

# AA2024 Alüminyum Alaşımlarının Lazer Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi

## The Effects of Welding Parameters on the Mechanical Properties on Laser Welding of AA2024

Adnan AKKURT<sup>a\*</sup>, Aydın ŞIK<sup>a</sup>, İsmail OVALI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Gazi Üniv., Endüstriyel Sanatlar Fakültesi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Bölümü, 06830, Gölbaşı, Ankara

<sup>b</sup>Hacettepe Üniv., Hacettepe Meslek Yüksekokulu, Makine Resim Konst. Bölümü, 06800, Beytepe, Ankara,

Geliş Tarihi/Received : 14.04.2011, Kabul Tarihi/Accepted : 02.11.2011

### ÖZET

Bu çalışmada, alüminyum malzemelerin birleştirilmesinde yoğun olarak kullanılmaya başlanan lazer kaynak yönteminde, lazer kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirilmiş AA 2024 alaşımının mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. AA 2024 seçilmesinin sebebi makine imalat sanayi, havacılık ve uzay çalışmalarında alüminyum malzemelerin yoğun bir şekilde kullanılmasıdır. Işın Güç Yoğunluğu (kW/mm<sup>2</sup>), Lazer Gücü (kW) ve Darbe Enerjisi (Joule) parametreleri değişken olarak seçilmiştir. Bu amaçla, deney numuneleri üç farklı gruba ayrılmış ve her grupta farklı bir parametre karşılaştırılmıştır. Kaynak parametrelerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisini görebilmek amacıyla, mikroyapı incelemesi, mikro sertlik ölçümü ve çekme testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar, en iyi mekanik özelliklerin I. Grup numunelerde elde edildiğini göstermiştir. Lazer gücünün artması ile ısıdan etkilenen bölgenin genişlediği bunda mekanik özellikleri olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Alüminyum alaşımları, Kaynak, Lazer kaynağı, Lazer güç yoğunluğu, Mekanik özellikler.

### ABSTRACT

In this study, the effects of laser welding parameters on the mechanical properties of AA2024 aluminum parts jointed with laser welding were investigated in the laser welding process this has been started using on joint of aluminum alloy. The reason preferring of AA2024 is that aluminum material has been widely used in aerospace and manufacturing industry. Laser power (kW), laser intensity (kW/mm<sup>2</sup>) and Pulse energy (j) were selected as process parameters. For this reason, all samples were classified for three groups and different parameter was compared in every group. Microstructure characterization, micro hardness measuring and tensile test were carried out in order to understand the effects of welding parameters on mechanical properties. Experimental study showed that the optimum mechanical properties were obtained on first group samples. Heat effected zone is widen with increasing of laser power and this result causes the negative effects on mechanical properties.

**Keywords:** Aluminum alloys, Welding, Laser welding, Laser intensity, Mechanical properties.

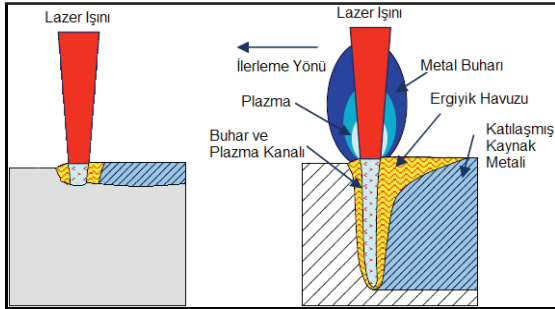
---

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : aakkurt@gazi.edu.tr (A. Akkurt)

## 1. GİRİŞ

Yüksek kaynak yoğunluğu ve uygulanabilirlikten dolayı lazer kaynağı araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Kaynaktaki ara yüzey reaksiyonunun sınırlı tutması bu kaynak yönteminin önemli bir özelliğidir. Düşük enerji girişi nedeni ile kaynak bölgesinde ısıdan etkilenme az olduğundan bağlantının yüksek dayanımı için en iyi birleştirme yöntemi lazer ışın kaynağıdır. Lazer, tek renkli, oldukça düz, yoğun ve aynı fazlı paralel dalgalar halinde genliği yüksek bir ışık demeti şeklinde tanımlanır. Başka bir ifade ile yapay radyasyon tetiklemesiyle gerçekleştirilen ışık kuvvetlendirilmesidir (Palanco v.d., 2001; Wloka v.d., 2007).

