

7039 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KAYNAK ÖNCESİ VE SONRASI MEKANİK VE BALİSTİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet ERDEM ve Mehmet TÜRKER*

İnönü Ü. Müh. Fak. Makine Müh. Bölümü, Malatya,

*Gazi Ü., Teknoloji Fak., Metalurji ve Malz. Müh. Böl., Ankara,

merdem@inonu.edu.tr, mturker@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 27.01.2010; Kabul/Accepted: 09.11.2010)

ÖZET

Bu çalışmada, kalınlıkları farklı (12,7 ve 38 mm) 7039 Al-Zn zırh levhalarına özel kaynak ağızı açılarak MIG kaynak yöntemiyle çoklu paso kaynak yapıldı. Bu kaynaklı levhaların balistik ve mekanik özellikleri araştırıldı. 38 mm kalınlığındaki kaynaklı levhanın ana metal, geçiş bölgesi ve kaynak metali kısımlarına 12,7 mm'lik zırh delici mermilerle atış yapılarak bu bölgelerin V_{50} balistik sınır değerleri tespit edildi. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde ise 12,7 mm kalınlığındaki kaynaklı levhalar kullanıldı. Bu deneyler sonucunda kaynaklı numunelerin mekanik ve balistik özelliklerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca en yüksek V_{50} balistik sınır değerini ana metal, en düşük V_{50} balistik sınır değerini ise kaynak metalinin gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: 7039 Al alaşımı, V_{50} balistik sınır, balistik ve mekanik özellikler.

INVESTIGATION OF THE BALLISTIC AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE PRE AND POST-WELDED 7039 ALUMINUM ALLOY

ABSTRACT

In this study, the special weld grooves was created on 7039 Al-Zn armor plate with different thickness of 12.7 and 38 mm and they were welded with MIG welding technique via multiple pass. After that, the ballistic and mechanical properties of these plates were examined. V_{50} ballistic limit values of the base metal, the heat affected zone and the weld metal of the welded plate of 38 mm thickness were determined by shooting with laboratory bullets of 12.7 mm. 12.7 mm thickness welded plates were used for determining the mechanical properties. It is observed that the ballistic and mechanical properties of the welded samples decrease. Moreover the highest V_{50} ballistic limit value was obtained from the base metal whereas the lowest V_{50} ballistic limit value was obtained from the welded metal.

Key words: 7039 Al alloy, V_{50} ballistic limit, ballistic and mechanical properties.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Balistik yeterlilik, hafiflik, yüksek hareket ve kaynak kabiliyeti gibi özellikler savunma sistemlerinde kullanılan malzeme ve araçların seçiminde çok önemlidir. Çünkü kullanılan malzemelerin türü ve mekanik özellikleri balistik yeterliliğini, yoğunluğu hareket kabiliyetini, amfibi operasyonlardaki su sızdırmazlığı da kaynak kabiliyetini belirler. Yüksek yoğunluğa sahip olmalarına rağmen üstün mekanik özellikleri, ekonomik ve ısı işlem uygulamaları ile sertliklerinin artırılabilmesi çeliklerin zırh

malzemeleri olarak kullanılmasında tercih nedeni olmaktadır. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarındaki balistik yeterlilik, hafiflik ve özellikle yüksek kaynak kabiliyeti çelikten sonra savaş araçlarında zırh malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır. Zira amfibi operasyonlar için su sızdırmazlığı ancak kaynak yapılarak sağlanmaktadır. Üretilen araçlar çok ağır şartlarda (-62 ila 73 °C ve yüksek nem) kullanılmakta ve bekletilmektedir. Ayrıca operasyonlar genellikle korozyonlu ortamlarda yapıldığı için zırh malzemelerinde ve bunların kaynakla birleştirilmiş kısımlarında balistik

özelliklerinin korunması istenir [1]. Bu nedenle zırh malzemesi olarak kullanılan alüminyum alaşımlarında balistik özellik değişimi araç içinde bulunan personel ve düzenlenen operasyon için önemlidir.

Kaynaklı birleştirmelerde; uygun birleşim taslağı, kaynak ısı verimliliği, ısıdan etkilenen bölge genişliği, sertlik ve mikro yapı değişimleri mekanik ve balistik mukavemeti etkileyen başlıca nedenlerdir. Bu parametrelerin ideal düzeyde seçilmesi kaynaklı malzemelerin mekanik ve balistik özelliklerini korumasında belirleyici rol oynar. Kaynaklı birleştirmelerle ilgili yapılan bazı çalışmalar yüksek sertlikteki çeliklerin (su verilerek sertleştirilen ve menevişlenen) balistik amaçlı zırh uygulamalarında kullanıldığı göstermiştir [2]. Bu çeliklerin kaynak birleşim yerlerinin ısıya maruz kalması nedeni ile sertliklerinin azaldığı belirtilmiştir. Sertlikteki bu azalmanın balistik başarımın derecesini belirleyen en önemli parametre olduğu belirtilmiştir [3]. Isıdan etkilenen bölgedeki sertlik kaybı, kaynak işlemi esnasında meydana gelen kaynak ısı döngüsünün bir fonksiyonu olduğu ve sertlik kaybının hem çeliğin faz dönüşüm kinetiğine hem de kimyasal bileşimine bağlı olduğu ifade edilmiştir [4]. Yapılan çalışmalarda araştırmacılar artan ısı giriş miktarının ısıdan etkilenen bölgenin sertliğini düşürdüğünü ve genişliğini daha da artırdığını belirtmişlerdir. Ayrıca sertliği azalan ve genişliği artan ısıdan etkilenen bölgenin balistik başarımın düştüğünü tespit etmişlerdir [3]. Bu konu ile ilgili G. Madhusudhan Reddy ve arkadaşları [2] sertleştirilen ve menevişlenen yüksek sertlikteki düşük alaşımlı çeliğe üç farklı yöntemle (koruyucu gaz metal ark kaynağı, örtülü elektrot ark kaynak yöntemi ve Tungsten ark kaynağı) kaynak yapmışlar ve kaynak yöntemlerinin balistik başarımına etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada, en iyi balistik sınırı ince taneli yapısı nedeni ile koruyucu gaz metal ark kaynak yöntemi, en kötü balistik başarımı geniş sütunlu taneler nedeni ile örtülü elektrot ark kaynak yönteminin, tungsten gaz ark kaynak yönteminin de orta düzeyde balistik başarım gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca ısı girdisine bağlı olarak tane yapısının değiştiğini ve ısıdan etkilenen bölge genişledikçe balistik başarımın azaldığını tespit etmişlerdir. Kaynak yapılacak metalin uygun birleşim taslağı ve uygun kaynak tekniğinin kaynak bölgesinin balistik başarımını artırmada önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir [5].

