, malzemelerin geliştirilmesinde zırhın temel işlevi aynı kalmıştır: insan vücuduna silah ve mermi girişini engellemek ve etki enerjisini yaymak [14,15,27].

Zırh sistemlerinde kullanılacak malzemelerin belirlenmesinde, uygun hacim ve maliyetler de dahil olmak üzere bazı kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Hiçbir zırh materyali tek başına tamamen başarılı sayılmaz. Belirli bir tehdide karşı belirli bir sistem konfigürasyonunda yeterli koruma sağlayan bir tasarım, hafiflik elde etmek için hacmin veya ağırlığın azaltılmasıyla yetersizleşebilir [28]. Bu nedenle malzemelerin yalın kullanımlarının yanı sıra, ek katman ilaveleri ile güçlendirilerek, zırh koruması ve mobilite arasında istenen denge kurulmaya çalışılmaktadır. Bu tasarımlarda en önemli üç etken ağırlık, fiyat ve performans olarak belirtilmiştir [24,26,28].

Zırh tasarımında kullanılacak malzemelerin aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir;

1. Düşük yoğunluk
2. Yüksek kayma modülü ve elastisite
3. Yüksek akma ve çekme dayanımı [16].

Günümüzde kullanılan modern zırhları, üretiminde kullanılan malzemenin türüne bağlı olarak kısaca aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz;



Şekil 3.1 Üretiminde kullanılan malzemeye göre zırhların sınıflandırılması [15,25,43]

Zırh tasarımı için uygun parametreler, korunacak sistemin uygulamalarına bağlıdır. Bunlardan en önemlileri kapasite, maliyet ve ağırlıktır. Savunma duvarları veya sığınaklar gibi sabit yapılar için ağırlık kritik bir faktör değildir. Bu nedenle düşük kalınlıktaki malzemelerin direnci, kalınlık artırılarak yükseltilebilir. Ancak vücut zırhı/araç zırhı gibi hareketli zırh yapıları söz konusu olduğunda, ağırlık çok önemli bir rol oynar [28].

Her materyalin kendine has üstünlükleri ve zayıflıkları vardır. Metaller yüksek balistik direnci gösterirler ancak sahip oldukları ağırlıkları, yüksek yoğunlukları, korozyona ve aşınmaya karşı hassas dirençleri, uygulamalarda kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Seramik malzemeler yüksek sertliğe sahiptir ve aşınmaya dayanıklıdır ancak, yüksek tokluklarından dolayı kırılabilirler. Polimerler kolaylıkla işlenebilir, çok hafif ve nispeten ucuzdur ancak düşük güç ve düşük erime noktasına sahiptirler. Malzemelerin eksiklikleri, birbirleri ile kombinlenerek azaltılabilir, metal, polimer ve / veya seramik kombinasyonları ile özel uygulamalar için üstün niteliklere sahip sistemler üretilebilir [25,27,28].

3.1 Sert Zırhlar

Sert zırhları, seramikler ve metaller olarak 2 ana grupta toplayabiliriz. Sert zırhlar genellikle hareket gerektirmeyen uygulamalarda kullanılmaktadır. En büyük dezavantajları ağırlıkları ve rijitlikleridir.

3.1.1 Metaller

Savunma sanayinde metaller hala en çok tercih edilen malzemelerdir. Literatürde belirtildiği gibi [17,21,25,28] metaller, sahip oldukları özellikler nedeniyle balistik uygulamalarda başarılı bir performansa sahiptirler.

Metallerin piyasadaki diğer malzemelere göre ucuz olması ve kolay bulunabilmesi, üretimde kolaylık sağlar. Ayrıca metallerin kaynaklanabilirliği, birbirleri ile kombine sistemlerin tasarlanmasını mümkün kılar. Metaller, arzulanan mekanik ve fiziksel özelliklere ulaşabilmek için ikincil işlemler ile geliştirilebilirler. En önemlisi metaller, balistik uygulamalarda birden fazla kullanılabilir. Seramik ve elyafların aksine metaller, dayanıklı ve sert malzemeler olduğundan mermi kinetik enerjisinin etkisiyle dağılmadan bir arada kalabilirler. Ayrıca metaller sünek malzemelerdir. Süneklik, bir malzemenin darbe direncinin/penetrasyon direnci ve patlama enerjisini emebilme kapasitesinin bir göstergesidir. Ancak metallerin ağırlıkları önemli bir dezavantajdır. Balistik koruyucu zırhlarda ağırlığın önemi göz önüne alındığında, metallerin gerekli mobilitayı sağlayamadıkları için farklı tasarımlara ve iyileştirmelere ihtiyaç duydukları ortaya çıkmaktadır [29,30].

Metal zırhlar, demir temelli veya demir dışı alaşımlardan elde edilir ve dövme, haddeleme, döküm gibi yöntemler kullanılarak üretilir. Dövme ve haddeleme işlemleri levha tipi metaller için kullanılırken, döküm işlemi özel şekilde üretilmesi istenen materyallerde kullanılır. Dövme ve haddeleme ile üretim işlemlerinden sonra malzemelere arzulanan balistik kabiliyetin kazandırılabilmesi için ısıtım işlemlere tabi tutulur.

Literatürde balistik uygulamalarda en sık kullanılan metaller, çelikler (demir alaşımları), alüminyum ve titanyum olarak belirtilmiştir [25].

3.1.1.1 Çelik Alaşımları

1. Dünya Savaşı esnasından tankların kullanılmaya başlanmasıyla beraber homojen çeliklerin muharebe sahasında kullanımı da artmış ve uzun süre zırh malzemeleri arasında en çok tercih edilen malzeme olmuştur. Çelikler üretim esnasında muhakkak ısıtım işleme tabi tutulurlar. Bu işlem ile zırh çeliğine istenen mekanik direncin

kazandırılması, mermi penetrasyon direncinin artırılması ve kinetik enerjiyi absorblama kapasitesinin maksimuma çıkartılması için temperleme ile toklaştırılması amaçlanmaktadır [25].

Zırh çelikleri, temelde düşük karbonlu çelik sınıfına dahil olup; alaşımlarında başlıca Ni, Cr, Mo ve Mn kullanılmaktadır. Çizelge 3.1’de MIL-SPEC standartlarına uygun biçimde yaygın olarak kullanılan zırh çeliklerinin kimyasal bileşimleri sıralanmıştır. MIL-A-46100 çelik tipi, MIL-A-12560’a göre yüksek bir sertliğe sahiptir. MIL-A-12560 çeliği RHA (haddelenmiş homojenize zırh) olarak bilinir ve en çok kullanılan zırh çeliğidir [17,25,26].

Çizelge 3.1 Sık kullanılan zırh çeliklerinin kimyasal bileşimi [17,26]

Element	Kimyasal Bileşim (%)		
	12560	46100	46173
C	0,18-0,28	0,22-0,32	0,37
Mn	1,10-1,60	0,70-1,00	0,90
P	0,015	0,010	0,012
S	0,015	0,010	0,005
Si	0,20-0,40	0,35-0,50	0,20-0,40
Cr	1,20-1,60	0,40-0,70	1,90
Ni	2,00-3,40	0,80-1,30	3,00
Mo	0,40-0,55	0,50-0,65	0,30-0,5

Zırhlı araçlarda kullanılacak zırh çelikleri genel olarak;

- Kinetik enerjili mermi darbeleri ve patlama darbelerine karşı yüksek dirence sahip olması;
- Kaynak, kesme ve şekillendirme gibi üretim süreçlerinde kolaylık;
- Yüksek yorulma direnci ile uzun bir kullanım ömrü;

gibi başlıca mekanik özelliklere sahip olacak şekillerde üretilmektedirler. Örneğin MIL-A-46100 ve MIL-A12560 kalitelerdeki çeliklerde ısıtma işlem koşullarının farklılaştırılmasıyla, çeliklerin mekanik özelliklerinde farkedilir derecede değişiklikler gözlemlenebilmektedir. Çizelge 3.2’de MIL-A-46100, MIL-A-12560 ve MIL-A-46100 kalite zırh çeliklerinin mekanik özellikleri verilmiştir [26].

Çizelge 3.2 Zırh çeliklerinin mekanik özellikleri [26]

Özellik	MIL-A-12560	MIL-A-46100	MIL-A-46173
Sertlik (HB)	277-388	477-534	477-601
Akma Mukavemeti (MPa)	1150	≥ 1100	≥ 1100
Çekme Mukavemeti (MPa)	1250	≥ 1600	≥ 1700
Uzama (%)	≥ 10	≥ 9	≥ 8
Tokluk ¹	20-30	30-40	30

Balistik koruma için kullanılan çelik zırhlar günümüzde, haddelenmiş homojenize çelik zırh (RHA), yüksek sertlikte çelik zırh (HHA) ve ultra yüksek sertlikte çelik zırh (UHA) olarak üç farklı grup haline getirilmiştir. Bu zırhların balistik panel/levha ve araç zırhı olarak kullanımı yaygındır [25].

3.1.1.2 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum ve alaşımları, gelişen teknolojiyle beraber ileri mühendislik uygulamalarında büyük bir popüleriteye sahip olmuştur. Üstün mekanik özellikleri sayesinde endüstride pek çok farklı sektörde kullanılmaktadır. Bu önemli özelliklerden bazılarını; yüksek özgül mukavemet, hafiflik ve sünekliliğine ek olarak, düşük yoğunluk ve yüksek korozyon direnci olarak sıralayabiliriz [29,33].

¹ Çentik Darbe (-40°C, J/mm²)

Alüminyum alaşımları ve alüminyum matris kompozitleri savunma sanayinde ve balistik uygulamalarda daha çok tercih edilmekle beraber nakliye, inşaat, paketleme, ev eşyaları, elektrikli cihazlar, otomobiller, havacılık ve spor endüstrilerinde de sıklıkla kullanılmaktadır [29].

Alüminyum alaşımları çelikten ve titanyumdan daha az yoğunluğa sahiptir. Bu nedenle çelik kadar kapsamlı bir balistik koruma sağlayamayabilirler. Ancak düşük yoğunlukları nedeniyle sağladıkları ağırlık tasarrufu, özellikle hafif zırh tasarımlarında ve araç zırhlarında kullanımlarını mümkün kılar. Farklı seriden alüminyum alaşımları farklı mekanik özellikler gösterir. Özellikle 2195, 2519, 2139, 7039, 5083, 7075 seri alüminyum alaşımları başarılı balistik performansları nedeniyle zırh plakaları uygulamalarında tercih edilmektedir [30,32,33].

Çizelge 3.3 Farklı serideki alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimleri [25,29]

Element	Kimyasal Bileşim (%)		
	5083	7039	7075
Si	0,40	0,30	0,40
Fe	0,40	0,40	0,50
Cu	0,10	0,10	1,2-2,0
Mn	0,40-1,0	0,10-0,40	0,30
Mg	4,0-4,9	2,3-3,3	2,1-2,9
Cr	0,05-0,25	0,15-0,25	0,18-0,28
Zn	0,25	3,5-4,5	5,1-6,1
Ti	0,15	0,10	0,20

Alüminyumun yüksek hızlı mermilere karşı penetrasyon direncinin yeteri kadar yüksek olmaması, çelik gibi daha sert metallere karşı oluşan levhalar ile bir araya getirilerek kullanımını düşündürmüştür. Ayrıca ek uygulamalar ile sahip olduğu özelliklerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu uygulamalara homojenizasyon, tavlama, solüsyon ısıt

işlemi ve çelik levha katmanı, polimer/ seramik katmanlarının eklenmesiyle katmanlı yapılar oluşturularak alüminyumun desteklenmesi örnek verilebilir [1-6, 32,33,34]. Düşük penetrasyon dirençlerine rağmen sağladıkları ağırlık avantajı, korozyon direnci ve kolay işlenebilirlikleri sayesinde halen en çok tercih edilen zırh metallerinden birisidir.

Çizelge 3.4 5083 tipi Alüminyum alaşımının mekanik özellikleri [25,34]

Özellik	Al-5083	Al-7039
Sertlik (HB)	85	123
Akma Mukavemeti (MPa)	228	345
Çekme Mukavemeti (MPa)	317	414
Uzama (%)	≥ 16	≥ 14

3.1.1.3 Titanyum Alaşımları

Titanyum metali için üretim teknolojilerinin geliştirilmesi, ABD Maden Bürosu tarafından 1938 yılında, titanyumun yüksek ağırlığa karşı mukavemeti, kuvvetli korozyon direnci gibi özellikleri ve yüksek miktarlarda varolması nedeniyle başlamıştır. 1950'lerin başlarında titanyum metali, neredeyse tamamen askeri mühimmat ve askeri havacılık endüstrisi için üretilmiştir. 1960'lı yıllardan sonra ise askeri havacılık yerine ticari havacılık ve endüstriyel üretim gelişmeye başlamıştır [35].

1960'lı yılların başında Ti-6Al-4V alaşımının küçük silah tehditlerine karşı çelik plakalara göre önemli ağırlık tasarrufu sağlayan balistik performans verileri gözlemlenmiştir. Ancak o dönemki yüksek maliyeti, titanyumun zırh üretiminde kullanımının yaygınlaşmasını engellemiştir [36].

Çizelge 3.5 Ti-6Al-4V alaşımlı Titanyum plakaların kimyasal bileşimleri [37]

Al	V	C	O	N	H	Fe	Ti
5.50-6.50	3.50-4.50	0.04 Max	0.14 Max	0.02 Max	0.0125 Max	0.25 Max	Kalan

Titanyum ısı eşanjörleri, kimyasal tanklar, karıştırıcılar, borular, pompalar ve valfler gibi pek çok farklı ekipmanın yanı sıra tıbbi aletler ve protezler, filtre elemanları ve spor

malzemeleri gibi pek çok malzemenin üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca hava araçlarında, jet motor bileşenlerinde sistem ağırlığının azaltılması için de kullanılmaktadır. Yaklaşık 100'den fazla titanyum alaşımı bilinmektedir, ancak bunların sadece 20 ila 30'u ticari pozisyona ulaşmıştır. Halen havacılık ve otomotiv endüstrilerinde Ti-Al bazlı alaşımların kullanımı ile alakalı çalışmalar yapılmaktadır. [36,38].

Çizelge 3.6 Çelik, Alüminyum ve RHA'nın mekanik özelliklerinin kıyaslanması [25]

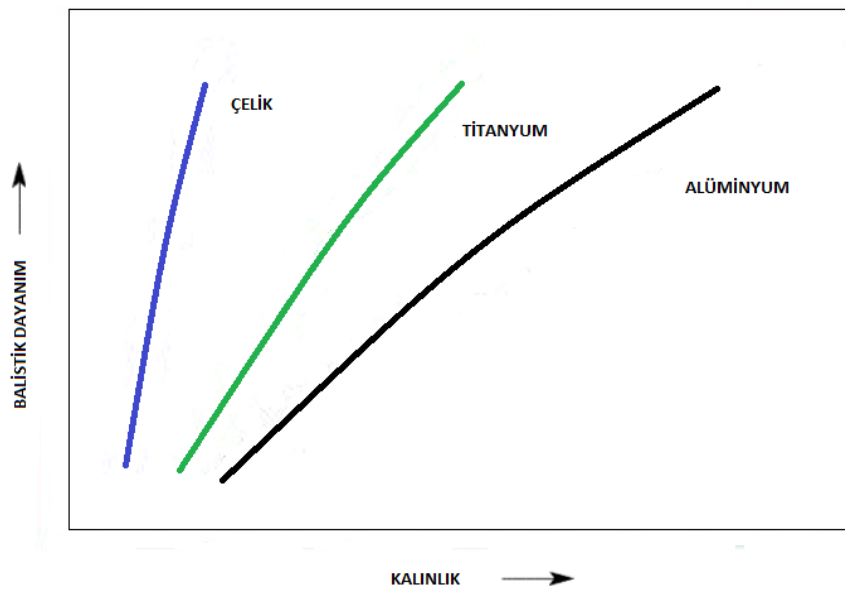
Özellik	RHA	Al-5083	Ti-6Al-4V
Çekme Dayanımı (Mpa)	951	350	896
Yoğunluk (g/cm ³)	7.86	2.7	4.5
Özgül dayanım (MPa.cm ³ /g)	150	130	220
Kütle etkinliği ¹	1	1.0-1.2	1.5

Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi titanyum balistik çeliğe benzer çekme dayanımına ve kütle etkinliğine sahiptir, ancak yoğunluğu %40 daha azdır. Bu dayanım/yoğunluk oranı, balistik çeliğe kıyasla titanyumu daha avantajlı kılmaktadır. Özellikle yüksek kalınlıklı tasarımlarda titanyum, RHA'dan önemli ölçüde avantajlıdır. Titanyum birden fazla yapılan atışlarda iyi bir balistik performansa ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Bu özellikleri zırhlı araç uygulamalarında araç bakımı masraflarını azaltmakta ayrıca aracın yakıt ve etkinlik performansına katkı sağlamaktadır. Ayrıca diğer metallerde olduğu gibi daha esnek uygulamalar için seramikler, kevlar aramidler veya polietilen Dyneema fiber

¹ Kütle etkinliği: Bir malzemenin alansal yoğunluğu ile (malzemenin birim alan başına düşen kütle miktarı) aynı tehlike karşı balistik dayanım veren RHA'nın alansal yoğunluğunun kıyaslanmasıdır. RHA'nın alansal yoğunluğunun, bahsi geçen malzemenin alansal yoğunluğuna oranlanması ile bulunur. Kütle etkinliğinin büyük olması, aynı korumayı sağlamak için gerekli korumanın aynı oranda azalması demektir. Bu da zırh tasarımlarında istenen bir durumdur.

kompozitleri gibi uyumlu malzemeler ile desteklenerek katmanlı sistemler tasarlanabilir. Ancak tüm bu avantajları ve önemli özelliklerinin yanında diğer metallere kıyasla yüksek maliyeti, titanyumun zırh tasarımlarında kullanımını azaltmaktadır [37].

Çelik metal malzemeler arasında en yüksek dirence sahiptir, ancak ağırlığı bir dezavantajdır. Titanyum, çelikten çok daha düşük bir yoğunlukta çeliğe benzer balistik koruma sağlar. Alüminyum alaşımları penetrasyon direncinde çeliğe benzerdir ancak çok daha fazla kalınlık gerektirir. Şekil 3.2’de çelik, titanyum ve alüminyumun tipik alaşımları için kalınlıkları ile balistik performansları arasındaki ilişki gösterilmiştir [30].



Şekil 3.2 Alüminyum, Çelik ve Titanyumun balistik dayanımlarının karşılaştırılması [30]

3.1.2 Seramikler

Seramik terimi, “Keramikos” kelimesinden türetilmiştir ve “şeyleri yakmak” anlamına gelmektedir. Seramikler, metal ve metal alaşımları hariç, kristalinden vitröz cama kadar değişen tüm metalik materyalleri kapsar. Seramikler farklı oranlarda cam ve kristal yapılı fazlardan oluşmaktadır ve genellikle gözenekli bir yapıya sahiptirler. Özellikle doğada yüksek oranlarda bulunan oksitli metaller ve silikatlar, nitrürler, karbürler, camlar, borürler, cam-seramikleri ve çimento türünden, malzemelerin hepsini seramik sınıfına dahil edebiliriz [15,16].

Seramik malzemeler aşağıda belirtilen özellikleri sayesinde günümüzde farklı sektörlerde sıklıkla tercih edilmektedir;

- Çok yüksek sıcaklıklara karşı direnç
- Kimyasal etkilere karşı yüksek korunma
- Yüksek sertlik
- Hafiflik (örneğin metallerden %40 daha hafif olmaları)
- Hammade bolluğu ve ekonomik avantajlar
- Yüksek aşınma ve erozyon direnci
- Yüksek oksitlenme direnci
- Düşük sürtünme katsayısı
- Yüksek basma kuvveti [16].