Lazerlerin ilk endüstriyel uygulamalarından biri metallerin kaynağıdır. İki metalin kaynağı sadece alaşım tipine ve bileşimine bağlı değildir. Gözeneklilik kaynak kalitesini açıklamak için önemli bir parametredir. Gözeneklilik derin kaynaklarda önemlidir. Otomotiv endüstrisinde yüksek güçlü lazerler transmisyonlar, ocaklar, katalitik dönüştürücüler, egzoz sistemleri ve dikiş kaynaklı tabakalar gibi pek çok parçada kullanılır. Gözeneklilik, yüzey hataları, tepecikler, katılma çatlakları, görülür (Şekil 1).



Şekil 1. Lazer iletim ve nüfuziyet kaynağı (Dilthey, 2000).

Endüstriyel lazer kullanıcıları iş parçaları için kaynak kalitesini geliştirmek için ekonomik yöntemler araştırılmaktadır. Lazer ışını doğrudan kaynak yapılacak malzemeye odaklanır. Şekil 7’de yoğun kullanıma sahip iletim ve nüfuziyet kaynaklarında kaynak bölgesinin şematik gösterimi Üretilmiş olan lazer ışını ile kaynak işlemi ve kaynak bölgesi diğer kaynak yöntemlerine göre daha dar bir bölgede gerçekleşir (Dilthey v.d., 1999; Dilthey, 2000; Metzbowler, 2009).

Weston ve arkadaşları farklı alüminyum alaşımlarında malzeme mikroyapısının lazer kaynak kabiliyeti üzerindeki etkisini incelemişlerdir ve yapıdaki prositelerin çekme dayanımını olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir (Weston v.d., 2004). Malek ve arkadaşları Al 2024 alaşımının darbeli lazer kaynağında katılma çatlaklarının oluşum eğilimlerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar tane sınırlarının sıvı metalle dolması katılma çatlaklarının başlamasına önemli bir bloke oluşturduğunu göstermiştir (Malek v.d., 2009). Literatürde lazer kaynağı ile ilgili birçok çalışma bulunmasına rağmen kaynak parametrelerinin Al 2024 alaşımının mekanik özellikleri üzerinde etkisini inceleyen sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Slıney ve Wolbarsht, 1996; Cieslak ve Fuerschbach, 1988; Weston v.d., 2004; Okon v.d., 2002; Ancona v.d., 2005; Tunnermann v.d., 2005; Sierra v.d., 2007; Kim v.d., 2010; Şık, 2002; Şık, 2006; Weiland, 2010).

Bu çalışmanın amacı, lazer kaynak parametrelerinin lazer kaynağı ile birleştirilmiş Al 2024 alüminyum alaşımı parçaların mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek ve optimum kaynak parametrelerini belirlemektir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

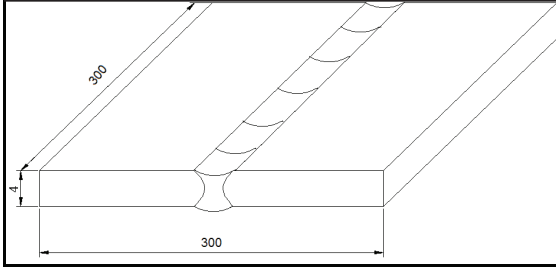
Çalışmada 4 mm kalınlığındaki Al 2024 alüminyum alaşımı malzeme kullanılmıştır. Kullanılan malzemenin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir

Tablo 1. Çalışmalarda kullanılan Al 2024 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Ağırlıkça %).