Bu konu ile ilgili yapılan birçok çalışma değişik zırh sistemlerinin balistik başarım açısından birbiri ile karşılaştırılmasına imkan vermektedir. Demir ve arkadaşları [6], 7075 ve 5083 alüminyum alaşımlarını ve HSLA ve AISI 4140 çeliklerini 7,62 mm'lik zırh delici özelliğe sahip mermilerle balistik ve mekanik

özelliklerini araştırdılar. Bu alaşımlar arasında 7075-T651 alüminyum alaşımının en iyi balistik başarıma sahip olduğunu ve zırh ağırlığında en az %25'lik bir azalma sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca alüminyum alaşımlarının sertliği arttıkça zırh delici mermilere karşı direncinde arttığını belirtmişlerdir. Übeyli ve arkadaşları [7], değişik kalınlıklardaki iki farklı malzemeyi (Al2024-0 ve Al2024-T6) destek katmanı ve değişik kalınlıklardaki alüminayı ise ön katman olarak kullandıkları bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ısı işlem uygulanarak mekanik özellikleri artırılan Al2024-T6 alaşımının Al2024-0 alüminyum alaşımından daha iyi balistik direnç sağladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca ön tabaka olarak alümina ve arka tabaka olarak da alüminyum kullanılarak yapılan katmanlı zırh tiplerinde balistik direncin artırılabilirliğini tespit etmişlerdir. Özşahin ve Tolun [8], yüzey kaplamanın AA6061 T651 alüminyum levhada yüksek hızlı çarpma davranışlarına etkisini araştırdılar. Bu araştırmada, barut miktarı değiştirilerek hızları kontrol edilen 9 mm'lik mermiler kullandılar. 6,35 mm ve 8 mm kalınlığındaki Al levhalara argon ve hidrojen gaz karışımı kullanarak plazma tekniği ile 0,762 mm kalınlığında Metko 68 F-NS-1 (kobalt, molibden Krom tozu) ve Metco 201 NS (ZrO₂ zirkonyum oksit tozu) kaplama yaptılar. Yüzeyi kaplanmış 6,35 mm ve 8 mm kalınlığındaki Al levhaların balistik direncinin yüzeyi kaplanmamış levhaya göre daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Jena ve arkadaşları ise [9], bazı metalik zırh malzemelerin 7,62 mm'lik deforme olabilen mermiye karşı balistik darbe davranışlarını araştırdılar. Bu çalışmada, iki farklı menevişleme sıcaklığında ısı işlem uygulanmış yüksek mukavemetli bir zırh çeliği ve 7017 Al alaşımını kullandılar. Kalınlıkları farklı (26, 27, 28 ve 30 mm) Al levhalara 830 m/s çarpma hızında balistik başarım deneyi uyguladılar ve kalınlık arttıkça balistik başarımında arttığını tespit ettiler. Sadanadan ve Hetherington [10] iki farklı malzemeyi (Al 5083-0 ve 4360 sıcak hadde çeliği) destek katmanı ve alüminayı ise ön katman olarak kullandıkları bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, çeşitli açılardaki zırhlara bilye ve 7,62 mm'lik zırh delici mermilerle balistik başarım deneyi uygulamışlardır. Çarpma açısı arttıkça her iki zırh grubunda V₅₀ balistik sınırının arttığının belirlemişlerdir.

Savunma sistemlerinde kullanılan zırh malzemesi ve araçlarında hafiflik yüksek hareket kabiliyetini belirleyen en önemli özelliktir. Bu nedenle zırh malzemelerinin ağırlığını azaltmak için seramik ve kompozit malzemeler de kullanılmaktadır. Bu sistemde ön tabaka olarak seramik, destek tabaka olarak da metal veya haddelenmiş kompozit kullanılmaktadır. Seramik ön tabaka mermi çekirdeğine kıyasla daha sert olduğundan çarpma esnasında mermiyi aşındırır ve parçalar. Destek

tabakası olan arka tabaka ise merminin darbe enerjisini soğurur. Seramik ön tabakanın sertliği arttıkça hafif zırh sistemlerinin balistik başarımı artmaktadır. Ancak bu zırh sistemlerinin maliyeti zırh çeliklerine ve yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarına kıyasla daha yüksektir. Ayrıca katmanlı zırhlarda ön seramik tabakanın balistik çarpışma esnasında parçalanması bir dezavantaj oluşturmaktadır [6].

Bu çalışmada T64 ısıl işlemi ile yaşlandırma uygulanmış 7039 Al-Zn zırh levhasının kaynak öncesi ve sonrası balistik özelliklerini belirlemek ve kaynağın mekanik ve balistik özelliklere etkisini tespit etmek amaçlanmıştır. Balistik deneyler 38 mm kalınlığındaki kaynaklı levhalara kinetik enerjili zırh delici mermiler kullanılarak yapılmıştır. Mekanik deneyler ise 12,7 mm kalınlığındaki kaynaklı levhalardan elde edilen numunelere çekme deneyi ve mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar MIL-DTL-46063H standardındaki [11] değerlerle karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL YÖNTEM VE MALZEME (EXPERIMENTAL METHOD AND MATERIALS)

2.1. Malzeme (Materials)

Balistik çalışmada kullanılmak üzere kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen 38x250x800 mm (KalınlıkxGenişlikxBoy) ebadındaki 2 adet MIL-

DTL-46063H-7039 Al zırh plakasına Şekil 1'de görüldüğü gibi talaş kaldırma işlemi ile özel kaynak ağı açılmış ve MIG kaynak yöntemiyle çok pasolu kaynaklı birleştirme yapılmıştır. Kullanılan malzemenin mekanik ve balistik özellikleri Tablo 2'de, kaynak ilave metalin kimyasal bileşimi Tablo 3'te ve malzemelerin kaynaklanmasında kullanılan parametrelerde Tablo 4'de verilmiştir. Kaynaklı parçanın mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile de 12,7 mm kalınlığındaki MIL-DTL-46063H-7039 Al Zırh plakasına V kaynak ağı açılmış ve aynı kaynak parametreleri kullanılarak kaynaklı birleştirme yapılmıştır (Şekil 2). Balistik amaçlı hazırlanan numuneye, barut miktarını değiştirmek suretiyle 12,7 mm'lik zırh delici mermilerle atış yapılmıştır. Bu atışlar ana metale, kaynak geçiş bölgesine ve kaynak metali bölgesine yapılmıştır. Kaynaklı parçaların mekanik özelliklerini tespit etmek için TS-138'e göre dört adet enine kesitli kaynaklı çekme numunesi hazırlandı. Bu numunelere Zwick 250 markalı cihazda, test hızı: 20 mm/dak, akma hızı: 15 mm/dak, elastik modülü: 10 N/mm²s parametrelerde çekme deneyi yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmenin mikro sertlik testleri için sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama (keller dağlayıcısı) işlemleri yapılmıştır. Numunelere 10 g yük altında Shimadzu HMV-2 cihazında sertlik testi yapılmıştır. Numunelerin mikro yapı resimleri ise Laica optik mikroskopta çekilmiştir.