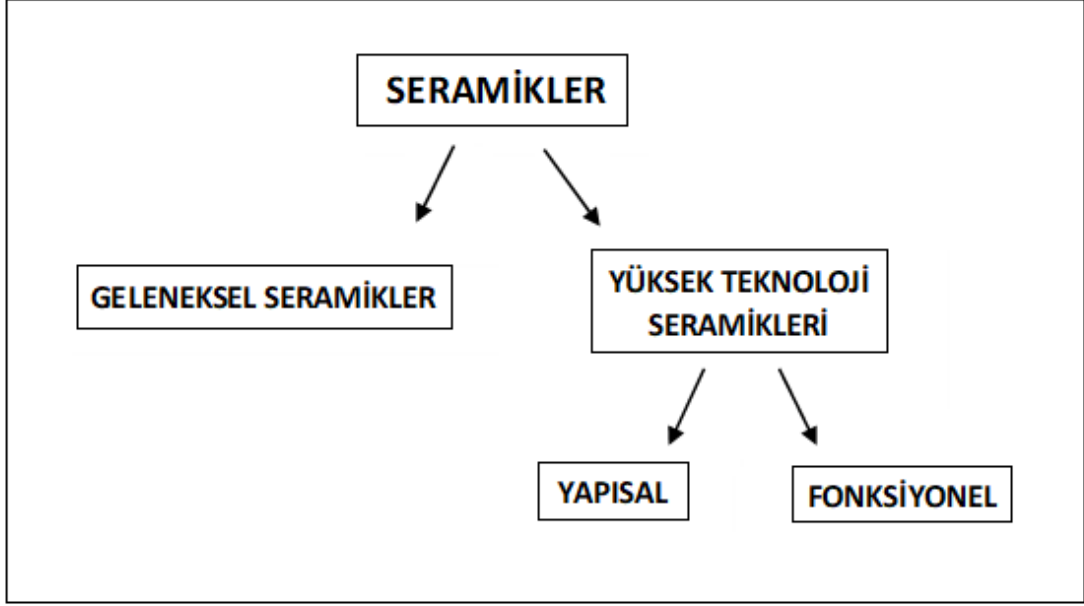
Yüksek basınç dayanımı düşük yoğunluk ve yüksek sertlik gibi özellikleri seramikleri, balistik uygulamalar için avantajlı kılmaktadır. Ancak seramikler, metallerin aksine çoklu darbelere karşı kırılgan ve dayanıksızdır [40,41].

Zırh malzemesi olarak çoğunlukla oksitli seramiklerden Al_2O_3 içeriğine sahip alümina seramikleri ve oksitli olmayan seramikler (karbürler, nitritler, B_4C , SiC , Si_3N_4 , AlN ve boritler) kullanılmaktadır. Seramikler, sahip oldukları mekanik özellikler ve darbe enerjisini yayma kabiliyetleri ile kompozit malzeme tasarımında da kullanılabilir [40].

Seramikler, geleneksel seramikler ve yüksek teknoloji seramikleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Geleneksel seramik gurubuna, kilden üretilen malzemeler, karo, fayans ve porselenler, kiremit ve tuğlalar, refrakterler ve camlar ile çimento malzemelerini örnek verebiliriz. Yüksek teknoloji seramikler ise "modern seramikler" ya da "mühendislik seramikleri" gibi farklı şekillerde de adlandırılmaktadır. Bu gruba dahil seramikler ise yapısal ve fonksiyonel seramikler olarak 2 gruba ayrılmaktadır [16,42].

Zırh seramiklerini yoğunluklarına göre de sınıflandırabiliriz. RHA'dan daha büyük yoğunluğa sahip seramikler yüksek yoğunluklu seramikleridir. Yoğunluğu RHA'dan düşük olanlar ise düşük yoğunluklu seramiklerdir. Tipik yüksek yoğunluklu seramiklere örnek

olarak WC verebiliriz. Düşük yoğunluklu seramikleri ise Al_2O_3 , AlN , B_4C , SiC ve TiB_2 olarak sıralayabiliriz [42].



Şekil 3.3 Seramiklerin sınıflandırılması [16]

Seramikler, 1960'ların sonlarında ve 1970'lerin başında zırh uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır ve 1979 yılında, balistik etkiye maruz bırakılan Al_2O_3 seramiklerinin davranışları ve performansları ile ilgili çalışmalar belgelenmiştir [42,25]. Zırh uygulamalarında yaygın olarak kullanılan seramiklere Al_2O_3 , AlN , B_4C , SiC , TiB_2 ve WC örnek verilebilir [42].

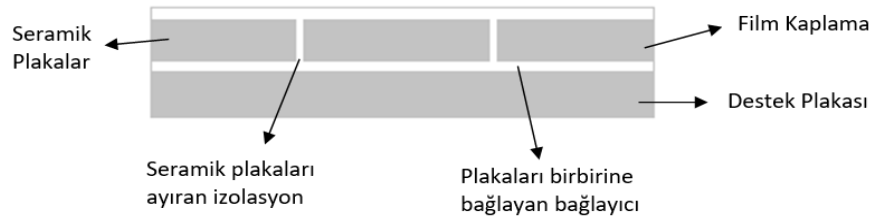
Çeliklere nazaran oldukça hafif olan seramikler, yüksek basma mukavemeti ve sertlikleri ile balistik uygulamalarda yüksek performansa sahiptirler. Ancak seramikler, metallere göre fazla kırılğan bir yapıya sahiptir. Bu nedenle çoklu darbelere karşı metallere göre daha az performans gösterirler [41].

İlk olarak zırh malzemesi üretiminde uygun maliyeti nedeniyle Al_2O_3 denenmiştir. Seramik bir plaka ve arkada alüminyum destek plakası birbiri ile bağlandıktan sonra, seramik zırhın parçalanıp dağılmasının önlenmesi için bir muhafaza içerisine yerleştirilmiş ve böylece ilk seramik zırh elde edilmiştir. Daha sonraları Al_2O_3 yerine daha yüksek sertliğe sahip B_4C , SiC ve TiB_2 kullanılarak zırh sistemleri tasarlanmıştır [25].

Çizelge 3.7 Sık kullanılan seramik zırhlar ve üretim şekilleri [25,39,42]

Seramik Malzeme	Üretim Metodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Sertlik HV (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Eğme Mukavemeti (MPa)
Al ₂ O ₃	S ¹	3.60-3.95	12-18	300-450	200-400
SiC	S	3.10-3.20	22-23	400-420	300-340
SiC	SP ²	3.25-3.28	20	440-450	500-730
B ₄ C	SP	2.45-2.52	29-35	440-460	200-500
TiB ₂	S	4.55	21-23	550	350
TiB ₂	SP	4.48-4.51	22-25	550	270-700
AlN	SP	3.20-3.26	12	280-330	300-400

Zırh seramiklerinin uygulamaları, öncelikli olarak küçük silahlara ve tüfek tehditlerine karşı koruma sağlamak için kullanılmaktadır. Bu sistemlerde tipik olarak ön katmanı merminin yapısının bozulmasını sağlayacak seramik katman, arka katmanı ise kalan kinetik enerjiyi absorblayacak, hasarlı seramik malzemeyi tutacak ve aynı zamanda seramik katman ile uyumlu mekanik özelliklere sahip bir katman oluşturmaktadır [25, 39,41].



Şekil 3.4 İkili seramik ve destek plakalı zırh tasarımı [16]

Destek katmanı olarak birçok zırh uygulamasında ultra yüksek sertlikte çelikler, titanyum alaşımları, alüminyum, kevlar, cam takviyeli plastikler gibi destek plakaları kullanılmaktadır [39].

¹ Sinterlenmiş

² Sıcak Preslenmiş

3.1.2.1 Alüminyum Oksit

Bir diğer ismi Alümina olan Alüminyum Oksit (Al_2O_3), hem zırh üretiminde hem de diğer tüm mühendislik uygulamalarında en çok tercih edilen seramiklerden biridir. Ucuz olmasının yanında üretimindeki bileşenlerin kolay bulunabilmesi nedeniyle zırh üretimi çalışmalarında genellikle Al_2O_3 üzerine yoğunlaşmaktadır [25].

Alümina, yüksek elastikiyet modülü, yüksek refrakterlik, yüksek sertlik ve nispeten düşük maliyet içeren, gelişmiş seramikler arasında en iyi maliyet-fayda oranını sağlar. Bununla birlikte, düşük kırılma tokluğu ve düşük bükülme mukavemeti nedeniyle, alüminin balistik performansı SiC ve B₄C ile karşılaştırıldığında daha düşüktür [46].

Çizelge 3.8 Alüminyum Oksidin saflık yüzdelerine göre genel özellikleri [16]

% Al_2O_3	94%	96%	99.50%
Yoğunluk (g/cm^3)	3.69	3.72	3.8
Sertlik (kg/mm^2)	1175	1100	1440
Elastiklik Modülü (GPa)	300	300	375
Eğilme Dayanımı (MPa)	330	345	379

3.1.2.2 Bor Karbür

Bor karbür, bor nitrür ve elmaştan sonra gelen en sert malzeme olarak bilinmektedir. 19.yüzyıl ortaları ile keşfedilmiştir ancak hakkında çalışmalar yürütülmesi 1930'li yılları bulmuştur. Sertliğinin yanında bor karbür dünyada bulunan en kararlı bileşiklerden biridir ve asit/baz tepkimelerine kolay kolay girmemektedir. Ultra yüksek sertliğinin yanında düşük yoğunluğu ile balistik uygulamalarda ideal bir malzeme olmasına rağmen, yüksek maliyeti nedeniyle kullanımı yaygınlaşmamıştır [25].

B₄C, düşük yoğunluğuna ve yüksek sertliğine ek olarak, SiC ve diğer zırh uygulamalarında kullanılan seramiklere göre önemli ölçüde yüksek maliyetlidir ve üretilmesi daha zordur. Ancak bor karbür ile tasarlanan zırhlar, diğer zırh tasarımlarına göre yaklaşık %20 daha hafiftir. Bu nedenle özellikle hafifliğin gerekli olduğu helikopter gibi hava araçlarının veya zırhlı kara araçlarının tasarımında kullanılmaktadır [25,47,48].

Yüksek sertlik, yüksek ergime sıcaklığı, düşük yoğunluk, yüksek aşınma direnci ve üstün kimyasal direnç gibi özellikler bor karbürün dikkat çeken başlıca özellikleridir [25].

Çizelge 3.9 Bor karbürün genel özellikleri [25]

Özellik	B ₄ C
Yoğunluk (g/cm ³)	2.5
Sertlik (kg/mm ²)	3200
Elastiklik Modülü (GPa)	460
Eğilme Dayanımı (MPa)	410

3.1.2.3 Silisyum Karbür

Silisyum karbür, yaygın olarak kullanılan yapısal seramiklerden biridir. 1970’li yıllardan itibaren kullanılmaya başlayan silisyum karbür, birçok özelliğinin yanında mükemmel bir termal iletken yapıya sahiptir. Bu nedenle özellikle yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda çokça kullanılmaktadır. Silisyum karbürün ticarileşmesini kolaylaştıran diğer bir özelliği de yüksek sertliğidir. Bor karbür kadar sert olmasa da en başarılı aşındırıcılardan biri olarak bilinmektedir [49].

Balistik etkinliği hemen hemen Al₂O₃ ile B₄C arasındadır. Bu nedenle Al₂O₃’den daha yüksek koruma ve daha uygun maliyet istenen uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca havacılık, uzay teknolojileri, seramik motor uygulamaları gibi farklı sektörlerde de kullanılmaktadır [25,49].

Çizelge 3.10 Silisyum Karbürün genel özellikleri [25]

Özellik	SiC
Yoğunluk (g/cm ³)	3.20
Sertlik (kg/mm ²)	2300
Elastiklik Modülü (GPa)	450
Eğilme Dayanımı (MPa)	634

3.2 Yumuşak Zırhlar

Yumuşak zırhlar, genellikle polimer esaslı malzemeler olup mobilitenin yüksek olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir. Esnek ve hafif olması nedeniyle daha çok giyilebilir zırh üretiminde kullanılmaktadır [13,14,24].

Genellikle hafif ateşli silah unsurlarına karşı Aramid veya UHMWPE lifleri gibi yumuşak yapılı malzemelerden üretilen zırhlar tercih edilmektedir. Ancak daha yüksek koruma seviyeleri için sert zırhlara ihtiyaç duyulmakta ve isteğe göre yumuşak ve sert zırhlardan çeşitli kombinasyonlar üretilebilmektedir [24,43,44].

3.2.1 Polimer Esaslı Malzemeler

Balistik koruma amaçlı kullanılacak polimer malzemelerin, polyester veya epoksi gibi polimer esaslı bağlayıcı matris malzemelerine ilave edilip, kompozit malzeme oluşturarak ya da tek başlarına kullanılabilmesi mümkündür [25]

Polimer malzemeler kullanılarak üretilen, kumaş benzeri materyaller ile elde edilen kompozit yapılarda balistik koruyuculuk, üretimde kullanılan liflerin elastisite modülü ve kopma uzaması gibi özellikler ile değişmektedir [25,43,45].

Balistik amaçlı kullanılan ilk lifler, hafif ateşli unsurlara ve şarapnelere karşı korumada çok katlı bir yapıya sahipti. Ancak bu katlı yapılar hem ağırlık artışına sebep olmakta hem de esneklik/hareket kabiliyetini olumsuz etkilemekteydi. Bu nedenle daha hafif, esnek ve yüksek mukavemete sahip çözümler üretilmeye çalışılmış ve bu amaçla yüksek performanslı lifler geliştirilmiştir [45].

Balistik kumaş üretiminde kullanılmak üzere yüksek molekül ağırlıklı polietilen (Spectra, Dyneema), Aramid (Twaron, Kevlar) gibi yüksek mukavemete sahip lifler günümüzde pek çok uygulamada kullanılmaktadır [45].

3.2.1.1 Aramid

Aramid fiberi, ismini bir naylon çeşidi olan aromatik poliamid polimerinden almaktadır. 1960 yıllarının sonlarında piyasaya sürülen Aramid fiberinin en bilinenlerini, Kevlar (DuPont) ve Twaron (Teijin) olarak sıralayabiliriz. Aramid fiberi, çeliğin 5 katı spesifik

çekme mukavemetine sahiptir, yani 1 m boyunda ve 1 kg ağırlığındaki aramid halat, aynı boy ve aynı ağırlığa sahip çelik bir halattan 5 kat daha dayanıklıdır [50].

Yüksek çekme mukavemetine sahip aramid fiberleri bu özellikleri nedeniyle balistik uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Aşınma ve sürtünme dirençleri de yüksek olan aramid fiberlerinin basma dayanımları diğer özelliklerine göre daha düşük bir performansa sahiptir [25,50].

Aramid liflerinin yüksek darbe/aşınma/yorulma dayanımı, iyi kimyasal dayanım, düşük yoğunluk gibi avantajlarının yanı sıra, bazı dezavantajları da mevcuttur. Bazı aramid fiberleri, ultraviyole ışınlar karşı hassas olduklarından ve ışınlar maruz kaldıklarında bozulabildiklerinden karanlık ortamlarda muhafaza edilmeleri gerekmektedir. Aramid fiberler bazı uygulamalarda iyi birleşme gösteremezler, bu nedenle yapılarında oluşan çatlaklar, malzemenin zamanla yorulmasıyla nem almasına neden olur [50].

Aramid fiberleri genellikle giyilebilir zırh üretiminde kullanılmaktadır. Aramid lifler kullanılarak üretilen balistik yelekler, tek başlarına tabanca gibi hafif ateşli silah unsurlarına karşı yüksek koruma sağlarlar. Ancak yüksek enerjili tüfek mermileri gibi ağır ateşli unsurlara karşı tek başlarına yeterli koruma sağlayamamaktadırlar [25].

Çizelge 3.11 Bazı Aramid lifleri ve mekanik özellikleri [25]

Aramid Lifi	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
Kevlar-29	1.44	3600	83
Kevlar-49	1.44	3600-4100	131
Kevlar-129	1.47	3400	186
Twaron (Standart)	1.44	1950	120

3.2.1.2 Ultra Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen

Polietilen polimeri kullanılarak lif eldesi ilk olarak 1930'lu yıllarda başlamıştır. Eriyik halden lif çekme yöntemi ile elde edilen lifler çok yüksek kopma mukavemetine sahiptir (25 kg/mm²) [51].

Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) bir tür mühendislik termoplastığıdır ve üstün mekanik özelliklere ve çok düşük bir yoğunluğa sahiptir. UHMWPE'nin öne çıkan en temel özelliklerini yüksek kimyasal dayanım, çok düşük yoğunluk, yüksek nem dayanımı, çok yüksek çekme/ aşınma dayanımı ve düşük dielektrik sabiti şeklinde sıralayabiliriz [25,52].

UHMWPE, tekstil, madencilik, kimya endüstrisi, paketlenme, makine, bina, elektrik, tıbbi bakım, spor ve diğer alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok mükemmel özelliğinin yanı sıra, bazı dezavantajları da mevcuttur. Örneğin, düşük yüzey sertliği, kuvvet ve sertlik, zayıf sürünme direnci, zayıf akışkanlık davranışı ve sonuç olarak işleme zorluğu [52].

Aramid liflerine benzer şekilde UHMWPE lifleri de düşük bir basma dayanımına sahiptir. Hatta lifler birbirlerine Van der Waals bağları ile bağlandıklarından enine dayanımları Aramid liflerinden bile daha düşüktür [25,52,53].

UHMWPE Yüksek darbe dayanımları, kimyasal dirençleri ve çok düşük yoğunlukları nedeniyle giyilebilir zırhların üretiminde tercih edilmektedir. Maliyet olarak Aramid liflerinden daha yüksek bir fiyatlandırmaya sahip olmalarına rağmen, düşük yoğunlukları ve yüksek dayanımları nedeniyle daha çok tercih edilirler. En bilinen UHMWPE liflerini Dyneema ve Spectra olarak sıralayabiliriz [25,52,53].

Çizelge 3.12 Yüksek Molekül Ağırlıklı Polietilen liflerinin mekanik özellikleri [25]

Lif Türü	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Çekme Modülü (Gpa)
Dyneema SK60	0.97	2620	87
Spectra 900	0.97	2080-2400	86-103
Spectra 1000	0.97	2740-3000	128-171

BÖLÜM 4

POLİÜRE KAPLAMA

Uygulanan çekme kuvvetle beraber yüksek oranlarda uzamalar gösterebilen, kuvvet etkisi sona erdiğinde tekrar eski haline geri dönebilen, çapraz bağlara sahip kağıucuğumsu yapılara elastomer adı verilmektedir. Elastomerler kendi uzunluklarının en az 2 katı kadar uzayabilmektedirler ve bu özelliklerini sahip oldukları polimer zincirlerinin arasındaki çapraz bağların düşük yoğunluğundan ve düzensiz yapılarından almaktadırlar. Elastomerik kaplamalar, stratejik uygulamalar için, özellikle de patlama azaltma ve balistik koruma için mükemmel bir güçlendirme malzemesi olarak savunulmaktadır [15,57].

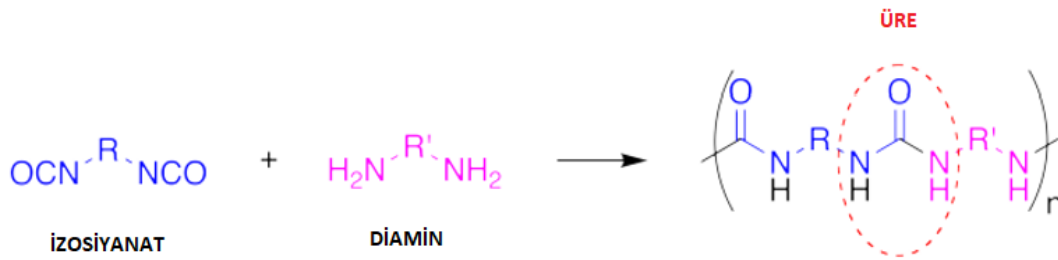
Bir elastomer çeşidi olan poliüre, iki bileşenin (izosiyanat ve poliamin) reaksiyonunun bir sonucu olarak oluşmaktadır. Bu iki bileşenin 1:1 oranda birleştirilmesi yüksek sıcaklık ve yüksek basınç koşullarında gerçekleşmektedir [55-59, 63].