Al	Fe	Si	Cu	Mn	Zn	Ti	Cr
92.6	0.50	0.50	0.3 0.9	1.2 1.8	0.25	0.15	0.10

### 2. 1. Lazer Kaynak İşlemleri

Deneysel çalışmanın yapıldığı bu bölümde en iyi kaynak parametreleri elde edilmeye çalışılmış ve parametrelerin kaynak kalitesi üzerindeki etkileri yapılan mekanik testler ve metalografik çalışmalar yardımı ile belirlenmeye çalışılmıştır. Al 2024 alüminyum alaşımı malzemenin hazırlanmış olan 4 mm kalınlığındaki levhalara çift taraflı kaynak uygulanmıştır.



**Şekil 2. Lazer kaynağı ile birleştirilen Al 2024 parçalarının şematik gösterimi.**

Çalışmada 150 x 300 x 4 mm boyutlarında Al 2024 alüminyum alaşımı levhalar sırasıyla aşağıdaki (Tablo 2) lazer kaynak parametreleri kullanılarak 9 farklı levha birleştirilmiştir,

**Tablo 2. Lazer kaynak parametreleri.**

Numune Grubu	Işın Güç Yoğunluğu (kW/mm <sup>2</sup> )	Lazer Gücü (kW)	Darbe Enerjisi (Joule)	Darbe süresi (ms)	Kaynak İlerleme Hızı (m/sn)	Odaklanma Uzaklığı (mm)
1. Grup	5.2	1.89	9.8	6	3	60
1. Grup	5.2	1.89	7.2	5.2	3	60
1. Grup	5.2	1.89	5.4	4.6	3	60
2. Grup	6.4	2.4	9.8	6	2.4	60
2. Grup	6.4	2.4	7.2	5.2	2.4	60
2. Grup	6.4	2.4	5.4	4.6	2.4	60
3. Grup	5.8	2	9.8	6	2.8	60
3. Grup	5.8	2	7.2	5.2	2.8	60
3. Grup	5.8	2	5.4	4.6	2.8	60

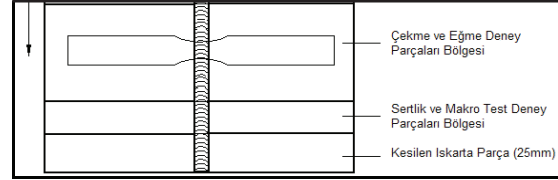
## 2. 2. Metalografik Çalışmalar

Kaynak bölgelerinin mikro yapılarını incelemek amacıyla, numuneler 10x20x30 mm boyutlarına getirilerek enine kesitleri alınmıştır. Kesiti alınan numunelere sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gridlik SiC zımpara kullanılmıştır. Zımparalanan numuneler otomatik kontrollü olarak elektrolitik parlatma ve dağlama işlemleri için geliştirilen struers cihazında hazırlanmıştır. Leica marka optik mikroskop yardımı ile mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

## 2. 3. Mekanik Testler

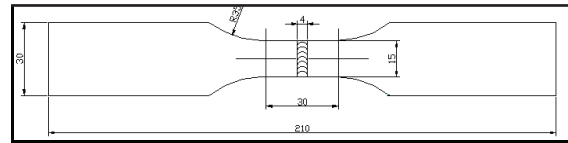
Sertlik ölçümleri Tronic HVS 1000 marka mikrosertlik ölçme cihazı ile (HV100) 100 g yük ve 20 sn uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri kaynak metalinden ana malzemeye doğru 4 ayrı bölgeden (kaynak metal, ısının tesiri altında kalan bölge, geçiş bölgesi ve esas malzeme) 10'ar adet ölçüm yapılarak sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır.

levhalar üç ayrı grup parametre seçilerek birleştirilmiş ve bu levhalardan (Şekil 2) kesilerek elde edilen numunelere standartlara uygun mekanik testler uygulanmıştır. Levhalardan test numunesi çıkarım planı şematik olarak Şekil 3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3. Test numunelerinin levhadaki dağılım planı.**

Çekme deneyi numuneleri TS 287 standardına uygun olarak hazırlanmış (Şekil 4) ve Instron 1114 marka çekme cihazında, oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında çene hızı 0.5 cm/dk olarak seçilmiş ve 2 kg'lık bir ön yük uygulanmıştır.