Tablo 1. MIL-DTL-46063H-7039 Al Zırh plakasının kimyasal bileşimi.

(Chemical composition of MIL-DTL-46063H-7039 Al armor plate)

Element	Zn	Mg	Mn	Cu	Fe	Si	Cr	Ti	Diğer	Al
% Bileşim	3,5-4,5	2,3-3,3	0,1-0,4	0,1	0,4	0,3	0,15-0,25	0,1	0,15	kalan

Tablo 2. MIL-DTL-7039 Al Zırh plakasının mekanik ve V₅₀ balistik özellikleri.

(Mechanical and V₅₀ ballistic properties of MIL-DTL-46063H-7039 Al armor plate)

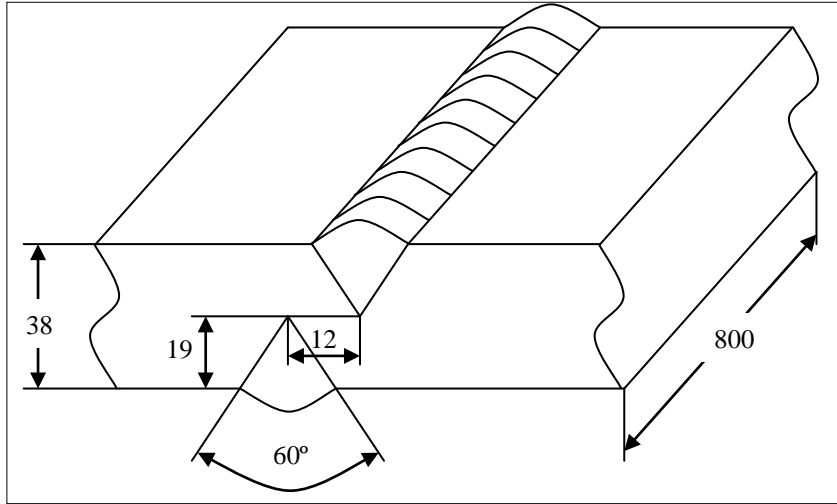
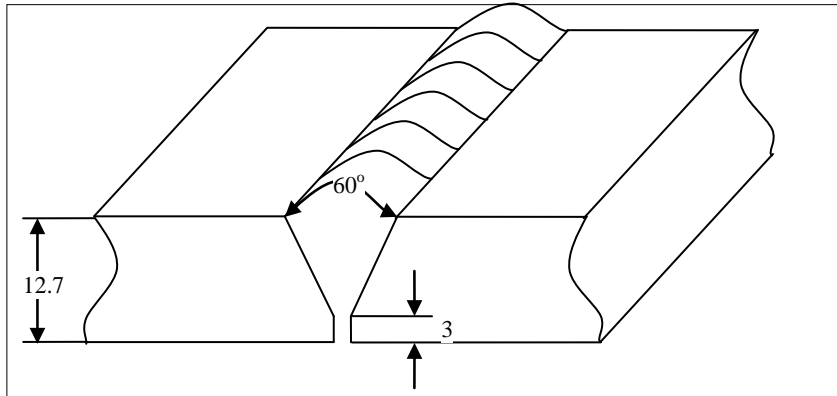
Kalınlık (mm)	Çekme gerilmesi (MPa)	Akma gerilmesi (MPa)	% Uzama	V ₅₀ Balistik (m/sn)
38'e kadar	413,6	351,6	9	807,42
38'den kalın	393	331	8	

Tablo 3. İlave metalin kimyasal özellikleri [12]. (Chemical properties of filler metal)

AWS Sınıflaması	UNS No'su	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Diğer	Al
ER5356	A 95356	0.25	0,4	0,1	0,05-0,2	4,5-5,5	0,05-0,2	-	0,1	0,06-0,2	0,15	Kalan

Tablo 4. Kaynak işlem parametreleri. (Parameters of welding procedure)

Kaynak yöntemi	MIG	
Birleşim tipi	Alın birleştirme	
Kaynak tipi	38 mm levha Çift V- 12,7 mm levha V	
Dolgu malzemesi	İmalatçı firma	Safra
	Tipi	Er 5356
	Çapı	Ø 1.6 mm
	Markası	ANSI/AWS A 5.10
Kaynak öncesi ara paso temizliği	--- Paslanmaz tel fırça --- Yağ alma --- Oksit alma	
Malzeme sıcaklığı	Oda sıcaklığı	
Örtü ortamı	Koruyucu ortam	Gaz ortamı
	Gaz karışımı	%99.999 Ar
	Gaz debisi	12-14 lt/min
	Nozul boyutu	Ø 10 mm
Kaynak konumu	Düz	
Kanak işlemi	Yarı otomatik	
Kaynak akımı	Doğru akım (DC)	
Kutuplama	Ters kutuplama, Elektrot (+), Malzeme (-)	

**Şekil 1.** Balistik özellikleri belirlemek amacıyla hazırlanan kaynak numunesi.
(Prepared welded sample to determine the ballistic properties)**Şekil 2.** Mekanik özellikleri belirlemek amacıyla hazırlanan kaynak numunesi.
(Prepared welded sample to determine the mechanic properties)

2.2. Balistik deney uygulaması (Ballistic experiment procedure)

Bir zırh plakasının, balistik sınır değerini tespit etmede en önemli etken V_{50} hızıdır. V_{50} %50 zırh plakasının delinme veya delinmeme ihtimalini gösteren hız olarak tanımlanır. Başka bir deyişle, V_{50} hızında zırh plakasının delinme ihtimali %50 dir. V_{50} delme hızından düşük hızlar malzemede kısmi delinme meydana getirirken, V_{50} delme hızından yüksek hızlar ise malzeme de tam delinme meydana getirir. V_{50} hızını tespit etmek için plakaya minimum dört atış yapılması gerekir. Değerlendirmeye alınan en az dört atıştan, ikisi plakayı delen diğer ikisi de delmeyen hız değerleri olmalıdır. Ayrıca, bu dört hız dağılımında, plakayı en yüksek hızda delen merminin çarpma hızından, plakayı delmeyen en düşük hızdaki merminin çarpma hız farkı 18,29 m/s geçmeme şartı aranır. Bu sonucu veren dört atışın mermi çarpma hızlarının aritmetik ortalaması alınır. Bulunan sonuç zırh plakasının V_{50} balistik sınır değerini verir. 7039 Al-Zn levhanın MIL-DTL-46063H standardındaki V_{50} balistik sınırı 807,42 m/s'dir. Kaynaklı levhadan elde edilen V_{50} balistik sınır değerler, bu değer (807,42 m/s) altında ise kabul sınırları içinde yer almadığı, üstüde ise kabul sınırları içinde yer aldığı belirlenir. Şekil 3'te Balistik deney düzeneğinin temsili gösterimi verilmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Ana metale yapılan atışlar ve V_{50} balistik sınır (Shootings on base metal and V_{50} ballistic limit)