Poliüre uygulaması için yüksek basınçlı ısıtma tertibatı bulunan makineler kullanılmaktadır. Makinelerde yüksek basınca ve sıcaklığa dayanıklı hortumlar, hortumların ucunda ise poliüre bileşenlerinin karıştırılarak püskürtüldüğü bir tabanca bulunmaktadır. Ayrıca tabancaya kadar giden hortumda da ısıtma düzeneği bulunması, reaksiyonun kısa sürede gerçekleşip poliürenin kürleşebilmesi sebebiyle zorunludur. Poliüreği oluşturan izosiyanat ve diamin bileşeni tabancanın ucuna kadar 80-90°C' de ve ortama 120 bar basınçta gelmektedir. Burada birbirine 1:1 oranında (hacimce) karıştırılıp püskürtülerek uygulanmaktadır [54].

Poliüre yapısı içerisinde sert ve yumuşak alan olarak 2 farklı oluşum barındırır. Yumuşak alanlar, içerisinde rasgele dağılan sert alanlara sahiptir ve her alan kendi karakteristik camsı geçiş sıcaklığını sergileyerek heterojen bir yapı oluşturur. Seksenlerin sonlarında ticarileştirilen ve nispeten yeni sayılan poliüre kaplamalar su yalıtımı, korozyon önleyici, enerji absorblayıcı, balistik koruyucu gibi pek çok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda enerji absorblayıcı özelliği ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır [1-8, 55,56].

4.1 Poliürenin Tanımı

Poliüre bir izosiyanat (-NCO) bileşeninin ve bir poliaminin (iki veya daha fazla birincil amino grubuna -NH₂ sahip) 1'e 1 reaksiyonundan türetilmiştir ve ilk olarak 1989 yılında Texaco Chemical Company tarafından piyasalara tanıtılmıştır [55,56].



Şekil 4.1 Poliürenin sentez reaksiyonu [59]

Poliüre, viskoelastik yapısı nedeniyle oldukça elastik bir doğaya sahiptir. Bu özelliğinin yanında yüksek dayanımı ve su geçirmezliği nedeniyle özellikle boru hattı kaplamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca literatürde yapılan son araştırmalarda, poliürenin darbe dayanımının önemli ölçüde yüksek olduğu ve destek katmanı olarak zırh yapılarında kullanılabileceği vurgulanmıştır [54,56].

Poliüre sprey kaplamaları, sıfırın altındaki sıcaklıklarda bile (aminlerle izosiyanatların yüksek reaktivitesine rağmen) hızlı kürleşirler ve yüksek sertlik, esneklik, yırtılma mukavemeti, çekme dayanımı, kimyasal ve su direnci gibi istisnai fiziksel özelliklere sahiptirler. Reaksiyon çok kısa sürede ve hızlı bir biçimde gerçekleşmektedir, bu da reaksiyonun ortam koşullarından ve nemden büyük ölçüde bağımsız olarak ilerlemesini

ve poliürenin farklı koşullar altında da uygulanmasının kolaylaşmasını sağlamaktadır [15,62,63].

Bu tez çalışmasında, poliüre kaplamanın sahip olduğu özellikler ve darbe sönümleme kabiliyeti araştırılmış, farklı metal türlerine poliüre kaplama yapılarak oluşturulan zırh sistemlerinin darbe dayanımları incelenmiştir.

4.2 Poliürenin Özellikleri

Poliüreden genel olarak bahsedecek olursak; elastomerik polimerler sınıfına dahildir ve kaplama, su yalıtımı, korozyon önleyici, enerji absorblayıcı, balistik koruyucu gibi pek çok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Sprey kaplama endüstrisinin ilerlemesiyle, bir yapının mekanik mukavemetini ve dayanıklılığını arttırmak için yapısal bileşenlere poliüre spre kaplama uygulanabilmektedir [54].

Poliüre kaplama biçiminde 1980'den itibaren kullanılmasına karşın, elastomerik ürean sistemlerinin 1970'li yıllarda ortaya çıktığı bilinmektedir. Poliüre yalnızca kaplama malzemesi olarak değil, boyalarda bağlayıcı(reçine) biçiminde de kullanılmaktadır [54].

Bir amin ve bir izosiyanat grubunun polimerizasyonu sonucu oluşan poliüre, kullanılan izosinayat ve aminlerin kimyasal yapılarının farklı fonksiyonel gruplar eklenerek değiştirilebilmesiyle çeşitli kimyasal ve fiziksel özellikler kazandırılarak sentezlenebilmektedir [54,55-59].

4.2.1 Poliürenin Kimyasal Özellikleri

Poliüre, moleküllerini 3 boyutlu bir ağ oluşturmak için bağlayan güçlü primer C=O bağların sahip, çapraz bağlı elastomer yapıda bir polimerdir. Çapraz bağlar yapıdaki zincirleri birbirine çeker ve bu da poliürenin yoğunluğunu artırır. Poliürenin yoğunluğunun oda sıcaklığında (20°C'de) ortalama 1,02 g/cm³ aralığında olduğu rapor edilmektedir [59,60].

Poliüre, sert ve yumuşak faz adı verilen 2 farklı fazdan oluşmaktadır. Bu fazlardan sert kısım, katı kristal yapıya sahip polimer fazdır. Sert kısım polimere mukavemet ve çapraz bağ özelliklerini vermektedir. Yumuşak kısım ise düşük bir T_g (camsı geçiş sıcaklığı)'ye sahiptir ve malzemeye esneklik kazandırmaktadır. Poliüre, yumuşak alanlara rastgele

dağılmış sert alanlara sahiptir ve her bir alan kendi karakteristik camsı geçiş sıcaklığını sergileyen mikro yapı ile heterojen bir manzara oluşturmaktadır [15,58].



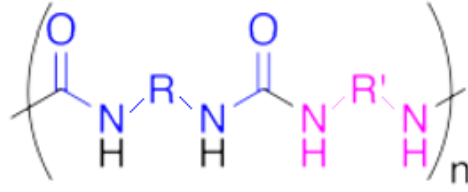
Şekil 4.2 Poliürenin kimyasal yapısı [15,58]

Poliüre kimyasal özelliklerine nedeniyle yumuşak kauçuktan sert plastiğe kadar çok çeşitli mekanik özellikler sergileyebilir. Çizelge 4.1’de poliürenin sahip olduğu mekanik özellikler verilmiştir [60].

Çizelge 4.1 Poliürenin kimyasal özellikleri [60]

Özellik	Değer
pH değeri	8-10 (20°C)
Katılaşma Sıcaklığı	<0°C
Kaynama Noktası	306°C
Tutuşma Sıcaklığı	> 250°C
Buhar Basıncı	<10 mbar (20°C)
Yoğunluk	1,02 g/cm ³ (20°C)

Poliüre, oda sıcaklığında oldukça elastik ve esnektir ayrıca aşınmaya, darbelere ve hava koşullarına karşı da dayanıklıdır. Poliürenin camsı geçiş sıcaklığı (T_g), -50°C'nin altındadır ve poliüre camsı geçiş sıcaklığının üzerinde elastik bir davranışa sahiptir. Bu da poliürenin darbe sönümleme kabiliyetine katkı sağlamaktadır [56].



Şekil 4.3 Poliürenin yapısı [60]

Poliüre ısıya dayanıklı bir malzeme olduğundan, geniş sıcaklık aralıkları gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. Poliürenin oda sıcaklığında ve oda sıcaklığından düşük sıcaklıklarda bile kürleşebilme özelliği ve yoğun moleküler etkileşimi sayesinde gösterdiği mekanik özellikler en önemli avantajlarından biridir. Önemli özelliklerinden bir diğeri de sentezlenme reaksiyonu sonrası dışarıya herhangi bir gaz salınımı gerçekleştirmemesi ve yan ürün olarak yalnızca su açığa çıkarmasıdır [54].

4.2.2 Poliürenin Fiziksel Özellikleri

Poliürenin fiziksel mukavemet değerleri diğer polimer esaslı zırhlara kıyasla daha düşüktür. Ancak yüksek uzama kapasitesinin, patlama ve balistik gibi yüksek gerilme oranlı itici yüklere karşı korunmada en önemli faktörlerden biri olduğu göz önünde bulundurulduğunda, poliürenin balistik uygulamalarda iyi bir performans sergileyebileceği açıkça görülmektedir [55,56].

Çizelge 4.2 Poliürenin fiziksel özellikleri [54,55]

Özellik	Değer
% Uzama	425
Kopma Mukavemeti (MPa)	21
Çekme Mukavemeti (MPa)	31
Sertlik (Shore A) ¹	92-95

¹ Shore sertlik değeri, plastik malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılır, Shore-A yöntemi kullanılarak; genel itibari ile elastomer, vinil, kauçuk, lastik, deri, pvc, silikon kauçuk, teflon, neopren gibi yumuşak malzemelerin sertliği ölçülmektedir [61].

Çoğu durumlarda poliüre, %100 ya da daha fazla uzama sergilemektedir. Ayrıca uygulama kolaylığı da en önemli avantajlarından birisidir. Yaklaşık olarak 5-15 saniye gibi kısa bir sürede kürleşip katılaşabilen poliüre, yüzeylere iyi bağlanma özelliğine de sahiptir. Reaksiyonunun bu kadar hızlı gerçekleşmesi, kaplamanın ortamdaki nemden ve sıcaklıktan etkilenmemesini sağlamaktadır. Böylece poliüre kaplama, hemen hemen her yüzeye, her türlü koşulda uygulanabilmektedir [55,56].

Poliüre, yapı elemanlarının yüzeyine püskürtülerek, fırçalanarak veya çubukla kaplanarak kolayca uygulanabilir. Bunlara ek olarak poliüre, hafiflikleri yangına ve aşınmaya karşı dirençli yapıları, beton duvarlar, metal ya da kereste gibi birçok substratla yapışma yeteneği sayesinde endüstride tüneller, köprüler, çatılar, park yerleri, depolama tankları, yük gemileri, kamyon kasaları gibi pek çok farklı yüzeyi kaplamada kullanılmaktadır [54,55,56].

4.3 Poliüre Kaplamanın Kullanım alanları

Poliüre kaplama on yıldan uzun bir süredir ticari olarak kullanılmaktadır. Üstün fiziksel özellikleri (yüksek dayanıklılık, kimyasal ve biyolojik faktörlere karşı yüksek direnç) nedeniyle inşaat alanından yeni mühendislik projelerinin gerçekleştirilmesine kadar pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. En yaygın kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır;

- Tünel, köprü, çatı, park yeri, depolama tankı gibi çeşitli yapı uygulamalarında, sert ve aşınmaya dayanıklı, korozyona dayanıklı, uzun ömürlü ve darbelere dayanıklı (epoksi / kauçuk değiştirme) püskürtmeli kaplama uygulamalarında, yük gemileri ve kamyon kasalarında,
- Havuzlar, yağmur suları olukları, su depolarında sızdırmazlık amaçlı,
- Otopark zeminlerinin yangından korunması, ani frenlere ve aşırı hıza karşı zemin kayganlığının giderilmesi amaçlı,
- Eski ve yeni beton yapıların, duvarların, çatıların üzerlerindeki çatlakların kapatılması ve onarımı amaçlı,
- Askeri araçlarda yangına dayanıklı yapıların oluşturulması, darbe ve balistik koruyucu panellerin oluşturulmasında,

- Petrokimya endüstrisinde kullanılan Çelik borular ve tankların ağır kimyasallara, korozyon ortamlara karşı korumada kullanılmaktadır [54,62,63].

Poliüre, tıpkı diğer yapı malzemeleri gibi güçlü/zayıf yönleri sahiptir. Bu güçlü ve zayıf yönlerin sağladığı avantajlara bağlı olarak yapı sektöründe giderek yükselen bir popüleriteye sahiptir. İki bileşenli poliüre kaplama sisteminin avantajları ve dezavantajları çizelge 4.3'te verilmiştir [54,63].

Çizelge 4.3 Poliüre uygulamasının avantajları ve dezavantajları [63]

Avantajları	Dezavantajları
Suya ve neme karşı dayanıklılık UV radyasyonu gibi agresif atmosferik faktörlere karşı yüksek direnç Mekanik hasarlara karşı yüksek direnç Mükemmel mekanik ve dayanıklılık parametreleri Malzemenin çok yüksek esnekliği Tamamen sızdırmaz kaplama Her yüzeye uygulama kolaylığı Her türlü malzemeye çok iyi yapışma Çok yüksek kimyasal ve biyolojik direnç Ani sıcaklık değişimlerine karşı yüksek direnç.	Uygulama yüksek fiyatlı bir ekipman (yüksek sıcaklık ve basınç üreten bir makine seti) kullanılmasını gerektirir. Uygulama için yüzey uygun şekilde hazırlanmalıdır Püskürtmeden önce yüzey ıslak olmamalıdır Püskürtme sırasında atmosferik koşullar belirtilen şartlara uygun olmalıdır Kaplamanın kalitesi büyük ölçüde yüzeyin hazırlanmasına ve personel eğitimine bağlıdır

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Malzeme Özellikleri

Bu tez çalışmasında poliüre kaplı metal levhaların darbe dayanımları incelenmiştir. Bu amaçla, 4mm sabit kalınlıkta ve 25x25cm boyutlardaki Al-5083, P-316 ve DKP sac metal levhalara 2,3,4 mm kalınlıklarda poliüre kaplama uygulanmış, kaplamalı ve kaplamasız levhalara çekme testi ve ağırlık düşürme testi yapılmıştır. Levhalarda absorplanan enerji hesaplanmış, levha gruplarının yüzeylerinde oluşan çöküntüler ölçülmüş, kaplama kalınlığının ve metal türünün darbe dayanımına etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Kuvvet-Zaman, Enerji-Zaman, Yer değiştirme-Zaman grafikleri halinde sunulmuştur.

Literatür araştırması ile belirlenen metal levha çeşitleri 25cmx25cm kare boyutlarda, 4mm kalınlıkta alüminyum 5083 serisi, paslanmaz çelik 316 serisi ve DKP sac levha olarak, Özcan Paslanmaz Tic. Ltd. Şti tarafından temin edilmiştir. Levhaların kimyasal bileşimleri aşağıdaki gibidir;

Çizelge 5.1 P-316 Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşimi								
Malzeme	C	Cr	Ni	Mo	Mn	P	Si	S
P-316	0.08 max 0 min	18 max 10 min	14 max 10 min	3.0 max 2.0 min	2.0	0.045	1.0	0.030

Çizelge 5.2 Al-5083 Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşimi								
Malzeme	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti
Al-5083	0.40	0.40	0.10	1.0 max 0.40 min	4.9 max 4.0 min	0.25	0.25 max 0.05 min	0.15

Çizelge 5.3 DKP Kimyasal Bileşimi

Kimyasal Bileşimi								
Malzeme	C	Cr	Ni	Mo	Mn	P	Si	S
DKP	0.08 max 0 min	18 max 10 min	14 max 10 min	3.0 max 2.0 min	2.0	0.045	1.0	0.030

5.2 Astar Uygulaması

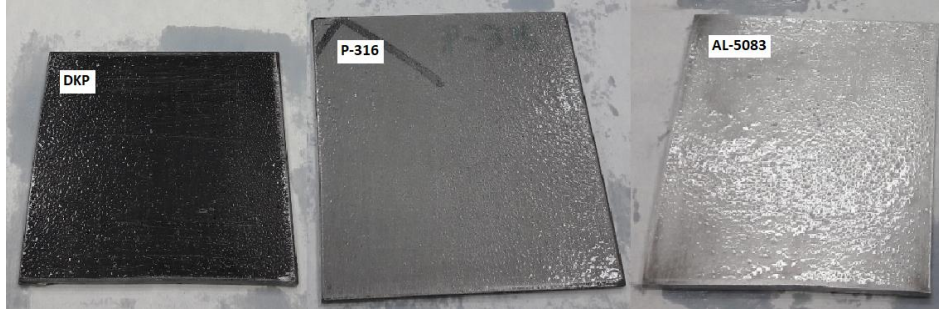
Kaplama öncesi levha yüzeylerinin yağ, toz ve kirden arındırılması amacıyla Sigma Aldrich marka %98 safıkta aseton kullanılarak yüzeyler temizlenmiştir. Temizlenen yüzeyler astarın daha iyi oturması için bir zımpara yardımıyla aşındırılmıştır.



Şekil 5.1 Kaplama öncesi metal levhalar

Pek çok kaplama uygulaması öncesi her çeşit metal, ahşap ya da beton malzemelerin yüzeylerindeki boşlukların doldurulması, yüzeyden gelebilecek nemin engellenmesi, kaplama malzemesinin yüzeye tam oturması amacıyla kaplama yapılacak yüzeylere astar uygulanmaktadır. Bu nedenle poliüre kaplama uygulaması öncesi de metal yüzeylere astar uygulanmıştır. Astar uygulaması sonrası yüzeylerin iyice kuruması ve astarın yüzeye

tam olarak oturması için levhalar 1 gün oda sıcaklığında bekletilmiştir. Duayen Yapı kimyasalları tarafından temin edilen astar iki bileşenden oluşmaktadır. A bileşeni epoksi reçineden, B bileşeni ise amin bazlı epoksi sertleştiriciden oluşmaktadır. A bileşeni ile B bileşeni sırası ile 2/1 oranda karıştırılarak levha yüzeylerine sünger bir fırça ile uygulanmış ve kuruması için 1 gün beklenmiştir. Astarın kuruması için ortam sıcaklığı yeterlidir. Astarın kurumasının ardından kaplama uygulaması yapılmıştır.

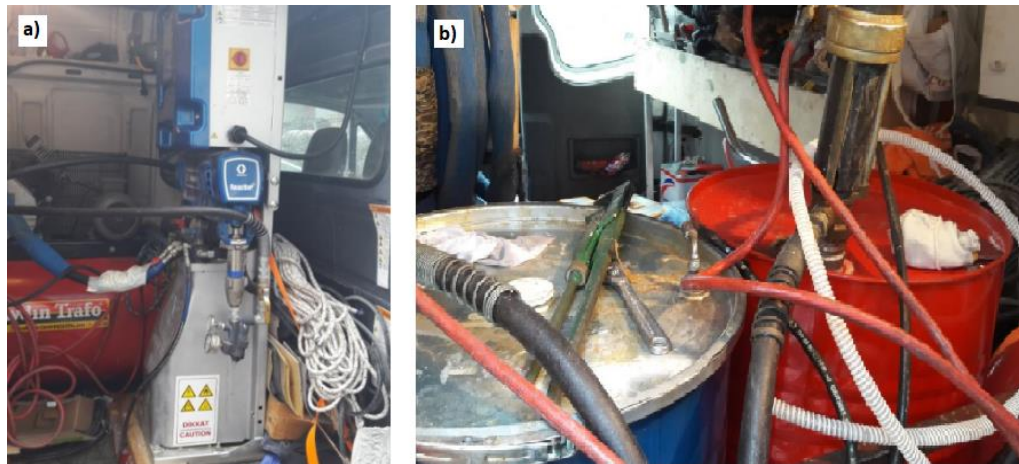


Şekil 5.2 Astar uygulaması sonrası levhalar

Astar, levhaların 2 yüzeyine de uygulanmıştır. Poliüre kaplama uygulaması ise levhaların yalnızca bir yüzeyine yapılmıştır.

5.3 Kaplama Uygulaması

Poliüre uygulaması için yüksek basınçlı ısıtma tertibatı bulunan makineler kullanılmaktadır. Makinelerde yüksek basınca ve sıcaklığa dayanıklı hortumlar ve hortumların ucunda ise poliüre bileşenlerinin karıştırılarak püskürtüldüğü bir tabanca bulunmaktadır.