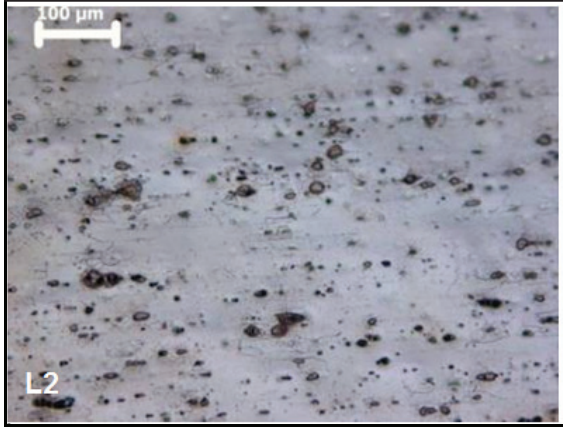


**Şekil 4. Çekme numune ölçüleri (Şık, 2002; 2006).**

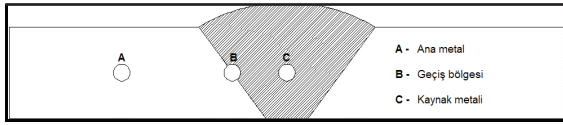
## 3. DENEYSEL BULGULAR VE İRDELEME

Deneylerde kullanılan AA 2024 alaşımının işlem görmemiş halinin mikro yapısı Şekil 5'de görülmektedir. Lazer kaynağının mikro yapı üzerindeki etkisini tam olarak görmek amacıyla kaynaklı birleştirilmiş parçalarda üç farklı bölgenin mikro yapıları incelenmiştir (Şekil 6).