Ana metal bölgesine 8 adet atış yapılmış ve sonuçları Tablo 5-a'da verilmiştir. Bu atışlardan beş tanesi ana

malzemede kısmi, üç tanesi de tam delinme meydana getirmiştir. Dağılımı 18,29 m/s altında bulunan ve levhayı delen 7 ve 8 nolu atışlar ile levhayı delmeyen 4 ve 6 nolu atışlar değerlendirmeye alındı ve V_{50} balistik sınır değeri hesaplanmıştır.

$$V_{50 \text{ Ana metal}} = 819,61 \text{ m/s}$$

3.2. Kaynak bölgesine yapılan atışlar ve V_{50} balistik sınır (Shootings on welded metal and V_{50} ballistic limit)

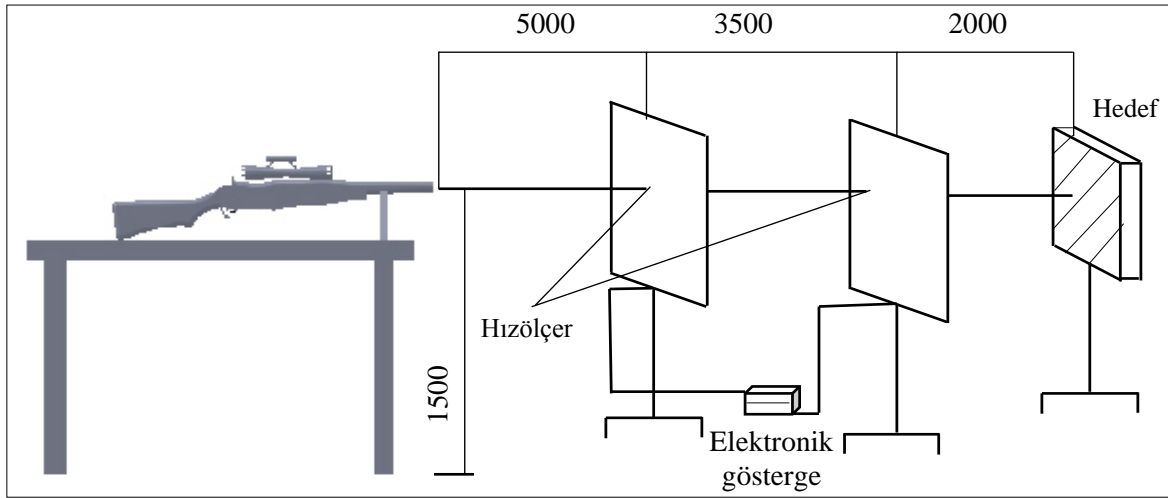
Kaynak bölgesine toplam olarak 6 adet atış yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 5-b'de toplu olarak verilmiştir. Levhayı delen 3 ve 4 nolu atışlar ile levhayı delmeyen 5 ve 6 nolu atışlar değerlendirmeye alınmış ve V_{50} balistik sınır değeri hesaplanmıştır.

$$V_{50 \text{ Kaynak bölgesi}} = 736,40 \text{ m/s}$$

3.3. Geçiş bölgesine yapılan atışlar ve V_{50} balistik sınır (Shootings on heat affected zone (HAZ) and V_{50} ballistic limit)

Kaynak geçiş bölgesine toplam olarak 21 adet atış yapılmış ve sonuçlar Tablo 5-c'de toplu olarak verilmiştir. Bu atışlardan, dağılımı 18,29 m/s'nin altında olma şartını sağlayan ve zırh levhasını delen ve delmeyen 17-19-20-21 nolu atışların çarpma hız değerleri alınarak geçiş bölgesinin V_{50} balistik sınır değeri hesaplanmıştır.

$$V_{50 \text{ Geçiş bölgesi}} = 745,54 \text{ m/s}$$



Şekil 3. Balistik deney düzeneğinin şematik gösterimi (mesafe mm).

(Schematic view of the experimental setup used for the ballistic testing. Dimensions are in mm)

Tablo 5. Balistik deney sonuçları; (Ballistic experimental results)
a- Ana metal bölgesi, (Base metal) b- Kaynak metali bölgesi, (welded metal)
c- Geçiş bölgesi (heat affected zone)

Atış No	Barut Miktarı (mg)	Hız (m/s)			Sonuç
		Ort. hız	Hız kaybı	Çarpma hızı	
1	2,90	805,59	2,44	803,15	KD
2	2,92	811,38	2,44	808,94	KD
3	2,94	803,45	2,44	801,01	KD
4	2,96	822,35	2,44	819,91	KD
5	2,98	837,90	2,44	835,46	TD
6	2,97	817,17	2,44	814,73	KD
7	2,98	825,70	2,44	823,26	TD
8	2,98	823,57	2,44	821,13	TD

(a)

Atış No	Barut Miktarı (mg)	Hız (m/s)			Sonuç
		Ort. hız	Hız kaybı	Çarpma hızı	
1	2,75	755,90	2,13	753,77	TD
2	2,65	726,64	2,13	724,51	KD
3	2,70	746,76	2,13	744,63	TD
4	2,67	733,04	2,13	730,91	TD
5	2,65	743,41	2,13	741,27	KD
6	2,63	731,52	2,13	729,39	KD

(b)