Şekil 5.3 Poliüre uygulama sistemi a) basınçlı ısıtma tertibatı; b) poliüre bileşenleri

Ayrıca tabancaya kadar giden hortumda da ısıtma düzeneği bulunmaktadır. Reaksiyonun kısa sürede gerçekleşip poliürenin kürleşebilmesi sebebiyle uygulama hortumunda da ısıtma düzeneği bulunması zorunludur.



Şekil 5.4 Poliüre kaplama uygulaması

Poliüreyi oluşturan izosiyanat ve diamin bileşenleri tabancanın ucuna 80-90°C' de ve ortalama 120 bar basınçta gelmektedir. Burada birbirine 1:1 oranında (hacimce) karışıp sprey olarak uygulama yüzeyine püskürtülmektedir. Poliüre kaplama levhaların tek yüzeyine 2,3,4 mm olarak uygulanmıştır.



Şekil 5.5 Kaplama uygulaması sonrası levhalar

Kaplama uygulaması sonrası ölçülen ortalama kalınlıklar aşağıdaki gibidir;

Çizelge 5.4 Uygulama sonrası toplam levha kalınlıkları

Kaplama Kalınlığı (mm)	DKP	P-316	AL-5083
0	4,26	3,89	4,04
	4,00	3,99	4,02
	4,02	3,92	4,06
	4,23	3,98	4,12
ORT	4,12	3,92	4,06
2	6,85	6,05	6,83
	7,17	6,52	6,43
	7,41	6,15	6,39
	7,38	5,75	6,12
ORT	7,20	6,11	6,44
3	7,27	6,53	6,51
	7,15	6,83	6,45
	7,64	7,02	7,01
	7,55	7,45	7,03
ORT	7,40	6,95	6,75
4	7,96	6,66	7,70
	7,26	7,43	6,88
	8,20	7,21	7,10
	7,71	7,60	7,45
ORT	7,78	7,22	7,28

5.4 Mekanik Testler

Levhalar kaplama uygulaması sonrası Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında çekme deneyine ve Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik ve Araştırma Merkezi'nde ağırlık düşürme darbe testine tabi tutulmuştur.

5.4.1 Çekme Deneyi

Çekme deneyi Yıldız Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında BESMAK BMT-E 318 marka metalik çekme cihazında oda sıcaklığında 5mm/dk hızla yapılmıştır. Numuneler 30x250 mm ölçülerinde kesilmiş ve çekme numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 5.6'da verilmiştir. Hem kaplamalı hem de kaplamasız levhalara çekme deneyi uygulanmıştır. Kaplamasız levhalar ile kaplamalı levhaların çekme dayanımları kıyaslanmış, kaplama kalınlığının levhaların çekme dayanımına etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.6 Çekme deneyi cihazı ve deney için hazırlanan numuneler

Çekme deneyleri, bir malzemenin yük altındaki plastik ve elastik davranışlarını incelemek amacıyla yapılmaktadır. Deney verileri ile malzemelerin mekanik özellikleri belirlenir ve malzemeler sahip oldukları mekanik özelliklere göre sınıflandırılır. Çekme deneyinden elde edilen veriler, uygulamaya göre malzeme seçimi amacıyla kullanılmaktadır. Metal malzemelerin çoğu mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, belirli standartlarda çekme deneyine tabi tutulmaktadır [66].

Deney sonrası çekme-akma mukavemetleri, birim şekil değiştirme, elastisite modülü ve malzemenin sünekliği gibi pek çok farklı parametreler ile malzemeler hakkında bilgi edinilmektedir. Özellikle çekme dayanımı ve süneklik, malzemenin balistik uygulamalar için değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Çekme dayanımı, bir malzemenin kopma ya da kırılma olayına kadar dayanabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanmaktadır. Süneklik ise, uygulanan kuvvet doğrultusunda malzemenin esneyebilme kabiliyetidir [66].

5.4.2 Ağırlık Düşürme Darbe Testi

Çekme deneyinin ardından kaplamalı ve kaplamasız levhalar ve Hitit Üniversitesi Bilimsel Teknik ve Araştırma Merkezi'nde ağırlık düşürme darbe testine tabi tutulmuştur. Darbe testi için levhalar 12.5x12.5 cm boyutlarında kesilmiş ve numuneler hazırlanmıştır. Deney oda sıcaklığında, Instron Ceast 9350 marka hızlı darbe test cihazı ile yapılmıştır.

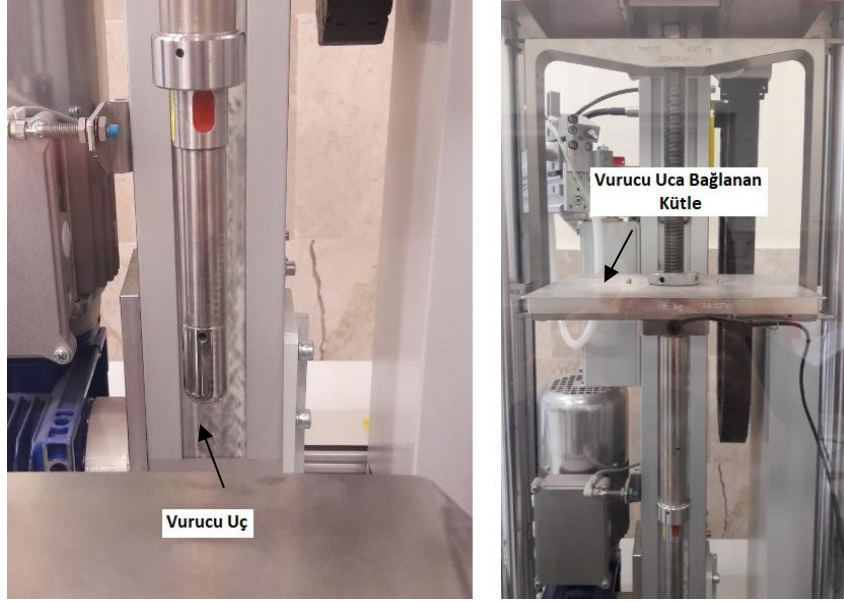
Ağırlık düşürme darbe test düzeneği, düşük hızlı çarpma etkilerinin incelenmesi için kullanılmaktadır. Vurucu bir uç belirlenen yükseklikten, belirlenen ağırlığa sahip bir yük ile beraber numune üzerine bırakılıp, sahip olduğu enerjiyi numuneye aktarmaktadır.



Şekil 5.7 Ağırlık düşürme test cihazı

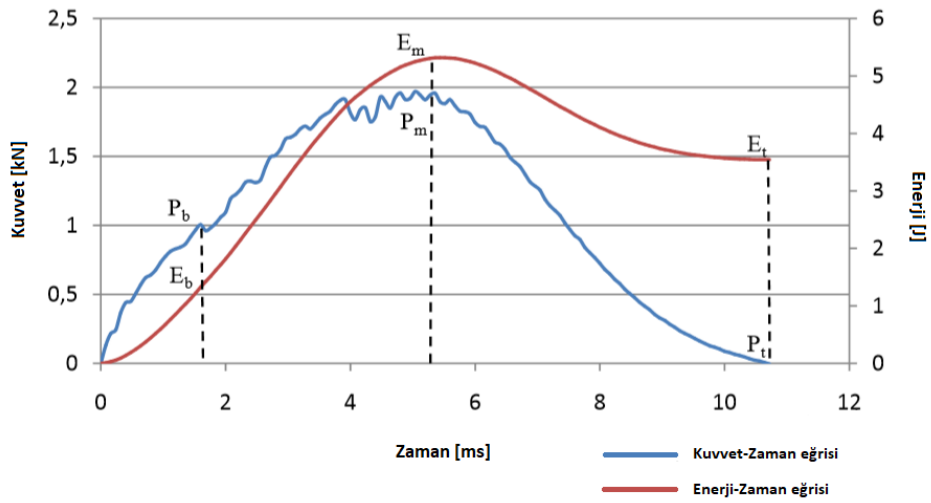
Minimum sürtünme kuvveti için vurucu uçlar, yüzeyleri pürüzsüzleştirilmiş çelik çubuklardan üretilmektedir. Ayrıca test cihazları, düşen ucun sekerek tekrar yüzeye çarpmasını engelleyen mekanizmaya da sahiptir.

Vurucunun numuneye çarpma anındaki hızı, cihazda bulunan hız sensörleri ile hassas bir biçimde ölçülmektedir. Böylece başlangıç hız değeri, kinematik denklemlerde kullanılmak için belirlenmiş olur. Bu denklemler kullanılarak darbe etkisine ait enerji-zaman, kuvvet-zaman, yer değiştirme-zaman grafikleri elde edilebilir, grafikler yardımıyla numunenin absorbe ettiği enerji hesaplanabilir [64,65].



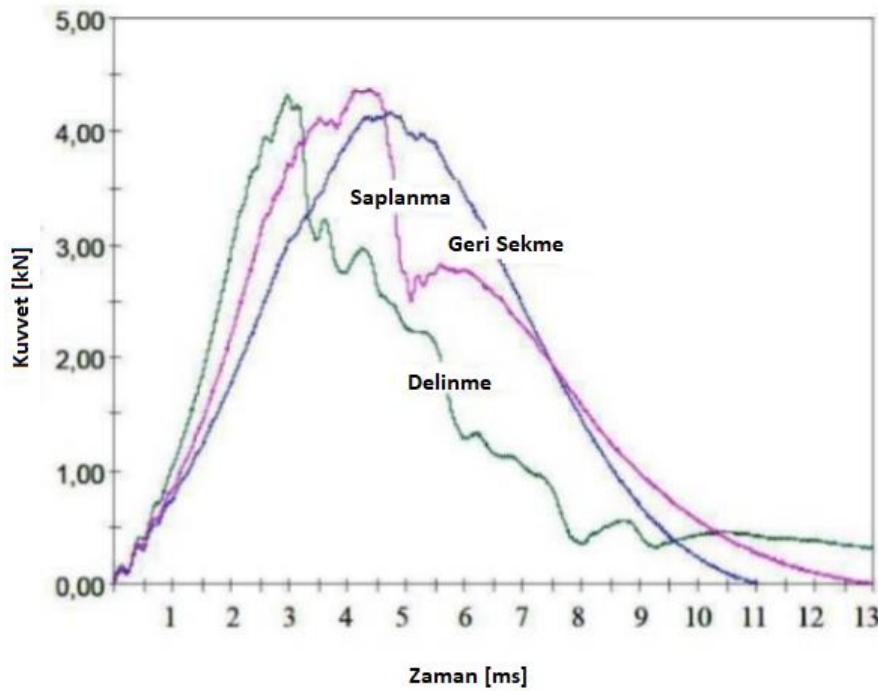
Şekil 5.8 Darbe test cihazının içten görünüşü

Darbe deneyi sonrası elde edilen Kuvvet-zaman, Enerji-zaman, kuvvet-çökme grafikleri yardımıyla, absorplanan toplam enerji de dahil olmak üzere numunenin darbe altındaki davranışı hakkında bilgi edinilmektedir. Edinilen bilgileri sıralayacak olursak; darbe hız ve enerjisi, hasar başlangıcındaki enerji (E_b), absorplanan toplam enerji (E_t), hasarın başlangıç noktasındaki kuvvet (P_b), maksimum kuvvet (P_m), toplam kuvvet noktası (P_t). P_b ve E_b , kuvvet-zaman eğrisinin ilk bölümündeki ilk önemli hasar olarak tanımlanmaktadır [65]. Elde edilen bilgiler Şekil 5.9’da grafik üzerinde görülmektedir [65].



Şekil 5.9 Temsili Kuvvet-Enerji-Zaman grafiği [65]

Darbe deneyi sonrası elde edilen grafikler yardımıyla numunelerin darbe davranışları hakkında bilgi edinilmektedir. Numunelerin darbe yanıtları 3 farklı durum ile incelenmektedir ve elde edilen grafikler yardımıyla bu durumlar belirlenmektedir. Bu durumları, geri sekme (darbe yüzeyinden vurucu ucun geri sekmesi), saplanma (darbe yüzeyine vurucu ucun saplanması) ve delinme (vurucu ucun darbe yüzeyini delip geçmesi) olarak sıralayabiliriz. Şekil 5.10'da temsili olarak bu 3 durumu gösteren kuvvet-zaman eğrisi verilmiştir [67].

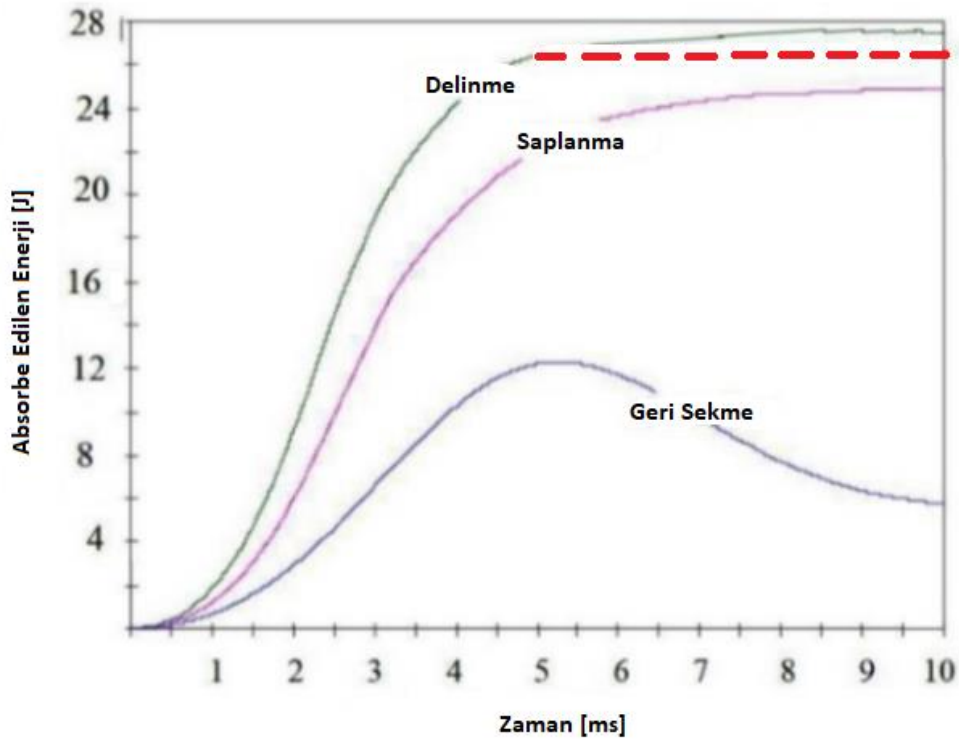


Şekil 5.10 Temsili Kuvvet-Zaman eğrisi ve darbe yanıtları [65,67]

Darbe enerjisi düşük seviyede uygulandığında Şekil 5.10'daki temsili eğriden görüldüğü gibi parabolik dağ biçiminde bir eğri elde edilmekte, uygulanan darbe enerjisinin artırılmasıyla da delinme ya da saplanma gözlemlenmektedir. Numunenin delindiği durumlarda, vurucu ve numune arasında gerçekleşen sürtünme kuvveti ile eğrinin devamı yatay bir biçimde seyretmektedir [65,67].

Elde edilen kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin altında kalan alanın hesaplanması ile numunelerde absorblanan enerji miktarları hesaplanabilmektedir. Bu grafiklerde de 3 durum Şekil 5.11'de gösterildiği gibi gözlemlenmektedir. Geri sekme oluşan durumlarda darbe ucu, sahip olduğu enerjinin tümünü numuneye aktaramamakta ve kalan enerjiyi geri sekmede harcamaktadır. Vurucu uç numuneye saplandığında ise Şekil 5.11'de

görüldüğü gibi eğri yatay biçimde devam etmektedir. Vurucu numuneyi deldiği zaman ise yutulan enerji Şekil 5.11’de kesikli çizgiyle belirlenen enerji miktarıdır [65,67].



Şekil 5.11 Temsili Absorbe edilen Enerji-Zaman grafiği [65,67]

Malzemelerin darbe etkilerine verdikleri yanıtlar genellikle düşük, orta ve yüksek hızda cevaplar için incelenmektedir. Düşük hızlar genelde 10 m/s'nin altındaki hızlarda gerçekleşen ağırlık düşürme etkilerini kapsamaktadır [65]. Malzemelerin düşük hızlar altındaki davranışları ile elde edilen veriler, malzemenin patlama/şarapnel etkilerine karşı dayanımı hakkında bilgi verebilir, balistik uygulamalar için elde edilen bilgilerden yararlanılabilir. Ağırlık düşürme testleri ile elde edilen veriler yardımıyla malzemenin belirlenen hızlarda ve enerjilerde absorplayacağı enerji miktarı ölçülebilir, elde edilen veriler yüksek hızlı darbe etkileri için malzeme seçiminde ön hazırlık amaçlı kullanılabilir.

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

6.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Literatür araştırması ile belirlenen Al-5083, DKP ve P-316 tipi metal levhalara çekme deneyi yapılmıştır. Hem kaplamasız hem de 2,3,4 mm poliüre kaplama ile kaplanmış levhalar çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Çekme deneyi sonrası levhaların çekme dayanımları ve %kopma uzaması miktarları kıyaslanmıştır. Kaplama uygulamasının levhaların çekme dayanımına katkıları kıyaslanmıştır. Tüm tablolar incelendiğinde, çekme dayanımlarında, kaplama uygulaması ile en yüksek artışı 4mm kaplamalı DKP sac levhalar göstermiştir. 4mm kaplama kalınlığında DKP sac levhaların çekme dayanımında %16,24 gibi bir artış gözlemlenmiştir. Al-5083 levha tiplerinde, poliüre kaplama uygulaması ile levhaların çekme dayanımlarında doğrusal bir artış gözlemlenememiştir. P-316 çelik levha tiplerinde ise kaplama kalınlıklarının artışı ile levhaların çekme dayanımında %1'e yakın doğrusal artışlar gözlemlenmiştir. En yüksek kopma uzaması değerini P-316 levha tipi tasarımlar göstermiştir. Çekme dayanımı da diğer levhalara göre daha yüksek olan P-316 tipi levhaların, çekme dayanımlarında kaplama kalınlığının artışı ile yalnızca %1'lik artışlar gözlemlenebilmiştir.

Deney esnasında, bazı levha gruplarında poliüre kaplamanın levha yüzeylerinin çenelerle sabitlenen bölgelerinden ayrılmaya başladığı gözlemlenmiştir. Özellikle kaplamalı Al-5083 tipi levhalarda, çekme dayanımının kaplamasız levhalara göre düşüş göstermesinin sebebinin, deney esnasında kaplamanın levha yüzeyinden ayrılması olduğu

düşünülmektedir. Levha yüzeylerine uygulanan astarın yeterli yapışma mukavemetini sağlayamamış olması, kaplamanın levha yüzeylerinden kalkmasına neden olmuş olabilir.

6.1.1 Al-5083 Çekme Deneyi Sonuçları

Al-5083 çekme deneyi sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Uygulanan 2 mm kaplama ile levhanın çekme dayanımında yaklaşık %3’lük bir artış olduğu gözlemlenmektedir. Ancak 3 ve 4 mm’lik kaplama kalınlıklarına çekme dayanımında bir düşüş görülmektedir.

Çizelge 6.1 Al-5083 çekme deneyi sonuçları

Levha Türü	Toplam Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	% Kopma Uzunluğu	%Artış (Çekme Dayanımı)
Al-5083	4 (yalın)	390.09	299.13	8.4	-
	6 (4+2mm)	399.54	337.95	11.2	%2.42
	7 (4+3mm)	379.79	320.6	13.1	-%2.64
	8 (4+4mm)	390.72	338.27	11.1	%0.16

Deney esnasında Al-5083 kaplamalı levhalarda poliüre kaplamanın, yüzeylerin çenelerle sabitlenen bölgelerinden ayrılmaya başladığı gözlemlenmiştir. Özellikle kaplamalı Al-5083 levhalarda çekme dayanımının kaplamasız levhalara göre düşüş göstermesinin sebebinin, deney esnasında kaplamanın levha yüzeyinden ayrılması olduğu düşünülmektedir. Al-5083 levhalara uygulanan çekme deneyinde en başarılı sonucu 2mm poliüre kaplamalı levhalar göstermiştir.