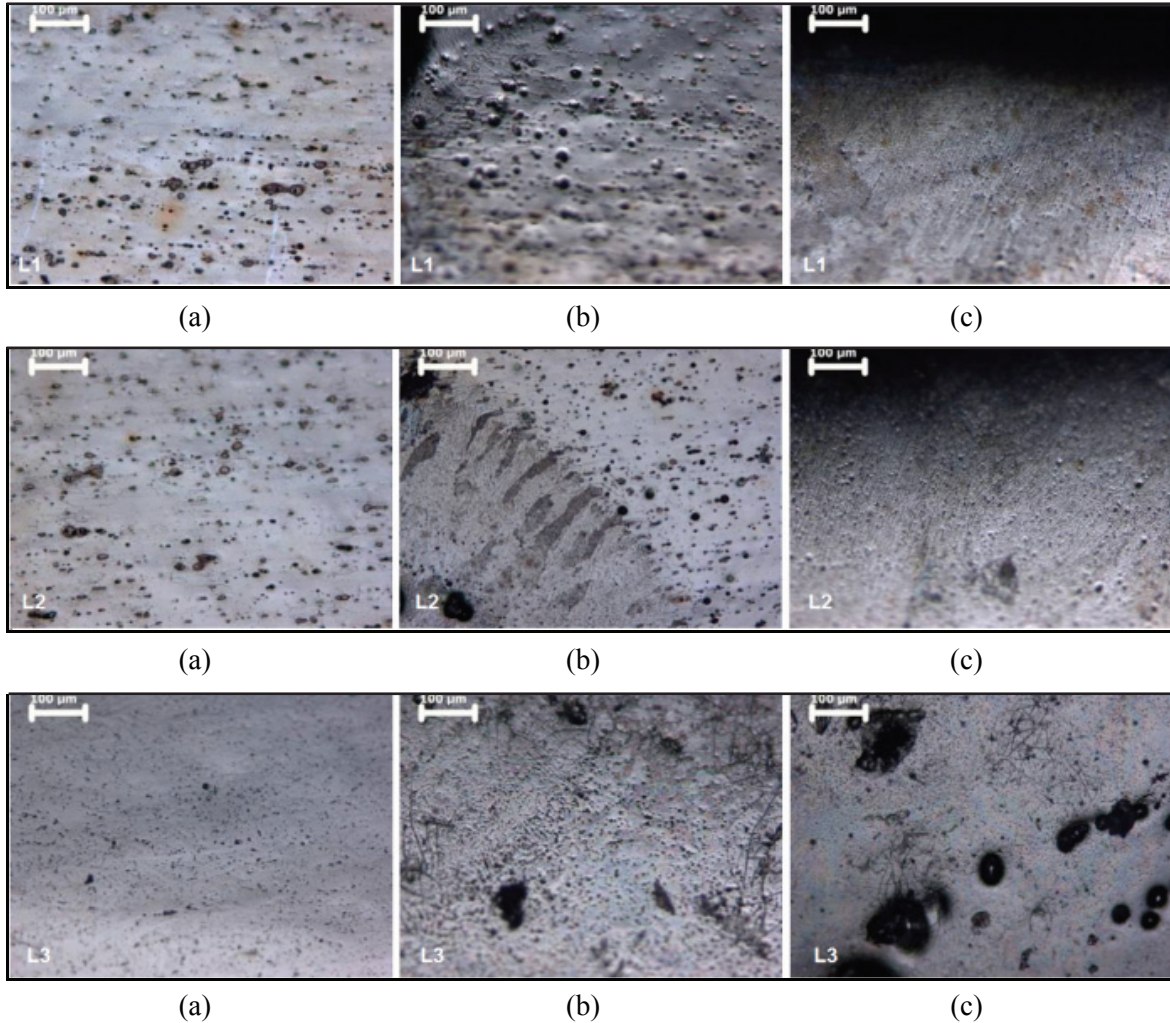




Şekil 5. Al 2024 Alaşımının mikro yapı görüntüsü.