Atış No	Barut Miktarı (mg)	Hız (m/s)			Sonuç
		Ort. hız	Hız kaybı	Çarpma hızı	
1	2,96	822,96	2,44	820,52	TD
2	2,93	807,11	2,44	804,67	TD
3	2,93	816,86	2,44	814,43	TD
4	2,93	843,99	2,44	841,55	KD
5	2,93	814,43	2,44	811,99	TD
6	2,91	800,71	2,44	798,27	TD
7	2,89	800,40	2,44	797,97	TD
8	2,87	803,15	2,44	800,71	TD
9	2,85	788,21	2,44	785,77	TD
10	2,85	791,57	2,44	789,13	TD
11	2,83	788,21	2,44	785,77	TD
12	2,79	766,27	2,13	764,13	TD
13	2,50	712,01	2,13	709,88	KD
14	2,57	727,25	2,13	725,12	KD
15	2,65	724,20	2,13	722,07	KD
16	2,75	730,91	2,13	728,78	KD
17	2,85	739,14	2,13	737,01	KD
18	2,60	710,18	2,13	708,05	KD
19	2,85	752,55	2,13	750,42	TD
20	2,75	747,06	2,13	744,93	KD
21	2,85	751,94	2,13	749,81	TD

(c)

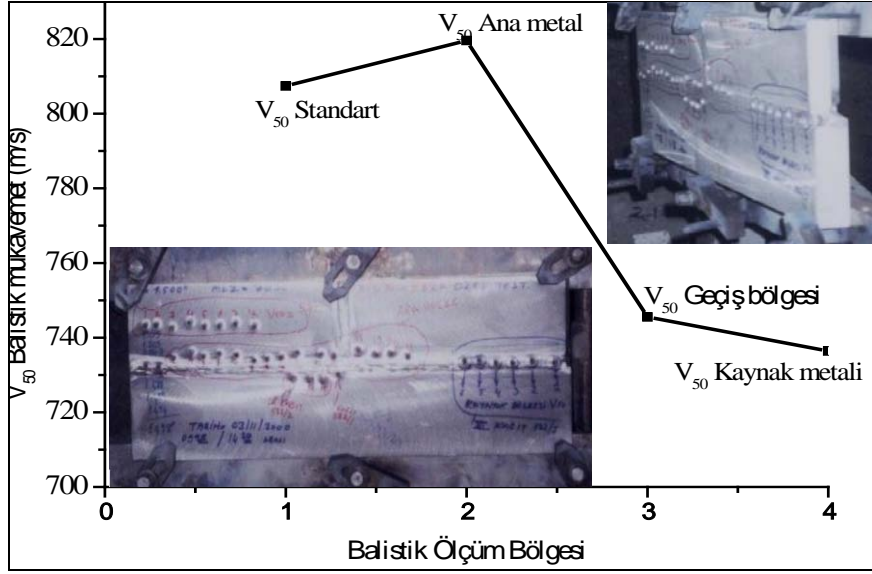
KD: Kısmi delinme TD: Tam delinme

3.4. Sonuçların karşılaştırılması (Comparison of results)

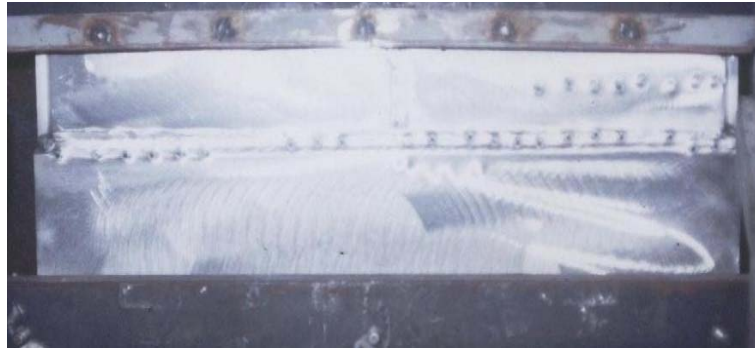
Ana malzemenin V_{50} balistik sınırı, 819,61 m/s'dir. 7039 Al-Zn alaşımının MIL-DTL-46063H standardındaki V_{50} balistik sınırı 807,42 m/s'dir. Dolayısı ile ana malzemenin V_{50} balistik sınırı 12,19 m/s standart değer üzerinde çıkmıştır ve ana malzemenin balistik sınır değeri, kabul sınırlarının içinde yer aldığı görülmüştür. Kaynak geçiş bölgesinin V_{50} balistik sınırı, 745,54 m/s'dir. Elde edilen bu değer, standartlarda verilen V_{50} balistik sınır değerinin 61,87 m/s altında bulunmuştur. Kaynak geçiş bölgesinin V_{50} balistik sınır ile ana malzemenin V_{50} balistik sınır değeri kıyaslandığında aradaki fark 74,07 m/s'dir. Kaynak bölgesinin V_{50} balistik sınırı 736,40 m/s'dir. Bu değer standartlarda verilen V_{50} balistik sınır değerinin 71,02 m/s altında bulunmuştur. Kaynak bölgesi, ana malzemeye göre 83,21 m/s

balistik değer kaybına uğradığı görülmüştür. Standart ve elde edilen V_{50} balistik sınır değerleri Şekil 4'te toplu olarak verilmiştir. Şekil 5'te balistik deney sonrası zırh levhasının arkadan görüntüsü verilmiştir.

Elde edilen çekme değerleri ile malzemenin standart çekme değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Kaynaklı numunenin mekanik özelliklerinde gözle görülür oranda bir azalma vardır. Kaynaksız standart değerlere göre çekme gerilmesi 105,6 MPa ve akma gerilmesi 90,8 MPa azalırken % uzama ise %2,9 oranında artmıştır. Kaynak dolgu metalinin özellikleri, kaynak sonrasında değişen mikro yapı ve sertlik değerlerindeki değişim malzemenin % uzama miktarını artırmış ve mekanik özelliklerin azalmasına neden olmuştur. Ayrıca, deney esnasında numunelerin genellikle kaynak metali ve geçiş bölgesine yakın yerlerden koptuğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Standart ve elde edilen V₅₀ balistik sınır değerleri, (Standart and gained V₅₀ ballistic limit values) V₅₀ balistik sınır değeri ölçüm bölgeleri; a- ön, b- yan görünüş, (Measurement zones of V₅₀ ballistic limit value; a- front view, b- side view)