6.1.2 P-316 Çekme Deneyi Sonuçları

P-316 çekme deneyi sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Poliüre kaplama uygulaması ile levhaların çekme dayanımında artış olduğu tablodan açıkça görülmektedir. Kaplama kalınlığının artması ile çekme dayanımında yaklaşık %1’lik artışlar gözlemlenmektedir. En yüksek artış oranı 4mm kaplamalı levhalarda elde edilmiştir. Artış miktarının %1 ile sınırlı kalmasının sebebinin yakın kaplama kalınlıkları olduğu düşünülmektedir. Tablo 6.2

incelendiğinde Poliüre kaplama uygulaması ile çelik levhaların çekme dayanımında doğrusal bir artış olduğu söylenebilir.

Çizelge 6.2 P-316 çekme deneyi sonuçları

Levha Türü	Toplam Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	% Kopma Uzaması	% Artış (Çekme Dayanımı)
P- 316	4 (Yalın)	588.35	322.67	49.4	-
	6 (4+2mm)	592.55	378.16	46	0.71%
	7 (4+3mm)	592.69	372.85	48.1	0.74%
	8 (4+4mm)	594.08	369.63	54.7	0.97%

6.1.3 DKP Çekme Deneyi Sonuçları

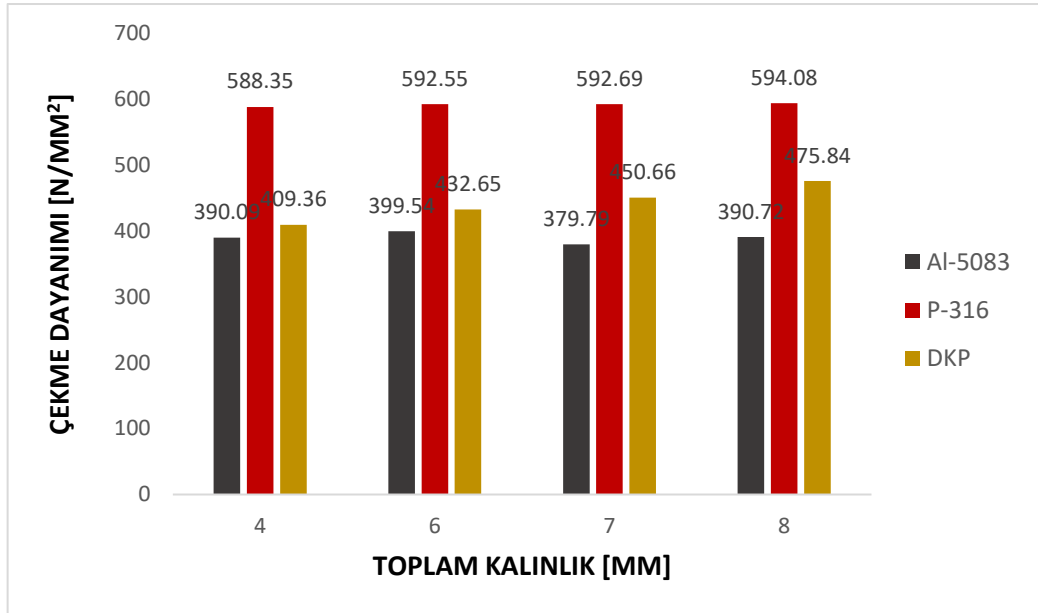
Tüm kaplamalı levha tasarımları arasında DKP sac levhalar, en yüksek çekme dayanımı artışını gösteren levha tasarımı olmuştur. Çizelge 6.3’de görüldüğü gibi, levhalara 2mm kaplama uygulaması ile %6’ya yakın çekme dayanımındaki artış, 4mm kaplama uygulamasında %16’ya kadar yükselmiştir. Kaplama uygulaması ile levhaların çekme dayanımında doğrusal bir artış gözlemlenmiştir.

Çizelge 6.3 DKP çekme deneyi sonuçları

Levha Türü	Toplam Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	% Kopma Uzaması	% Artış (Çekme Dayanımı)
DKP	4 (Yalın)	409.36	327.17	33.4	-
	6 (4+2mm)	432.65	323.49	37.8	5.69%
	7 (4+3mm)	450.66	328.41	42.8	10.09%
	8 (4+4mm)	475.84	350.39	41.1	16.24%

Dkp sac levhaların çekme deneyi sonuçları incelendiğinde, poliüre kaplamanın levhaların mekanik özelliklerine olumlu bir katkı sağladığı gözlemlenmektedir. Yüksek kopma uzaması değerleri, levhaların sünekliğine işaret etmektedir. Malzemelerin süneklik değeri, zırh tasarımlarında önemli bir yere sahiptir. Süneklik, bir malzemenin darbe

direncinin/penetrasyon direnci ve patlama enerjisini emebilme kapasitesinin bir göstergesidir [29,30]. Bu nedenle zırh tasarımlarında süneklik değeri önemli bir parametredir.



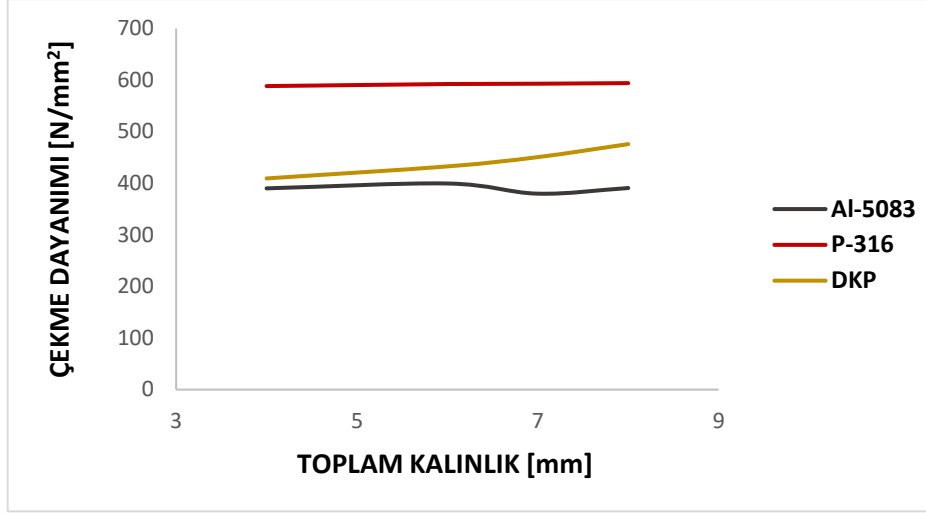
Şekil 6.1 Çekme Dayanımı-Kalınlık ilişkisi-1

Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi P-316 tipi levhalarda, kaplama uygulaması, çekme dayanımına net bir katkı sağlayamamıştır. Ancak Al-5083 ve DKP levhalarda çekme dayanımında değişimler gözlemlenmektedir.

P-316 tipi levhalar, levha grupları arasında en yüksek çekme dayanımına sahip levha tipi olmasına rağmen, kaplama uygulamasıyla çekme dayanımlarında yalnızca %1 değerinde bir artış gözlemlenebilmiştir. P-316 tipi levhalarda en başarılı levha kalınlığı 4mm olarak gözlemlenmiştir.

Al-5083 tipi levhaların, levha grupları arasında en düşük çekme dayanımına sahip levha tipi olduğu Şekil 6.1’de görülmektedir. Ayrıca 6mm kalınlıktan 7 mm kalınlığa geçerken, çekme dayanımında bir azalma olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin levhaların deney esnasında kaplama katmanından sıyrılması olduğu düşünülmektedir. Al-5083 tipi levhalarda en başarılı kaplama kalınlığı 2mm olarak gözlemlenmiştir.

DKP sac levhaların çekme dayanımı, kaplama kalınlığının artması ile doğrusal bir grafik çizmektedir. Bu durum Şekil 6.2’de daha net gözlemlenmektedir. Kplama uygulaması ile en başarılı sonuçları DKP sac tipi levhalar 4mm kalınlıkta vermiştir.



Şekil 6.2 Çekme Dayanımı-Kalınlık ilişkisi-2

Şekil 6.2 incelendiğinde, DKP ile Al-5083 tipi levhaların çekme dayanımlarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Yine de kaplama uygulamasıyla en belirgin değişimi DKP sac tipi metal levhalar göstermiştir.

6.2 Ağırlık Düşürme Testi Sonuçları

Çekme deneyi sonrası kaplamasız ve 2,3,4 mm poliüre kaplamalı Al-5083, P-316 ve DKP sac levhalar sabit 200J darbe enerjisi ve 6,08 m/s²'lik sabit başlangıç hızları altında ağırlık düşürme testine tabi tutulmuşlardır. Numuneler üzerine etkinin sabit hızda ve enerjide gerçekleşmesi için, vurucuya eklenen ağırlık ve vurucunun çıktığı yükseklik değiştirilmemiştir. 5 kg'lık yük ve vurucu kütlesiyle beraber toplam 10.295 kg'lık yük, belirli bir yükseklikten numuneler üzerine sabit bir darbe hızında (6.23m/s²) bırakılmıştır. Tüm deneyler 23⁰C'lik oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Tüm numuneler 12.5x12.5 cm kare biçiminde ve kaplamasız 4mm sabit kalınlığa sahiptir. Kaplama uygulaması ile toplam kalınlıklar ortalama 6,7 ve 8 mm olarak belirlenmiştir. Numuneler deney düzeneğine, darbeyi gerçekleştiren yarı küresel vurucu ucun, numunelerin tam merkezine etki etmesi sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, Enerji-Zaman ve Kuvvet-Zaman grafikleri olarak sunulmuş ve incelenmiştir. Deney esnasında levhaların hiçbirinde delinme gözlemlenmemiştir. Ayrıca tüm veriler levha kalınlıkları ve plaka tipleri bakımından kıyaslanmıştır.

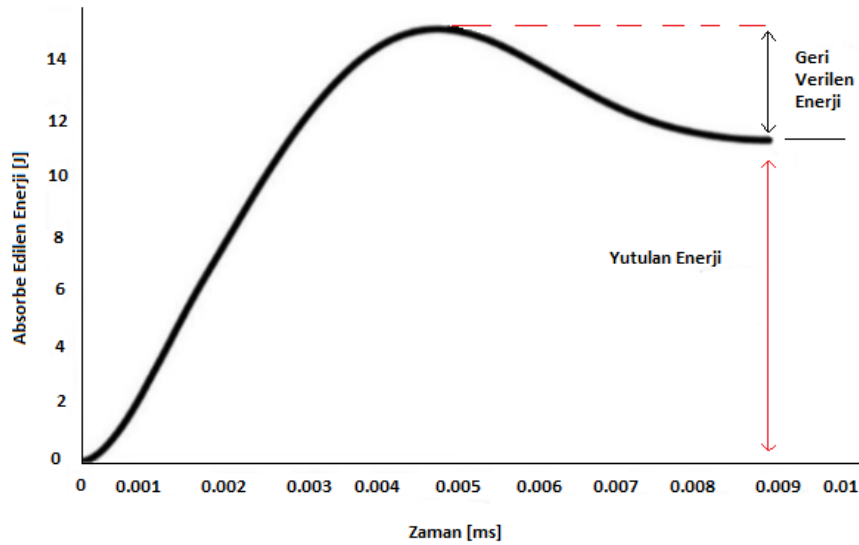
Elde edilen verilerde vurucu ucun tüm levhalardan geri sektiği ve sahip olduğu enerjinin tamamını levhalara aktaramadığı gözlemlenmektedir. Grafikler incelendiğinde, kaplamalı ve kaplamasız levhalarda en yüksek enerji absorpsiyonunun Al-5083 tipi levha konfigürasyonları ile sağlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca Poliüre kaplama kalınlığı ile levhalarda belirgin bir enerji absorpsiyonu artışı gözlemlenememiştir. Bu sonucun geri sekme kaynaklı enerji kayıpları nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

6.2.1 Kaplama Kalınlıklarının Dayanıma Etkisi

Bu bölümde kaplamasız ve 2,3,4 mm poliüre kaplama kalınlıklarına sahip Al-5083, DKP ve P-316 metal levha çeşitlerinin 200J darbe enerjisi altındaki davranışları, kaplama kalınlığının değişimi ile incelenmiş ve yorumlanmıştır.

6.2.1.1 Al-5083 Deney Sonuçları

Kaplamasız ve 2,3,4mm poliüre kaplamalı Al-5083 metal levhalara, oda sıcaklığında (23°C) ve 200J darbe enerjisinde ağırlık düşürme testi uygulanmıştır. Testler sonucu elde edilen grafiklerde Al-5083 tipi levhaların geri sekme karakterli darbe tepkisi ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

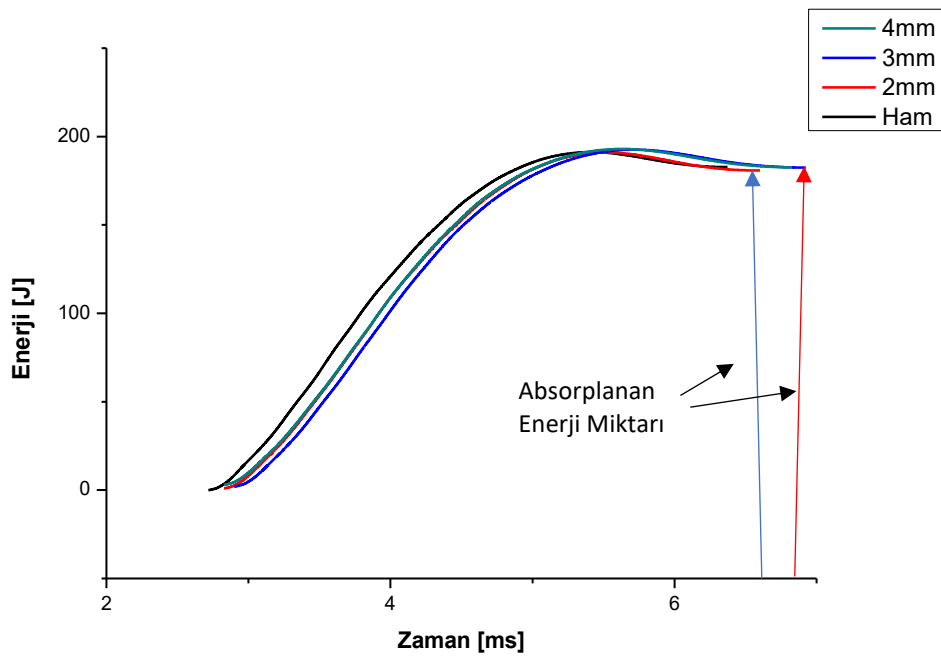


Şekil 6.3 Geri sekme karakterli Enerji-Zaman grafiği [67]

Ağırlık düşürme testlerinde uygulanan darbe enerjisi, malzemenin kalınlık ve yapısına bağlı bir eşik enerjisinin altında kaldığı durumlarda, uygulanan enerjinin tamamı absorbe

edilememekte ve vurucu uç geri sekme davranışı göstermektedir. Malzemelerin böyle etki gösterdiği durumlarda enerji-zaman grafikleri Şekil 6.3’de görüldüğü gibi dağ biçimde parabolik bir eğri çizmektedir. Bu grafikler yardımıyla yutulan maksimum enerji, darbe enerjisi ve geri sekmede kaybedilen enerji belirlenebilmektedir [20,67].

Şekil 6.3 incelendiğinde Al-5083 tipi kaplamalı ve kaplamasız levhaların geri sekme davranışı gösterdiği gözlemlenmiştir. Levhalarda kaplama kalınlıklarının değişimi ile absorbe edilen enerji miktarlarının hemen hemen aynı olduğu Şekil 6.4’de görülmektedir.



Şekil 6.4 Al-5083 kaplama kalınlıkları ile değişen Enerji-Zaman grafikleri

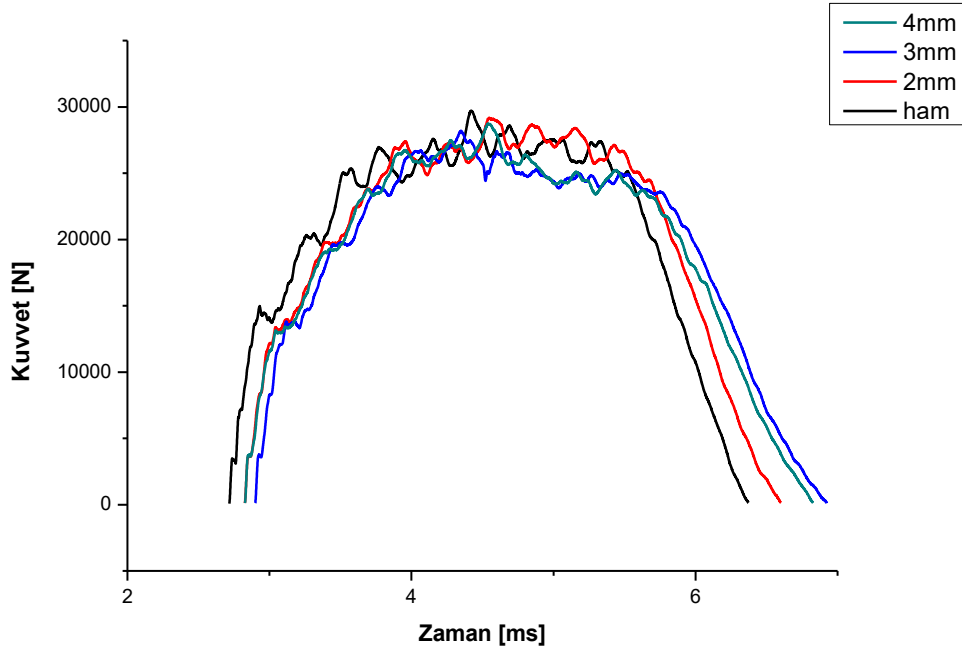
Şekil 6.4’de en yüksek ve en düşük enerji absorpsiyon miktarları gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, kaplamasız (ham) levhanın absorpladığı enerjinin 2mm kaplamalı levhaya göre daha fazla olduğu, 3mm ve 4mm kaplamalı levhaların absorpladığı enerji miktarlarının birbirine çok yakın olduğu ve kaplamasız (ham) levhadan düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu da kaplama kalınlığının artması ile absorplanan enerji miktarının neredeyse değişmediğini göstermektedir. Absorplanan enerji miktarlarının birbirine çok yakın sonuçlar verdiği Şekil 6.4’den ve çizelge 6.4’den anlaşılmaktadır. Ayrıca elde edilen veriler incelendiğinde, tüm levha konfigürasyonlarının darbe enerjisinin yaklaşık %95’ini absorpladığı görülmektedir (Çizelge 6.4).

Çizelge 6.4 Kaplama kalınlıkları ile değişen Al-5083 plakalara ait önemli veriler

Al-5083	$F_{\max}$ (N)	$E_{\max}$ (J)	E_a (J)	t_{top} (ms)
Ham	29709.142	191.206	182.719	6.372
2mm	29163.67	189.96	179.78	6.601
3mm	28188.623	190.605	180.449	6.924
4mm	28726.75	189.98	179.611	6.827

Çizelge 6.4’de verilen $F_{\max}$ darbe etkisi ile ölçülen en yüksek kuvvet değerini, $E_{\max}$ levhalara uygulanan maksimum darbe enerjisini, E_a levhalar tarafından yutulan enerji miktarını, t_{top} ise toplam darbe etki süresini ifade etmektedir. Çizelge 6.4’de de levhalara uygulanan kaplamaların kalınlık değerleri ile enerji absorpsiyonlarında gerçekleşen değişimlerin çok küçük miktarlarda olduğu görülmektedir.