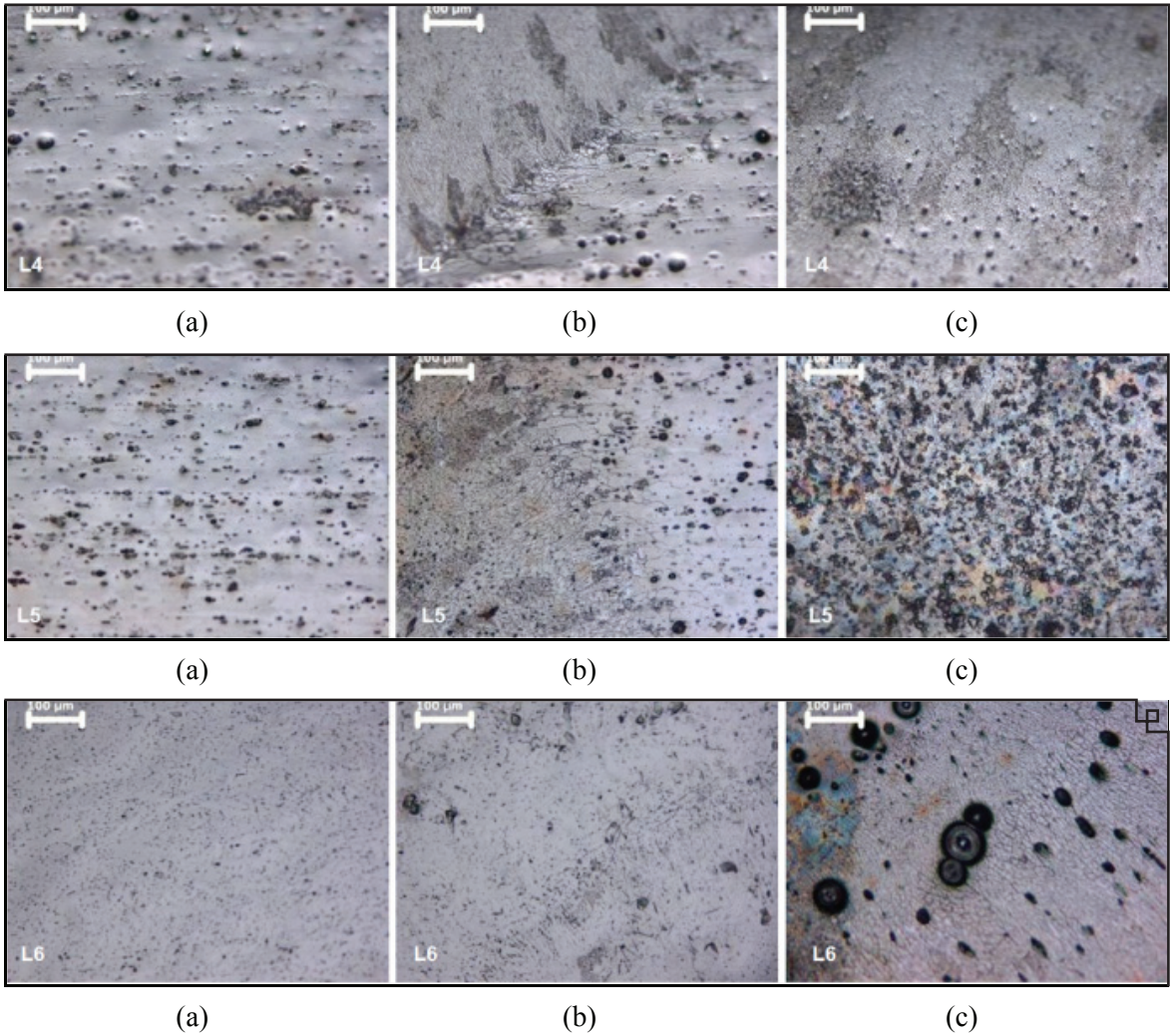
Şekil 6. Kaynak numunelerinin metalografik inceleme bölgeleri.