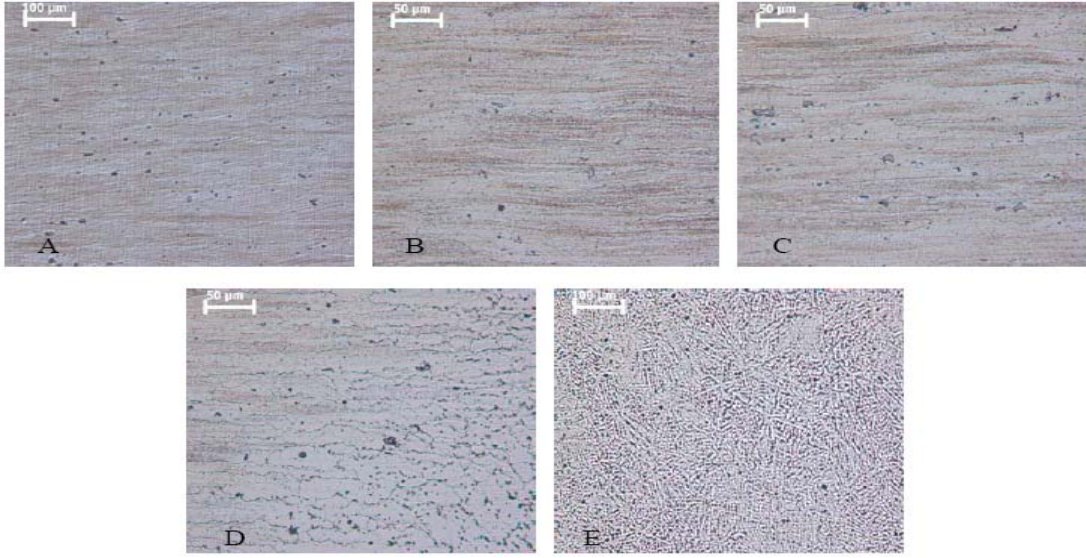
Şekil 5. V₅₀ balistik sınır değeri ölçüm bölgeleri arkadan görünüş. (Back side view of V₅₀ ballistic limit value measurement zones)

Tablo 6. Kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin çekme deney sonuçları. (Tensile strength results of welded and non-welded samples)

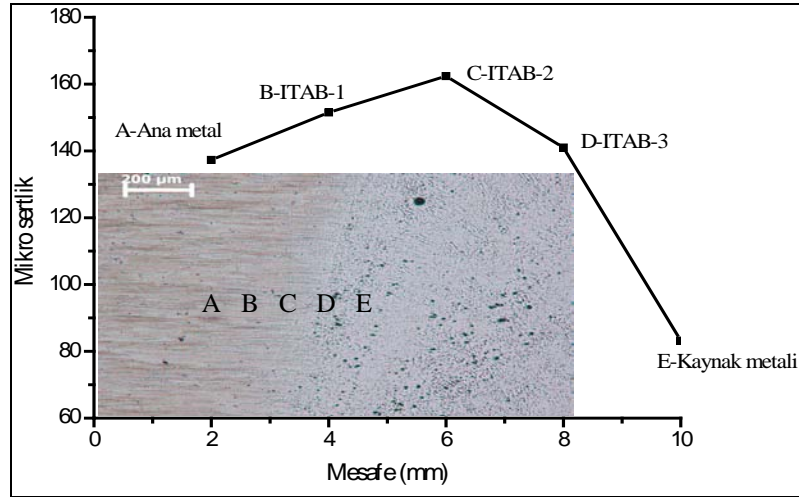
	Kalınlık (mm)	Çekmedayanımı (MPa)	Akmedayanımı (MPa)	% Uzama
MIL-DTL-46063 H	38'e kadar	413,6	351,6	9
(kaynaklı)	38'den kalın	393	331	8
Kaynaklı Numune	12,7	307	260,8	11,9

Şekil 6-8'de mikro yapı görüntüleri ve mikro sertlik verilmiştir. Şekil 6-A'da ana metal mikro yapısı verilmiştir. Şekil 6-B'de ana metale yakın geçiş bölgesi-1'e ait mikro yapı verilmiştir. Bu bölgede kısmi ısıdan etkilenme söz konusu olduğu için ana metale göre sertlik değerinde kalıntı gerilmelerden kaynaklanan bir artış görülmektedir (Şekil 7). Şekil 6-C'de geçiş bölgesi-2'ye ait mikro yapı verilmiştir. Bu bölgedeki ısıdan etkilenme geçiş bölgesi-1'e göre daha fazladır ve hadde yönünde taneler geçiş bölgesi-1'e göre daha iridir. Ayrıca bu bölgeye ait mikro sertlik en yüksek değerdedir. Şekil 6-D'de geçiş bölgesi-3'e ait mikro yapı verilmiştir. Bu bölge

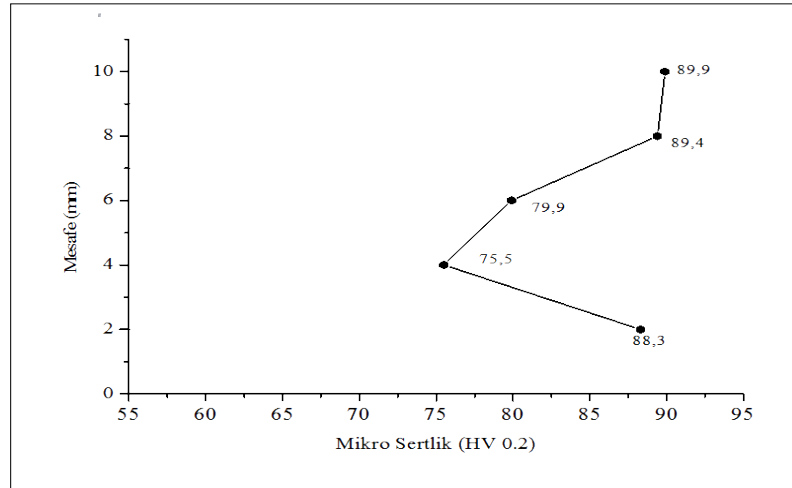
kaynak metali bölgesine yakın olduğundan ısıdan etkilenme diğer bölgelere göre daha fazladır ve hadde yönünde taneler daha da iridir. ısıdan etkilenen bölgeler arasında en iri tane yapısı geçiş bölgesi-3'te görülmektedir. Bu bölgeye ait mikro sertlik değerinin ısıdan etkilenen diğer bölgelere göre azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 7). Şekil 6-E'de kaynak metali bölgesine ait mikro yapı verilmiştir. Bu bölge, sıvı halden katılaştığı için rastgele yönelmiş dallantılı yapıda olduğu görülmektedir. Bu bölge sertliğinin diğer bölgelere göre daha düşük olduğu Şekil 7'de görülmektedir. Ayrıca kaynak dikişi kesitlerindeki sertlik değişimi Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Isıdan etkilenmiş bölgeler; (Heat affected zones) A-Ana metal, (Base metal) B-Geçiş bölgesi-1, (Heat affected zone-1) C-Geçiş bölgesi-2,(Heat affected zone-2) D-Geçiş bölgesi-3, (Heat affected zone-3) E- Kaynak metalı. (Welded metal)



Şekil 7. Isıdan etkilenmiş bölgenin mikro yapı resmi ve mikro sertlik değerleri. (Micro structure photos and micro hardness values of heat affected zone)



Şekil 8. Kaynak metalı mikro yapı resmi ve mikro sertlik değerleri. (Micro structure photos and micro hardness values of welded metal)

Kaynaklı zırh malzemesinde uygulanan balistik ve mekanik deneylerin sonuçları birbirleri ile paralellik göstermektedir. Mekanik özellikler azaldıkça balistik özelliklerin de azaldığı tespit edilmiştir. Kaynaklı numunenin geçiş bölgelerinde kalıntı gerilmelere bağlı mikro sertlik artışları gözlenirken mekanik ve balistik özelliklerde azalma tespit edilmiştir.