Şekil 6.5’de 2,3 ve 4mm poliüre kaplama kalınlıklarına sahip levhaların, 200J darbe enerjisi altında gerçekleştirilen ağırlık düşürme testlerinde elde edilen kuvvet-zaman eğrilerine, kaplama kalınlığının etkisi gösterilmiştir.



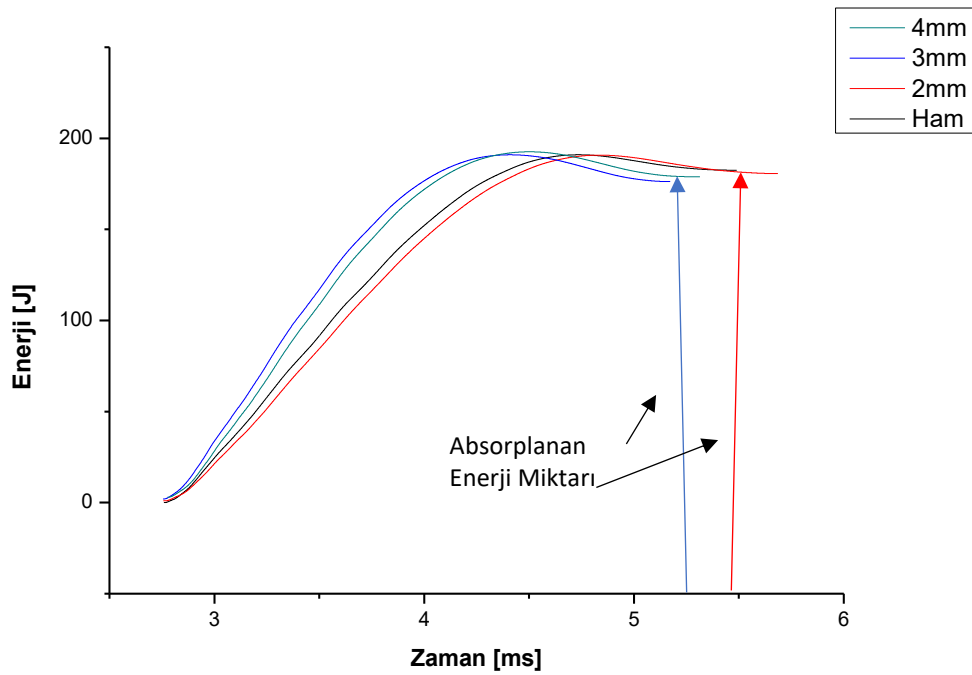
Şekil 6.5 Al-5083 levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Kuvvet-Zaman grafikleri

Eşit enerji seviyesinde yapılan deneylerde, kaplamasız ve 2mm kaplamalı levhalar için en yüksek temas kuvvetlerinin benzer olduğu, 3 ve 4mm kaplamalı levhalar için ise temas

kuvvetinin 2mm ve kaplamasız levhalara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kaplama kalınlığının artması ile darbeye maruz kalma süresinin uzadığı da grafikte görülmektedir.

6.2.1.2 DKP Deney Sonuçları

Kaplamasız ve poliüre kaplamalı DKP sac levhalara oda sıcaklığında (23°C) ve 200J darbe enerjisi altında ağırlık düşürme testi uygulanmıştır. Test sonuçları tıpkı Al-5083 levhalar gibi DKP sac levhaların da geri sekme karakterli darbe tepkisi ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6.6'da DKP sac levhaların enerji-zaman grafiğinin kaplama kalınlıkları ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.6 DKP sac levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Enerji-Zaman grafikleri

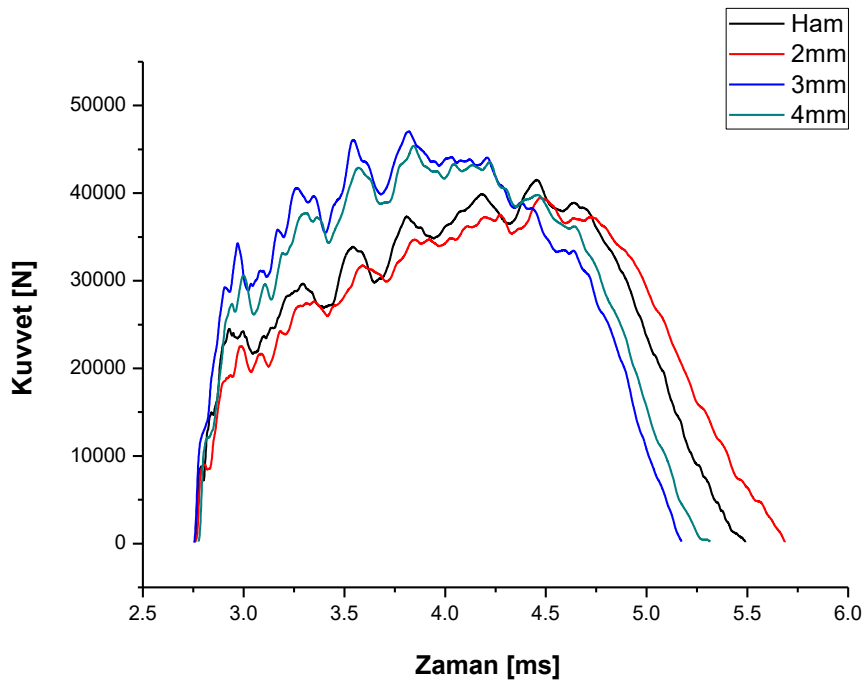
Şekil 6.6'da en düşük ve en yüksek enerji absorpsiyon değerleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde Ham ve 2mm poliüre kaplamalı levhaların enerji absorpsiyon değerlerinin çok yakın olduğu ve diğer kaplama kalınlıklarına göre yüksek olduğu gözlemlenmektedir. 2mm kaplama ile levhaların enerji absorpsiyonunda bir değişim gözlemlenmemiş, 3 ve 4 mm kaplama ile levhaların enerji absorpsiyonlarında bir miktar düşüş gözlemlenmiştir.

Ayrıca 3 ve 4 mm kaplamalı levhaların enerjiye maruz kalma sürelerinin ham ve 2mm kaplamalı levhalara göre daha kısa olduğu da grafikte görülmektedir.

Çizelge 6.5 Kaplama kalınlıkları ile değişen DKP plakalara ait önemli veriler

DKP	F_{max} (N)	E_{max} (J)	E_a (J)	t_{top} (ms)
Ham	41522.012	190.966	182.484	5.493
2mm	39467.480	189.758	179.622	5.686
3mm	47044.445	188.964	174.248	5.173
4mm	45412.584	189.617	175.887	5.315

Çizelge 6.5 incelendiğinde, en yüksek enerji absorpsiyon değerinin Ham DKP levhalar ile elde edildiği görülmektedir. Kaplama etkisi ile absorplanan enerji miktarlarında düşüşler gözlemlenmiştir. Levhalarda kaplama kalınlıklarının artması ile geri sekme için harcanan enerji miktarı da artmaktadır. Levhalarda yutulan enerjinin azalmasına geri sekme için harcanan enerjinin artmasının sebep olduğu düşünülmektedir.



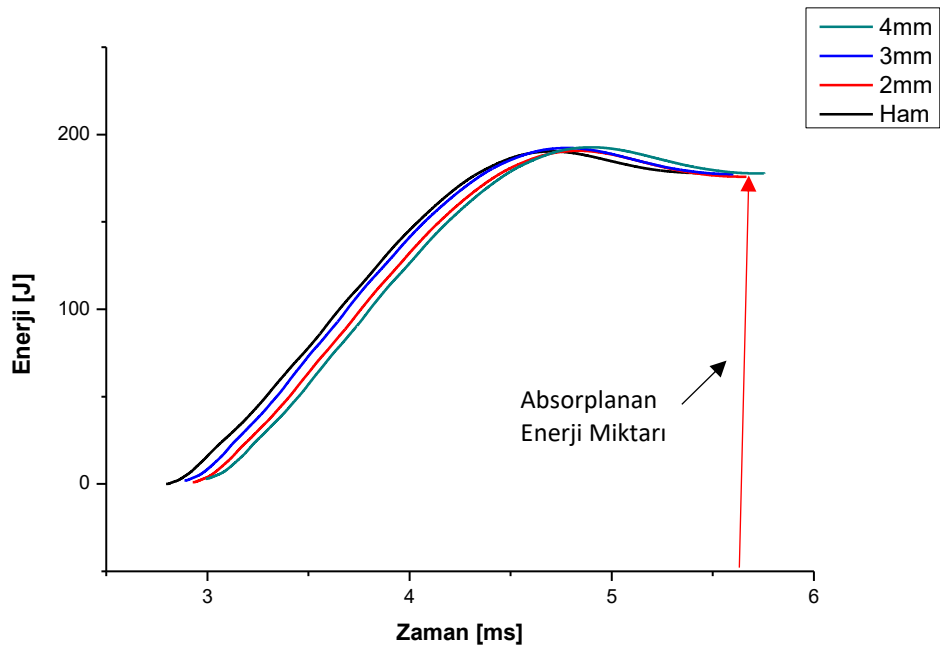
Şekil 6.7 DKP levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Kuvvet-Zaman grafikleri

Şekil 6.7'de 2,3 ve 4mm poliüre kaplama kalınlıklarına sahip levhaların, 200J darbe enerjisi altında gerçekleştirilen ağırlık düşürme testlerinden elde edilen kuvvet-zaman

eğrilerine, kaplama kalınlığının etkisi gösterilmiştir. 2 mm kaplama ile kuvvet temas süresinin arttığı, 3mm ve 4mm kaplamalar ile temas süresinin kısaldığı grafikte görülmektedir. En yüksek temas kuvveti ve en düşük enerji absorpsiyonu 3mm kaplamalı levhalarda gözlemlenmiştir. 3mm kaplamalı levhalarda, kuvvet miktarının artmasıyla absorplanan enerji miktarının düşmesinin geri sekme ile kaybedilen enerjinin yüksekliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca temas süresinin kısalığının da geri sekme davranışı kaynaklı olduğu açıkça Şekil 6.7’de görülmektedir.

6.2.1.3 P-316 Deney Sonuçları

Kaplamasız ve poliüre kaplamalı P-316 levhalara oda sıcaklığında (23°C), 200J darbe enerjisi ve sabit bir hızda ağırlık düşürme testi uygulanmıştır. Test sonuçlarında tıpkı Al-5083 ve DKP levhalarda olduğu gibi geri sekme karakterli darbe tepkisi gözlemlenmiştir. Şekil 6.8’da P-316 levhaların enerji-zaman grafiğinin kaplama kalınlıkları ile değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.8 P-316 levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Enerji-Zaman grafikleri

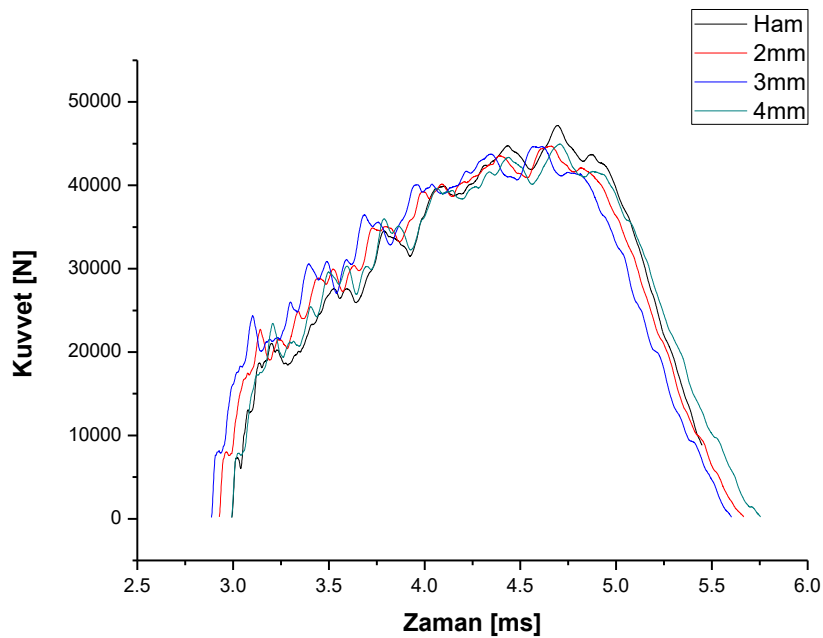
Şekil 6.8’de en yüksek enerji absorpsiyon değeri görülmektedir. Şekil incelendiğinde tüm kaplama kalınlıklarda yutulan enerji miktarlarının birbirine çok yakın değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Tüm levhaların darbe etkisine maruz kalma sürelerinin de

çok yakın olduğu grafikten görülebilmektedir. Bunun yanında en yüksek enerji absorpsiyonuna ham levhanın sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.6 Kaplama kalınlıkları ile değişen P-316 plakalara ait önemli veriler

P-316	F_{max} (N)	E_{max} (J)	E_a (J)	t_{top} (ms)
Ham	47194.492	190.349	177.932	5.448
2mm	44720.297	189.715	174.833	5.666
3mm	44668.298	190.330	175.323	5.602
4mm	44961.342	189.713	174.672	5.755

Çizelge 6.6 incelendiğinde en yüksek enerji absorpsiyon değerine ham P-316 levhaların sahip olduğu görülmektedir. 2mm kaplama ile enerji absorpsiyonunda düşüş gözlemlenmiştir. En düşük enerji absorpsiyon miktarını 4mm kaplamalı levhalar göstermiştir. Bu durum, geri sekme etkisiyle kaybedilen enerjinin sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.9 P-316 levhaların kaplama kalınlıkları ile değişen Kuvvet-Zaman grafikleri

Şekil 6.8’de 2,3 ve 4mm poliüre kaplama kalınlıklarına sahip P-316 levhaların, 200J darbe enerjisi altında gerçekleştirilen ağırlık düşürme testlerinden elde edilen kuvvet-zaman

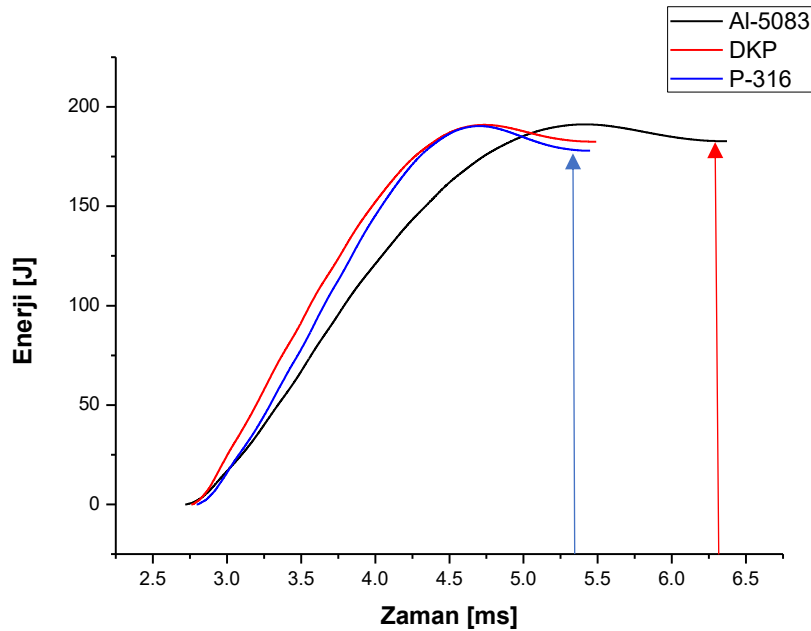
eğrilerine, kaplama kalınlığının etkisi gösterilmiştir. En yüksek temas kuvvetine ham P-316 levhaların sahip olduğu şekilde görülmektedir. En uzun temas süresi 4mm kaplamalı levhalarda görülmüştür. 2,3 ve 4mm kaplamalı levhaların temas kuvvetlerinin birbirine çok yakın olduğu ve kaplama kalınlığı ile kuvvet teması sürelerindeki değişimin de çok küçük olduğu Şekil 6.8 ve çizelge 6.6'dan gözlemlenmektedir. Ayrıca absorplanan enerji miktarlarındaki düşüşün geri sekmede harcanan enerji miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.2.2 Levha Türünün Dayanıma Etkisi

Al-5083, DKP ve P-316 kaplamasız ve poliüre kaplamalı metal levhalara, sabit hızda ve 200J'lük enerjide uygulanan ağırlık düşürme darbe testlerinin sonuçları, levha türüne göre sınıflandırılmış ve Enerji-zaman ve Kuvvet-Zaman eğrileri şeklinde incelenmiştir.

- **Enerji-Zaman Grafikleri**

Ağırlık düşürme testi sonucu elde edilen enerji-zaman grafiklerine metal levha türlerinin etkisi araştırılmıştır. Şekil 6.10'da kaplamasız levha türlerinin enerji-zaman grafiği verilmiştir.



Şekil 6.10 Kaplamasız levhaların Enerji-Zaman grafikleri

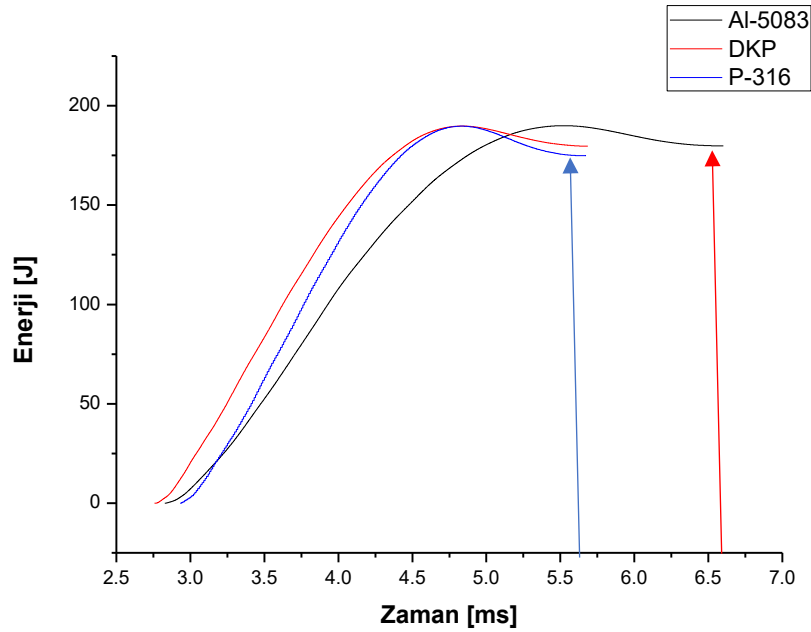
Şekil 6.10 incelendiğinde en düşük enerji absorpsiyonu değerine P-316 levha tipinin, en yüksek enerji absorpsiyonuna ise Al-5083 levha tipinin sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca grafikte DKP ve P-316 levha tiplerinin enerji absorpsiyon değerlerinin çok yakın olduğu da gözlemlenmektedir. P-316 levha tipinin geri sekmeye harcadığı enerjinin fazla olması, levhanın enerji absorpsiyonunu sınırlamış olabilir. Ayrıca grafikten en uzun darbe etki süresine Al-5083 levha tipinin sahip olduğu açıkça görülmektedir. Grafikten temas süresi arttıkça geri sekmeye harcanan enerjinin azaldığı, bunun sonucu olarak enerji absorpsiyonunun arttığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.7 Ham levha türlerine ait önemli veriler

Ham	$F_{\max}$ (N)	$E_{\max}$ (J)	E_a (J)	t_{top} (ms)
Al-5083	29709.142	191.206	182.719	6.372
P-316	47194.492	190.349	177.932	5.448
DKP	41522.012	190.966	182.484	5.493

Çizelge 6.7’de de görüldüğü gibi en uzun temas süresini ve en yüksek enerji absorpsiyonunu Al-5083 levha tipi göstermiştir. P-316 ve DKP levhalara uygulanan maksimum enerji değerleri birbirine çok yakındır.



Şekil 6.11 2mm kaplamalı levhaların Enerji-Zaman grafikleri

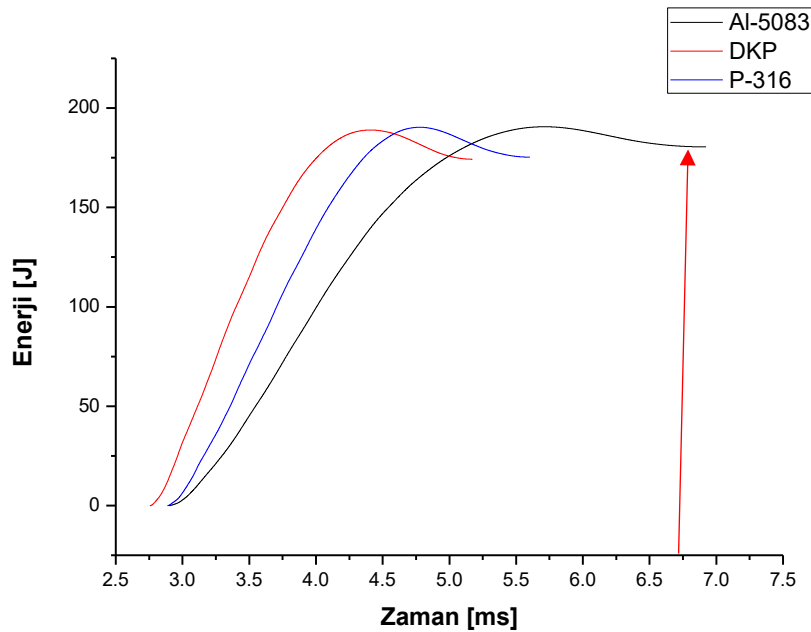
Şekil 6.11’de 2mm kaplamalı levhaların enerji-zaman grafiği, çizelge 6.8’de 2mm kaplamalı levhalara ait önemli bilgiler verilmiştir. Şekil 6.11 ve çizelge 6.8 incelendiğinde,

2mm kaplamalı levhalarda da en düşük enerji absorpsiyonu değerine P-316 levha tipinin, en yüksek enerji absorpsiyonuna da Al-5083 ve DKP levha tiplerinin sahip olduğu görülmektedir. Tüm levhalarda 2mm kaplama ile darbe kuvvetine temas süresinin uzadığı, enerji absorpsiyonlarının ise azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 6.8 2mm kaplamalı levhalara ait önemli veriler

2 mm	$F_{\max}$ (N)	$E_{\max}$ (J)	E_a (J)	t_{top} (ms)
Al-5083	29163.67	189.96	179.78	6.601
P-316	44720.297	189.715	174.833	5.666
DKP	39467.480	189.758	179.622	5.686

Şekil 6.12’de 3mm kaplamalı levhaların enerji-zaman grafikleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde Al-5083 levha tipinin darbe temas süresinin uzadığı, DKP ve P-316 tipi levhaların ise temas sürelerinin kısaldığı görülmektedir. Al-5083 ve P-316 levha tiplerinde enerji absorpsiyonu artmış, DKP levhalarda ise azalmıştır.



Şekil 6.12 3mm kaplamalı levhaların Enerji-Zaman grafikleri

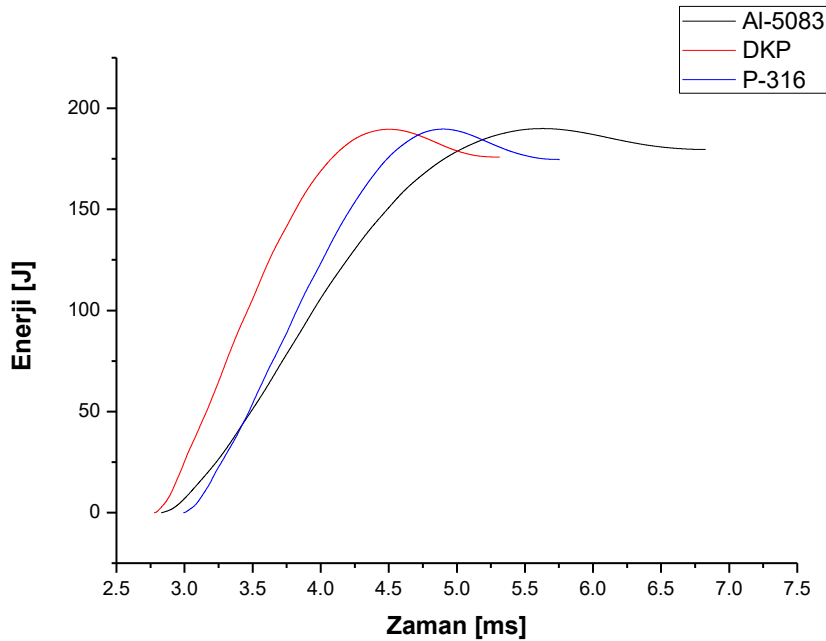
Çizelge 6.9’da 3mm kaplamalı levhaların darbe testlerine ait önemli veriler görülmektedir. Çizelge 6.9 ve Şekil 6.12 incelendiğinde, temas süresinin enerji

absorpsiyonu üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir. En yüksek temas süresine sahip Al-5083 tipi levhalar, 3mm kaplamalı levhalar arasında en çok enerji yutan levha tipi olmuştur. Al-5083 ve P-316 levha tiplerine uygulanan maksimum enerji değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, P-316 levha tipi daha az enerji absorplamıştır. Bu sonucun, P-316 tipi levhaların diğer levhalara göre daha yüksek geri sekme enerjisine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 6.9 3mm kaplamalı levhalara ait önemli veriler

3 mm	F_{max} (N)	E_{max} (J)	E_a (J)	t_{top} (ms)
Al-5083	28188.623	190.605	180.449	6.924
P-316	44668.298	190.330	175.323	5.602
DKP	47044.445	188.964	174.248	5.173

Şekil 6.13’de 4mm kaplamalı levhaların enerji zaman grafiği verilmiştir. 4 mm kaplama kalınlığı ile levhalardaki değişimlerin sınırlı olduğu Şekil 6.13’de görülmektedir.



Şekil 6.13 4mm kaplamalı levhaların Enerji-Zaman grafikleri

Şekil incelendiğinde 4mm poliüre kaplama uygulamasının diğer kaplama kalınlıklarına göre levhaların enerji absorpsiyonuna net bir katkı sağlamadığı görülmektedir. Al-5083

tipi levhalarda temas süresindeki azalmaya bağlı olarak absorplanan enerji miktarı da azalmıştır. P-316 tipi levhalarda temas süresinin artmasına rağmen absorplanan enerjinin azaldığı görülmektedir. DKP levhalarda ise temas süresinin artması ile levhalarda absorplanan enerji miktarı artmıştır.

Çizelge 6.10 4mm kaplamalı levhalara ait önemli veriler

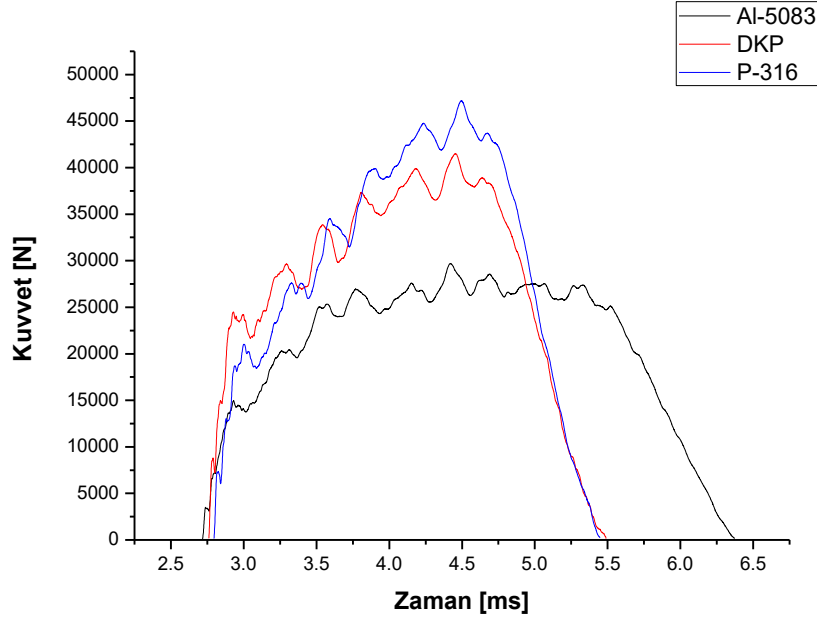
4 mm	$F_{\max}$ (N)	$E_{\max}$ (J)	E_a (J)	t_{top} (ms)
Al-5083	28726.75	189.98	179.611	6.827
P-316	44961.342	189.713	174.672	5.755
DKP	45412.584	189.617	175.887	5.315

Şekil 6.13 ve Çizelge 6.10 incelendiğinde en yüksek enerji absorpsiyon değerine Al-5083 tipi levhaların sahip olduğu görülmektedir. 4 mm kaplamalı tüm levhalar, tüm kaplamasız levha tiplerine göre daha az enerji absorplamışlardır.

- **Kuvvet-Zaman Grafikleri**

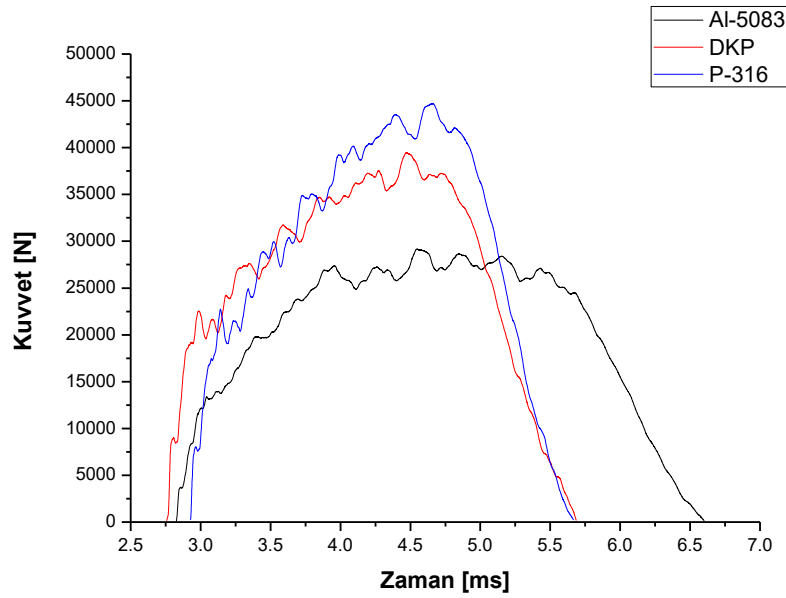
Ağırlık düşürme testi sonucu elde edilen kuvvet-zaman grafiklerine metal levha türlerinin etkisi araştırılmıştır. Şekil 6.14,6.15,6.16 ve 6.17’de kaplamasız ham ve 2,3 ve 4 mm kaplamalı levhaların 200J darbe enerjisi altında gerçekleştirilen ağırlık düşürme testlerinde elde edilen kuvvet-zaman grafiklerine levha türünün etkisi gösterilmiştir.

Şekil 6.14 incelendiğinde, kaplamasız levhalarda en yüksek temas kuvvetine DKP ve P-316 levha tiplerinin, en düşük temas kuvvetine ise Al-5083 levha tipinin sahip olduğu görülmektedir. P-316 tipi levhanın yüksek temas kuvvetine rağmen temas süresinin kısılğı, levhanın enerji absorpsiyonunu azaltmıştır. Şekil 6.10 incelendiğinde en yüksek enerji absorpsiyonuna Al-5083 ve DKP levha tiplerinin en düşük enerji absorpsiyonuna ise P-316 tipi levhanın sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.14 Ham levhaların Kuvvet-Zaman grafikleri

DKP'nin P-316 ile hemen hemen aynı temas süresi ve kuvvet değerine rağmen daha fazla enerji absorplamış olması, enerji absorplama kapasitesinin P-316'dan daha yüksek olduğunu göstermektedir.

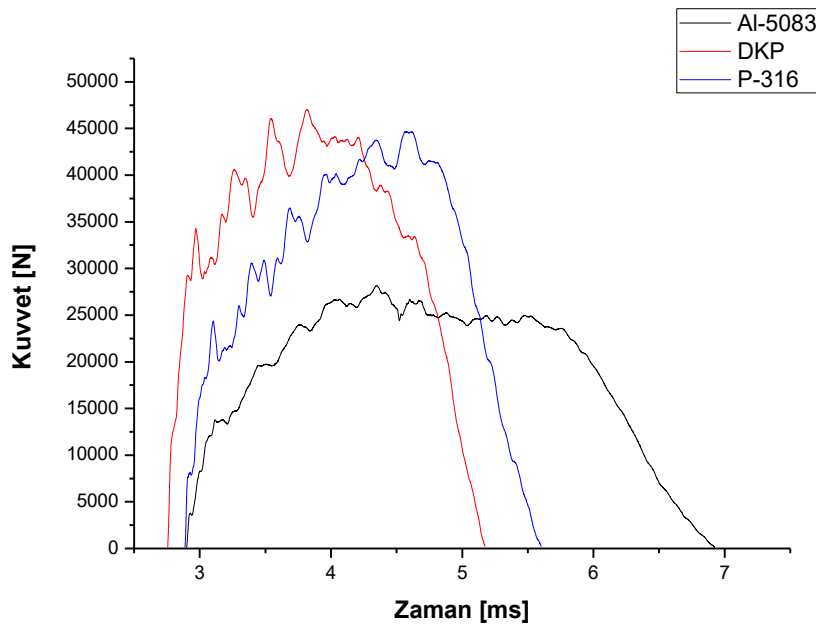


Şekil 6.15 2mm kaplamalı levhaların Kuvvet-Zaman grafikleri

Kaplamasız DKP levhaların aynı miktardaki enerjiyi Al-5083 levha tiplerinden daha kısa sürede yuttuğu Şekil 6.14 ve Çizelge 6.7 incelendiğinde anlaşılmaktadır. DKP ve Al-5083

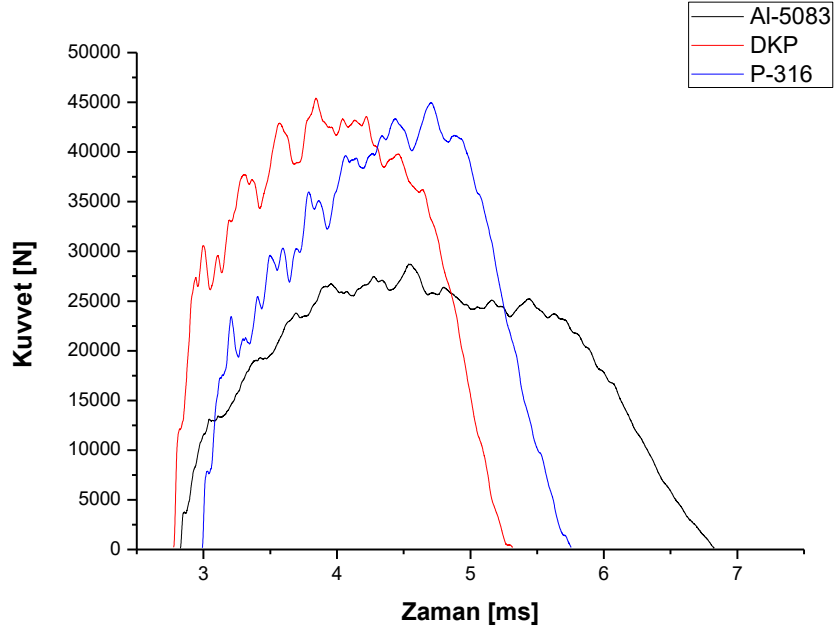
tipi levhalara uygulanan maksimum enerjinin hemen hemen aynı olmasıyla, absorplanan enerji değerlerinin de benzer miktarlara sahip olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 6.15’de 2mm kaplamalı levhaların kuvvet-zaman grafikleri verilmiştir. 2mm kaplamalı levhalara uygulanan kuvvetin ham levhalara göre azaldığı, uygulanan kuvvet ile temas sürelerinin her levha için arttığı ancak absorplanan enerji miktarlarının azaldığı görülmektedir. Yine Al-5083 ve DKP levha tiplerinin benzer enerji absorpsiyon değerine sahip olduğu, en düşük enerji absorpsiyonunu ise P-316 levha tipinin gösterdiği Çizelge 6.8 incelendiğinde de anlaşılmaktadır.



Şekil 6.16 3mm kaplamalı levhaların Kuvvet-Zaman grafikleri

Şekil 6.16’da 3mm kaplamalı levhaların Kuvvet-Zaman grafiği verilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek temas kuvveti ve en düşük kuvvet teması süresine DKP tipi levhaların, en düşük temas kuvvetine ve en uzun temas süresine ise Al-5083 levha tipinin sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 6.9 incelendiğinde en düşük enerji absorpsiyonuna DKP tipi levhaların sahip olduğu görülmektedir. DKP levhalarda geri sekmenin fazla olmasıyla absorplanan enerji azalmıştır. Levha kalınlıklarının artması ile uygulanan maksimum enerji miktarları artmıştır. Ancak düşen temas süreleri absorplanan enerji miktarlarının azalmasına neden olmuştur. Geri sekmede harcanan enerjinin fazlalığı DKP tipi levhalardaki enerji absorpsiyonu azalışını açıklamaktadır.



Şekil 6.17 4mm kaplamalı levhalarda Kuvvet-Zaman grafikleri

Şekil 6.17’de 4mm kaplamalı levhalarda Kuvvet-Zaman eğrileri verilmiştir. Şekil incelendiğinde en uzun temas süresi ve en düşük temas kuvvetine Al-5083 levha tipinin sahip olduğu görülmektedir. Tüm kaplamalı ve kaplamasız levhalar arasında en yüksek enerji absorpsiyonunu Al-5083 levha tiplerinin gösterdiği tüm grafikler ile teyit edilmiştir. DKP ve P-316 levhalara uygulanan maksimum kuvvetlerin benzer olduğu, temas sürelerinin ise farklı olduğu görülmektedir. En düşük temas süresine sahip DKP levhalar en düşük enerji absorpsiyonuna sahiptir. Grafikler yardımıyla temas süresinin enerji absorpsiyonuna etkisi açıkça görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuçlar

- Al-5083, DKP ve P-316 levha tiplerine 2,3 ve 4mm poliüre kaplama uygulanmış, kaplamalı ve kaplamasız tüm levhalar çekme deneyi ve ağırlık düşürme testlerine tabi tutulmuşlardır.
- Çekme deneyinde levhaların çekme dayanımları incelenmiş, kaplama uygulaması ile levhaların çekme dayanımlarında ve %uzama değerlerinde oluşan farklılıklar incelenmiştir. DKP sac levhalarda kaplama kalınlığının artması ile çekme dayanımında doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. Kaplamasız levhalara kıyasla en yüksek artış 4mm kaplamalı levhalarda gözlemlenmiştir (%16.24).
- Al-5083 levha tiplerinin çekme dayanımlarında poliüre kaplama uygulaması ile doğrusal bir artış gözlemlenememiştir. Özellikle Al-5083 levha tiplerinde deney esnasında poliüre kaplamanın levha yüzeylerinden kalktığı gözlemlenmiştir. Çekme dayanımlarında kaplama kalınlığı ile artış gözlemlenmemesinin levha yüzeylerine yapışmanın yeteri kadar sağlanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- P-316 çelik levha tiplerinin çekme dayanımlarında ise kaplama kalınlıklarının artışı ile %1'e yakın doğrusal artışlar gözlemlenmiştir. En yüksek kopma uzaması değerini P-316 levha tipi tasarımlar göstermiştir. En yüksek çekme dayanımına sahip levha tipinin P-316 levhalar olduğu tespit edilmiştir. Zaten yüksek olan çekme dayanımları, kaplamanın yeteri kadar kalın olmamasından kaynaklı çok

küçük değişimler göstermiştir. Yine de levhaların çekme dayanımlarına poliüre kaplamanın %1'e yakın katkı sağladığı tespit edilmiştir.