Elde edilen mikro sertlik sonuçlarında kaynak metali sertlik değeri ana metal ve geçiş bölgesi sertlik değerlerinden daha az olduğu görülmüştür. Bu azalma ilave metalin kimyasal yapısından kaynaklanmaktadır. En yüksek sertlik değeri geçiş bölgesinde görülmüştür. Bunun nedeni ise kaynak sonrasında numuneler (90 günden fazla) bekletilmiştir. Bu sürede geçiş bölgesi sertliği doğal yaşlanmaya bağlı olarak artmıştır. Oğuz [13], 7005 ve 7039 Al alaşımlarının kaynaktan sonra 30-90 günlük bir doğal yaşlanma ile sertliklerinin, ısıtma işlemiyle yaşlandırılan ana metal sertliğine ulaştıklarını belirtmiştir. Wu ve Wang[14], 6 mm kalınlığındaki 7005 Al alaşımını (ER5153, ER5556 ve ER5356) ilave metal kullanarak TIG kaynak yöntemi ile birleştirdiler. Kaynak sonrası numunelere değişik yaşlanma işlemleri uyguladılar ve 18 gün doğal yaşlanmış numunelerin kaynak metali sertliğinin ana metal ve geçiş bölgesine göre daha az olduğunu belirlediler. Ayrıca, doğal yaşlanmaya bağlı olarak geçiş bölgesi sertliklerinin de ana metal sertlik değerine ulaştığını tespit ettiler. Bu çalışmada, kaynaklı numunenin çekme mukavemeti 307 MPa olarak bulunmuş ve kopmaların kaynak metali bölgesinden olduğu tespit edilmiştir. Wu ve Wang[14], tarafından yapılan çalışmada da kaynak sonrası 18 gün normal yaşlandırma uygulanan numunelerinin çekme mukavemeti sonuç değerleri ER5153: 275 MPa, ER5556: 280 MPa ve ER5356: 275 MPa olarak bulunmuş ve numunelerdeki kopmalarında kaynak metali bölgesinden olduğu tespit edilmiştir. Geçiş bölgesinin sertliği ana metalden yüksek olmasına rağmen V_{50} balistik sınırı ana metale göre düşük çıkmıştır. Bu sonuç doğal yaşlanma sürelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kaynaklı levhaya balistik deneyler kaynaktan birkaç gün, sertlik deneyleri ise 90 gün sonra uygulanmıştır.

Bu konu ile ilgili yapılan bir çalışmada, su verilen ve menevişlenen yüksek sertlikteki bir çeliğin kaynaklandığı, ısıdan etkilenen bölgelerinde sertlikte azalma meydana geldiği ve bu azalmanın balistik başarımın derecesini belirleyen en önemli parametre olduğu belirtilmiştir [3]. Yapılan başka bir çalışmada da sertleştirilen ve menevişlenen yüksek sertlikteki düşük alaşımlı çeliğe üç farklı yöntemle kaynak yapılmış ve kaynak yöntemlerinin balistik başarımına etkisi araştırılmış. Bu araştırma sonucunda, en iyi balistik performansını ince taneli yapı, en kötü balistik performansı da geniş sütünsal taneli yapının gösterdiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca ısı girdisine bağlı olarak tane yapısının değiştiği ve ısıdan etkilenen bölge genişledikçe balistik performansın da azaldığı tespit edilmiştir [5]. Edwards and Mathewson [15]

0,95 C içeren takım çeliğinin kaynaklı ve kaynaklı olmayan şartlarda 7,62 mm'lik bilye ve zırh delici mermilerle balistik davranışını incelemişler ve 510 HV sertliğe sahip levhada büyük bir çatlağın oluştuğunu tespit etmişlerdir. Maweja and Stumpf [16-18] 5,56 mm çapında bilyeler kullanarak zırh çeliklerini değişik eğimlerde balistik teste tabi tutmuşlar ve deneyde kullanılan çeliklerin balistik davranışlarını mikro yapı ve mekanik özelliklerin etkilediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca mikro yapı ve çekme gerilmesindeki akma oranının çeliklerin balistik başarımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Zırh delen mermiler kullanılarak yapılan bir çalışmada 7039 Al alaşımı zırh çeliklerinden daha iyi balistik performans gösterdiği tespit edilmiş ve mermi çarpma eğimi arttıkça malzemelerin balistik direncinin arttığı belirtilmiştir [19].

Özşahin ve Tolun [8], Kalınlığı 6,35 mm olan kaplanmamış Al plakasına 378 ve 397 m/s hızla çarpan mermiler, levhada tam delme (veya tam delmeye yakın) çarpma derinliği oluşturduğunu tespit ettiler. Benzer sonuçları 8 mm kalınlığındaki levhada 400 m/s'nin üzerindeki çarpma hızlarında elde ettiler. 6,35 mm kalınlığındaki her bir levhaya (yüzeyleri Metko 68 F-NS-1 kaplı, yüzeyi Metco 201 NS kaplı ve yüzeyi kaplanmamış) yaklaşık 380 m/s hızla çarpan mermilerin benzer oranda delme derinliği ve çıkıntı oluşturduğunu ve bu kalınlıktaki levhaların balistik sınırının 380 m/s olduğunu belirlediler. Ancak yüzeyi kaplı levhalar 400 m/s çarpma hızına kadar mermileri durdurduğu, yüzeyi kaplı olmayan levhanın ise 380 m/s'nin üzerindeki hızlarda delindiğini tespit etmişlerdir. 380 m/s çarpma hızı, Yüzeyi ZrO_2 kaplı levhada en az delme derinliği ve çıkıntı oluştururken, yüzeyi kaplı olmayan levhada ise en fazla delme derinliği ve çıkıntı olduğu tespit etmişlerdir. Yüzeyi kaplı levhalar kendi aralarında karşılaştırılmış ve 380 m/s deki düşük hızlarda ZrO_2 kaplı levhada daha az delme derinliği ve çıkıntı oluşurken 400 m/s'nin üzerindeki yüksek hızlarda Co-Mo-Cr kaplı levhada daha az delme derinliği ve çıkıntı oluştuğunu tespit ettiler. 8 mm kalınlığındaki levhanın balistik deneylerinden de benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Jena ve arkadaşlarının [9], yaptıkları balistik başarım deneyinde kalınlığı 27-28 ve 30 mm olan 7017 Al levhaların 830 m/s çarpma hızındaki bir mermiyi başarı ile durdurduğunu, 26 mm kalınlıktaki Al levhanın ise delindiğini tespit etmişlerdir. Sadanadan ve Hetherington [10] 7,62 mm'lik zırh delici mermilerle sıfır çarpma açısıyla yaptıkları balistik başarım deneyinde alümina-Al zırhının V_{50} balistik sınırını 700 m/s ve alümina-çelik zırhının V_{50} balistik sınırını 634 m/s olarak tespit ettiler. Çarpma açısını değiştirmeden bilye ile yaptıkları deneyde de alümina-Al zırhının V_{50} balistik sınırı 810 m/s ve alümina-çelik zırhının V_{50} balistik sınırı 631 m/s olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, çarpma açısı arttıkça her iki zırh grubunda V_{50} balistik sınırının arttığını belirlemişlerdir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİ (CONCLUSIONS AND SUGGESTION)

7039 Al-Zn zırh plakası MIG kaynak yöntemi ile kaynaklanmış, balistik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu incelemede aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- V_{50} balistik mukavemet değerlerinin; Ana malzemede 819,61 m/s, kaynak geçiş bölgesinde 745,54 m/s ve Kaynak bölgesinde ise 736,40 m/s olduğu tespit edilmiştir. MIL-DTL-46063H standardındaki V_{50} balistik mukavemeti ile bu sonuçlar karşılaştırıldığında ana malzemenin balistik mukavemeti kabul sınırları içinde yer alırken, kaynak bölgesi ve geçiş bölgesinin balistik mukavemeti kabul sınırları altında yer aldığı tespit edilmiştir. En fazla balistik mukavemet kaybı kaynak bölgesinde tespit edilmiştir.

- MIL-DTL-46063H standardındaki mekanik mukavemet değerleri ile karşılaştırıldığında kaynaklı numunenin çekme ve akma dayanımı azalırken % uzama oranı ise artmıştır.

- Isıdan etkilenen bölgelerde mikro yapının değiştiği ve bu değişime bağlı olarak mikro sertlikte artma meydana geldiği tespit edilmiştir. Kaynak ısı ile oluşan kalıntı gerilmeler malzemenin sertliğini artırırken, mekanik ve balistik özelliklerini düşürmüştür.

- Elde edilen balistik ve mekanik özelliklerin birbirleri ile doğru orantılı olduğu yani mekanik özellikler azaldıkça balistik özelliklerinde azaldığı tespit edilmiştir.

- Kaynaklı tasarımlarda kaynak parametreleri ve birleşim taslağı mekanik ve balistik özellikleri belirleyen en önemli faktörlerdir. Bu parametrelerin ideal düzeyde seçilmesi gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Faulkner, J.F., Jonson, E.W., Military vehicles and equipment, American Society for Design Application, Vol:II, Chapter: 19, 460, 1967.
2. Madhusudhan Reddy G., Mohandas T., Papukutty K.K., Effect of welding process on the ballistic performance of high-strength low-alloy steel weldments, **J. of Mater. Proces. Tech.**, 74, 27–35, 1998.
3. Madhusudhan Reddy G, Mohandas T. Ballistic performance of high strength low alloy steel weldments. **J. of Mater. Proces. Tech.**, 57, 23–30, 1996.
4. Mohandas T, Madhusudhan Reddy G, Satish Kumar B. Heat affected zone softening in high strength low alloy steels. **J. of Mater. Proces. Tech.**, 88, 284–294, 1999.

5. Madhusudhan Reddy G., Mohandas T., Papukutty K.K., Enhancement of ballistic capabilities of soft welds through hardfacing, **Int. J. of Impact Eng.** 22, 775–791, 1999.
6. Demir T., Übeyli M., Yıldırım R. O., Investigation on the ballistic impact behavior of various alloys against 7,62 mm armor piercing projectile, **Mater. and Des.** 29, 2009–2016, 2008.
7. Übeyli M, Yıldırım O, Ögel B. Investigation on the ballistic behavior of $Al_2O_3/Al2024$ laminated composites, **J. of Mater. Proces. Tech.**, 196:356–64, 2008.
8. Özşahin E. ve Tolun S., Influence of surface coating on ballistic performance of aluminum plates subjected to high velocity impact loads, **Materials and Design**, 31: 1276–1283 (2010).
9. Jena P. K., Mishra B., Kumar K. S., T. Bhat B., An experimental study on the ballistic impact behavior of some metallic armour materials against 7,62 mm deformable projectile, **Materials and Design** 31:3308–3316 (2010).
10. Sadanandan S., and Hetherington J.G., Characterisation of ceramic/steel and ceramic/aluminium armors subjected to oblique impact **Int. J. Impact Enrgng.** 19: 811–819 (1997).
11. Aluminum alloy 7039, MIL-DTL-46063 H, ARMOR PLATE, 14 September 1998.
12. American welding society, ANSI/ AWS A5. 10-92 An American national standart, Spesification for bare aluminum and aluminum alloy welding electrodes and rods.
13. Oğuz B, Demir dışı metallerin kaynağı, OERLIKON Yayını, 1-9, 1990.
14. Wu Y.E., Wang Y.T., Enhanced SCC resistance of AA7005 welds with appropriate filler metal and post-welding heat treatment Department of Mechanical Engineering, **National Theoretical and Applied Fracture Mechanics** 54: 19–26, 2010.
15. Edwards MR, Mathewson A. The ballistic properties of tool steel as a potential improvised armour plate. **Int. J. Impact Eng.**, 19(3):297–309, 1997.
16. Maweja K, Stumpf W. Fracture and ballistic-induced phase transformation in tempered martensitic low-carbon armour steels. **Mater. Sci. Eng. A**;432:158–69, 2006.
17. Maweja K, Stumpf W. The design of advanced performance high strength lowcarbon martensitic armour steels, Part 1. Mechanical property considerations. **Mater. Sci. Eng. A**;485:140–53, 2008.
18. Maweja K, Stumpf W. The design of advanced performance high strength low carbon martensitic armour steels, Microstructural considerations. **Mater. Sci. Eng. A**; 480:160–6, 2008.
19. Orgorkiewicz RM. Armor for combat vehicles. New armor materials. **Mach. Des.** 1969:36–42.