- Ağırlık düşürme testlerinde kaplamalı ve kaplamasız levhaların hiçbirinde delinme gözlemlenmemiştir.
- Ağırlık düşürme testlerinde tüm levhaların geri sekme davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Geri sekme davranışı levhaların kuvvet ile temas süresini kısaltmış ve absorplanan enerji miktarlarının azalmasına neden olmuştur. Tüm levhalarda kaplama uygulaması ile absorplanan enerjilerde azalmalar gözlemlenmiştir.
- DKP levhaların ağırlık düşürme testlerinden elde edilen veriler incelendiğinde, kaplama uygulaması ile levhaların enerji absorpsiyonunda azalmalar tespit edilmiştir. Kaplama kalınlıkları arttıkça levhalarda absorplanan enerji azalmıştır. Bu azalışın geri sekmede harcanan enerjiden kaynaklandığı düşünülmektedir. Levhalara uygulanan enerji miktarının az olması, vurucu ucun levha yüzeylerinden geri sekmesine neden olmuş ve levhaların kuvvet ile temas süresini azaltmıştır. Bu da levhalara aktarılan enerji miktarlarını azaltmıştır. Bu nedenle absorplanan enerji miktarı da azalmıştır.
- Al-5083 levha tipi tasarımlar en çok enerji absorplayan levha tasarımı olmuştur. Tüm levhalar arasında en yüksek enerji absorpsiyon değerini, kaplamasız Al-5083 levhaların gösterdiği grafikler yardımıyla tespit edilmiştir. Kaplama uygulaması ile levhaların enerji absorpsiyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Bu sonucun kaplama kalınlıklarının yeterli miktarda olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- En düşük enerji absorpsiyonu değerlerine P-316 levha tiplerinin sahip olduğu grafikler yardımıyla tespit edilmiştir. P-316 tipi levhalarda da kaplama uygulaması ile enerji absorpsiyonunda azalmalar gözlemlenmiştir.
- Levhalara uygulanan kaplamaların absorpsiyon değerlerine katkısı net olarak gözlemlenememiştir. Kaplama kalınlıklarının yetersiz ya da levhaların her noktada eşit/homojen kaplama kalınlıklarına sahip olmaması bu sonuca neden olmuş olabilir.

- Tüm levhalar uygulanan enerjinin neredeyse %95 ini absorplamıştır. Levhaların delinmemesi ve %95'e yakın enerji absorpsiyon değerlerine sahip olması, levha türlerinin balistik uygulamalarda kullanılabilirliğini göstermektedir.

Öneriler

- Kaplamanın levha yüzeylerine daha homojen bir biçimde yayılması sağlanabilir. Böylece kalınlıklar levha yüzeylerinin her bölgesinde eşit olabilir ve daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir.
- Levha kalınlıkları arttırılarak ağırlık düşürme testleri denenebilir.
- Kaplamalı levhalar balistik laboratuvarlarda denenebilir. Mermi etkisi altında levhaların davranışları incelenebilir.
- Kaplama uygulaması levhaların ön yüzüne uygulanabilir. Deneyler vurucu ucun levhaların ön yüzeylerine gelecek şekilde yapılabilir. Kaplamanın ön yüzeye yapılmasıyla geri sekme engellenerek maksimum temas süresi ve maksimum enerji absorpsiyonu sağlanabilir.
- Levhalara uygulanan 200J enerjiden daha yüksek değerlerde deneyler tekrarlanabilir. Vurucu ucun levhalara saplanması sağlanarak geri sekme önlenir, kaplamanın katkısı daha net gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

-
- [1] Mohotti, D., Ngo, T., Raman, S. N., Muneeb, A., Priyan, M., (2014). "Plastic Deformation Of Polyurea Coated Composite Aluminium Plates Subjected To Low Velocity Impact", *Materials and Design*, 56: 696–713.
 - [2] Ackland, K., Anderson, C., Ngo, D. T., (2013). "Deformation Of Polyurea-coated Steel Plates Under Localised Blast Loading", *International Journal of Impact Engineering*, 51: 13-22.
 - [3] Grujicic, M., Pandurangan, B., He, T., Cheeseman, B.A., Yen, C. F., Randow, C. L., (2010). "Computational Investigation Of Impact Energy Absorption Capability Of Polyurea Coatings Via Deformation-Induced Glass Transition", *Materials Science and Engineering A*, 527: 7741– 7751.
 - [4] Amini, M. R., Isaacs, J., Nemat-Nasser, S., (2010). "Investigation Of Effect Of Polyurea On Response Of Steel Plates To Impulsive Loads In Direct Pressure-Pulse Experiments", *Mechanics of Materials*, 42: 628-639.
 - [5] Mohotti, D., Ngo, T., Raman, N., Mendis, P., (2013). "Polyurea Coated Composite Aluminium Plates Subjected To High Velocity Projectile Impact", *Materials and Design*, 52: 1–16.
 - [6] Mohotti, D., Ngo, T., Raman, N., Mendis, P., (2015). "Analytical And Numerical Investigation Of Polyurea Layered Aluminium Plates Subjected To High Velocity Projectile Impact", *Materials and Design*, 82: 1–17.
 - [7] Toader, G., Rusen, E., Teodorescu, M., Diacon, A., Stanescu, O., Rotariu, T., Rotariu T., (2016). "Novel Polyurea Polymers With Enhanced Mechanical Properties", *Applied Polymer Science*, 43967: 1–7.
 - [8] Kamonchaivanich, K., Kuboyama, K., Ougizawa, T., (2019). "Effect Of Elastic Modulus And Position Of Polyurea Coating On Flexural Strength Of Coated Ceramic Tiles By Experiments And Finite Element Analysis", *Journal Of Coatings Technology And Research*, 1-11.
 - [9] Öz, M., Usta, A., (2013), "Zırh", *TVD İslam Ansiklopedisi*, 44. Cilt 391–394, <https://islamansiklopedisi.org.tr/zirh#1>, 20 Nisan 2019.
 - [10] Aydıöz, S., (2011). "Osmanlı Silahları, Silah Üretim Merkezleri ve Literatürü Tarihi", *Tarih Okulu*, 10: 1–37.

- [11] David, N. V., Gao, X. L., (2009). "Ballistic Resistant Body Armor: Contemporary And Perspective Materials And Related Protection Mechanisms", Applied Mechanics Reviews, 62: 1–20.
- [12] Yavas, M. O., (2009). "Hafif Silahlara Karşı Bireysel Savunma Amaçlı Kompozit Malzeme Tasarımı ve Balistik Dayanımı", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [13] Şen, H., (2013). "AlMg3/SiCp Kompozit Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [14] Sözen, E., Gündüz, G., İmren, E., (2016). "Balistik Panel ve Koruyucu Zırh Üretiminde Kullanılan Lif ve Kompozit Malzemeler", Journal of Bartın Faculty of Forestry, 18(2): 194-204.
- [15] Yadav, R., Naebe, M., Wanga X., Kandasubramanian B., (2016). "Body Armour Materials: From Steel To Contemporary Biomimetic System", The Royal Society Of Chemistry, 6: 115145–115174.
- [16] Batıbay, B. A., (2013). "Alümina Geçiş Metali İkili Sistemlerin Zırh Malzemesi Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] Soykan, H., Aslanoğlu, Z., Karakaş, Y., "Zırh Çeliklerinin Metalurjisi" <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/P27.pdf>, 20 Nisan 2019.
- [18] Fink, B. K., (2000). "Performance Metrics For Composite Armor", The Journal Of Thermoplastic Composite Materials, 13: 417, 431.
- [19] Benzait, Z., Trabzon, L., (2018). "A Review Of Recent Research On Materials Used In Polymer–Matrix Composites For Body Armor Application", journal Of Composite Materials, 52(23): 3241–3263.
- [20] Evci, C., (2009). "Seramik Kompozit Zırh Sistemlerinin Darbe ve Balistik Özelliklerinin Belirlenmesi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [21] Montgomery, S. J., Wells, G.H. M., (2001). "Titanium Armor Applications In Combat Vehicles", The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, 53(4): 29–32.
- [22] Doherty, K., Squillaciotti, R., Cheeseman, B., Placzankis, B., and Gallardy, D., (2012). "Expanding The Availability Of Lightweight Aluminum Alloy Armor Plate Produced From Detailed Military Specification", 13th International Conference On Aluminum Alloys (ICAA13), 3-7 Haziran 2012, Pennsylvania.
- [23] Jiang, D., Liu, Y., Qi, C., Ma, Z. D., Raju, B. B., Bryzik W., (2007). "Innovative Composite Structure Design For Blast Protection", Journal Of Commercial Vehicles, 116(2): 60–67.
- [24] Wang, L., Kanesalingam, S., Nayak, R., and Padhye, R., (2014). "Recent Trends in Ballistic Protection", Textiles and Light Industrial Science and Technology, 3: 37–47.

- [25] Özer, S., (2004). "Balistik Koruma Amacıyla Kullanılan Malzemeler ve Bu Malzemelerin Balistik Deformasyonuna Etki Eden Faktörler", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Karagöz, Ş., Atapek, Ş., (2007). "Bor Katkılı Zırh Çeliklerinin Kırılma Davranışları", 8. Uluslararası Kırılma Konferansı, 7-9 Kasım 2007, İstanbul.
- [27] Giller, G.B., Gamache, R.M., Wahl, K.J., Saab, A.P, and Roland, C.M., (2016). "Coating/Substrate Interaction In Elastomer-Steel Bilayer Armor", Journal of Composite Materials, 50(20): 2853–2859.
- [28] Mansur, A., (2011). " Modeling Of Mechanical Properties Of Ceramic-Metal Composites For Armor Applications", MSc Thesis, University of Ottawa, Ottawa-Carleton Institute for Mechanical and Aerospace Engineering, Ottawa.
- [29] Durmaz, T., (2017). " Development Of High Strength Aluminum Matrix Composite Backing Plates For Ballistic Armor", MSc Thesis, Middle East Technical University, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara.
- [30] Lane, R., Craig, B., and Babcock, W., (2002). "Materials For Blast And Penetration Resistance", AMPTIAC Quarterly, 6(4): 39-45.
- [31] Yungwirth, C. J., O'Connor, J., Zakraysek, A., Deshpande, V. S., and Wadley, H. N., (2011). "Explorations Of Hybrid Sandwich Panel Concepts For Projectile Impact Mitigation", Journal of the American Ceramic Society, 94: 62-75.
- [32] Gooch, W. A., Burkins, M., And Squillacioti, R., (2007). "Ballistic Testing Of Commercial Aluminum Alloys And Alternate Processing Techniques To Increase The Availability Of Aluminum Armor, 23rd International Symposium on Ballistics, 16-20 April 2007, Tarragona, Spain.
- [33] Çağan, S. Ç., Uğurlu, M., Buldum, B. B., and SEVİM, İ., (2017). "Alüminyum ve Alaşımlarının Asker Araçlarda Kullanımı", 2. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu, 6-8 Nisan 2017, Kırıkkale.
- [34] Sevinç, C., (2002). "Zırhlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Kaynak Edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] Rosenbaum, J. B., (1982). "Titanium technology trends", Journal Of Metals, 34(6): 76-80.
- [36] Gooch, W., Burkins, M. S., Ernst, H. J., and Wolf, T., (1995). "Ballistic Performance Of titanium Against Laboratory Penetrators With Aspect-Ratios Of 10 Or Greater", 15th International Ballistics Symposium, 21-24 May 1995, Jerusalem.
- [37] Gooch, W. A., and Ground, A. P., (2010). "The Design And Application Of Titanium Alloys To US Army Platforms", International Titanium Association, 3-6 October 2010, Kissimmee.
- [38] Veiga, C., Davim, J. P., And Loureiro, A. J. R., (2012). "Properties And Applications Of Titanium Alloys: A Brief Review", Rev. Adv. Mater. Sci, 32(2): 133-148.

- [39] Gooch, W. A., (2002). "An Overview Of Ceramic Armor Applications", 6th Technical Conference, 6-7 MAY 2004, TRENČÍN, 134: 3-21.
- [40] Medvedovski, E., (2006). "Lightweight Ceramic Composite Armour System", Advances in Applied Ceramics, 105(5): 241-245.
- [41] Güray, E., And Kalemtaş, A., (2014). Seramik Esaslı Zırhlar ve Mekanik Modellemeleri", Seramik Türkiye, 98-104.
- [42] Akella, K., And Naik, N. K., (2015). "Composite Armour—A Review", Journal Of The Indian Institute of Science, 95(3): 297-312.
- [43] Bulut, H., (2003). " Balistik Koruyucu Teçhizatın İmalatında Kompozit Malzeme Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [44] Özşahin, E., Tolun, S., (2010). "Yüzey Kaplaması ve Destek Katman İlavesinin Alüminyum Levhaların Balistik Performansına Etkileri", Journal of Aeronautics and Space Technologies, 4(4): 41-50.
- [45] Bozdoğan, F., Üngün, S., Temel, E., And Mengüç, G. S., (2015). "Balistik Koruma Amaçlı Kullanılan Tekstil Materyalleri, Özellikleri ve Balistik Performans Testleri", Journal of Textiles and Engineer, 22(98): 84-103
- [46] Silva, M. V., Stainer, D., Al-Qureshi, H. A., Montedo, O. R. K., And Hotza, D., (2014). "Alumina-based ceramics for armor application: mechanical characterization and ballistic testing", Journal of Ceramics, 2014: 1-6.
- [47] Williams, T., (2016). "Development Of Pressureless Sintered Silicon Carbide-Boron Carbide Composites For Armour Applications", PhD Thesis, University of Surrey, United Kingdom.
- [48] Günay, B., (2017). "Bor Karbürün Karakterizasyonu ve Nano B₄C Partikülü Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir.
- [49] Büyükcü, G., (2000). "Bor Karbür/Silisyum Karbür Kompozitlerinin Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [50] Barut, C., (2015). "Aramid Esaslı Kompozit Malzemelerin Balistik Performanslarının ve Mekanik Davranışlarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [51] Kalaycı, E., Aving, O. O., And Yavaş, A., (2016). "Yüksek Performanslı Polietilen (hppe) Lifleri", Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 1: 13-34.
- [52] Cao, S., Liu, H., Ge, S., & Wu, G., (2011). "Mechanical And Tribological Behaviors Of UHMWPE Composites Filled With Basalt Fibers", Journal Of Reinforced Plastics And Composites, 30(4): 347-355.
- [53] Marissen, R., (2011). "Design With Ultra Strong Polyethylene Fibers, Materials Sciences and Applications, 2(05): 319-330.
- [54] Öztürk, Ö., (2015). "Poliüre Matris Malzemesi ve Cam, Aramid, Karbon Elyaf Kumaş Takviyeleri Kullanılarak Üretilen Kompozit Malzemelerin Mekanik

- Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [55] Feaga, M. K., (2007). “The Effect Of Projectile Strike Velocity On The Performance Of Polyurea Coated RHA Plates Under Ballistic Impact”, MSc Thesis, Lehigh University, Pennsylvania.
- [56] Somarathna, H. M. C. C., Raman, S. N., Mutalib, A. A., & Badri, K. H., (2015). “Elastomeric Polymers For Blast And Ballistic Retrofitting Of Structures”, Jurnal Teknologi, 76(1): 1-13.
- [57] Paça, Ş., (2011). “Termoplastik Polyester Elastomerlerin Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [58] He, Y., Xie, D., & Zhang, X., (2014). “The Structure, Microphase-Separated Morphology, and Property Of Polyurethanes and Polyureas”, Journal Of Materials Science, 49(21): 7339-7352.
- [59] Youssef, G. H., (2010). “ Dynamic Properties of Polyurea”, PhD Thesis, University of California, Los Angeles.
- [60] Poliüre Teknik Özellikleri; <https://www.polyureakaplama.com/polyurea-teknik-ozellikleri>, Erişim Tarihi: 9.05.2019.
- [61] Plastik Malzemelerin Sertlik Değeri ve Sertlik Dönüşüm Tablosu, <https://www.aldemirltd.com/polymer-hardness-comparison-chart>, Erişim Tarihi: 11.05.2019.
- [62] Grujicic, M., Pandurangan, B., He, T., Cheeseman, B. A., Yen, C. F., & Randow, C. L., (2010). “Computational Investigation Of Impact Energy Absorption Capability Of Polyurea Coatings Via Deformation-Induced Glass Transition. Materials Science and Engineering: A, 527(29-30): 7741-7751.
- [63] Szafran, J., & Matusiak, A., (2016). “Polyurea Coating Systems: Definition, Research, Applications”, XXIV Conference On Lightweight Structures in Civil Engineering, 2 December 2016, Olsztyn.
- [64] Darbeye Maruz Plaklarda Gerilme Analizi, http://ansys.deu.edu.tr/wp-content/uploads/cmdm/564/1450875556_14.pdf, Erişim Tarihi: 13.04.219
- [65] Potoğlu, U., (2012). “Sandviç Kompozit Plakların Darbe Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [66] Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Çekme Deneyi Özellikleri, http://malzememuh.cbu.edu.tr/db_images/site_117/file/cekme.pdf, Erişim Tarihi: 15.05.2019.
- [67] Kırıcı, M., (2016). “ İç Basınç Altında Yorulmuş Filaman Sarım CTP Boruların Düşük Hızlı Darbe Sonrası Hasar Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Melike YILDIRIM
Doğum Tarihi ve Yeri : 27 Kasım 1991/ İSTANBUL
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : yildirim.melike@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lisans	Kimya Mühendisliği	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2015
Lise	Fen Bilimleri	Özel Bakırköy Akşam Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	Adellens Optik A. Ş	Kalite Kontrol Sorumlusu

YAYINLARI

Bildiri

1. Yıldırım, M., Çorbacioğlu, B. D., (2019). " Investigation of Mechanical Properties of Polyurea Coated Metal Plates ", International Natural Science, Engineering and Material Technologies Conference, 9-10 September 2019, İSTANBUL.
2. Yıldırım, M., Çorbacioğlu, B. D., (2018). "Poliüre Kaplamalı Metal Levhaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", UKMK-13. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2018, VAN.
3. Yıldırım, M., Söyler, N., Ceylan, S., (2015). " P. elongata' dan İndirgen Şeker Üretimi Sonucu Oluşan Atıkların Pirolizi ve Piroliz Kinetiği", UKMÖK 3. Ulusal Kimya Mühendisliği Öğrenci Kongresi, 2-4 Mayıs 2015, İSTANBUL.
4. Yıldırım, M., Demir, S., TOPCU, Y., (2014). "Ferulik Asit İçeren Metal Organik Kafes Yapılı Bir Bileşik Sentezinde Solvotermal, Mekanokimyasal ve Mikrodalga Yöntemlerinin Karşılaştırılması", UKMK 11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 2-5 Eylül 2014, ESKİŞEHİR.
5. Yıldırım, M., Arığ, S., Geyikçi, F., Çoruh, S., (2012). "Response Surface Methodology Approach for The Adsorption of Silver İons by Multi-Walled Carbon Nanotubes", VIII. Nanobilim ve Nanoteknoloji Konferansı, 25-29 Haziran 2012, Ankara.
6. Yıldırım, M., Arığ, S., Geyikçi, F., Çoruh, S., (2012). " Adsorption of Aromatic Compound Using Short Multi-Walled Carbon Nanotubes Factorial Desing Analysis", VIII. Nanobilim ve Nanoteknoloji Konferansı, 25-29 Haziran 2012, Ankara.

Proje

1. Çorbacioğlu, B. D., Yıldırım, M." Poliüre Kaplı Metal Levhaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi ve Zırh Malzemesi Olarak Kullanımının Değerlendirilmesi", FLY-2018-3409, YTÜ BAP, 2018-2019, Araştırmacı.