Şekil 7. 1. Grup numunelerin mikro yapı görüntüleri (a; Ana metal, b;Geçiş bölgesi, c; Kaynak metali).

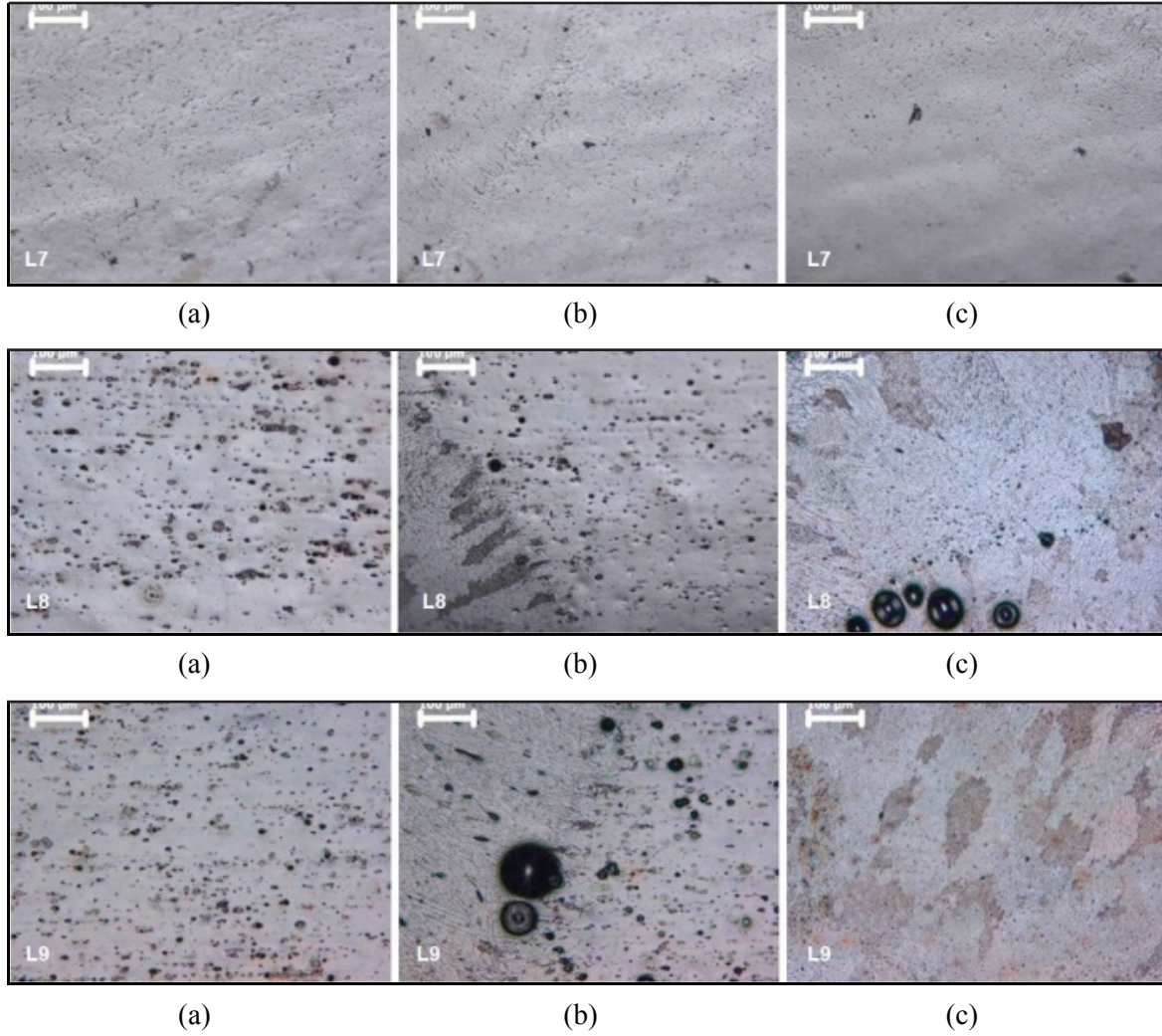
Şekil 7’de açıkça görülmektedir ki kaynak hızının en yüksek olmasından dolayı geçiş bölgesinde sütunsal yönlenmiş taneler görülmemektedir. Kaynak metalinin de L2 ve L3 ile karşılaştırıldığında oldukça ince yapılı olduğu görülmektedir. Şekil 8’de ortada bulunan yapı kaynak hızının azalması ile geçiş bölgesinde yönlenmiş ve L1 e göre daha iri taneler açıkça görülmektedir. L2 sondaki yapı kaynak metalinin oldukça homojen ve L1’e göre daha kaba bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. L3 ilk yapı ve ikinci yapıda görüldüğü üzere kaynak hızının oldukça düşük olmasından dolayı katılma sırasında gaz boşluklarının oluştuğu görülmüştür. Buna ilaveten kaynak hızının iyice azalması katılma hızını oldukça düşürmüştür ve L1 ve L2 ile karşılaştırıldığında en kaba yapıya sahip mikro yapının oluşmasına sebep olmuştur.

Şekil 9’da L7 ikinci yapıda açıkça görüldüğü gibi kaynak hızının yüksek olması homojen dağılımlı bir geçiş bölgesinin oluşmasını sağlamıştır. Bunun yanında tüm yapıda intermetalik bileşiklerin minimum düzeyde oluştuğu görülmüştür. L8 üçüncü yapıda kaynak hızının alması sonucunda oluşan gaz boşlukları açıkça görülmektedir. Buna ilaveten gaz boşluklarının miktarının da açıkça arttığı görülmektedir. Kaynak gücünün ikinci gruba göre azalması daha dar bir geçiş bölgesini oluşturmuştur. Tüm lazer kaynağı yapılmış parçalarda olduğu gibi üçüncü grupta kaynak hızının en düşük olduğu parçalarda geçiş bölgesinde (L9 ikinci yapıda) gaz boşluklarının oluştuğu görülmektedir. Buna ilaveten kaynak gücünün azalması ile ısıdan etkilenen bölgenin daraldığı görülmektedir. Özellikle kaynak metalinde inter-metalik bileşiklerin oldukça az oluştuğu görülmektedir.



Şekil 8. 2. Grup numunelerin mikroyapı görüntüleri (a; Ana metal, b; Geçiş bölgesi, c; Kaynak metal).





Şekil 9. 3. Grup numunelerin mikroyapı görüntüleri (a; Ana metal, b; Geçiş bölgesi, c; Kaynak metali).

### 3. 1. Lazer Kaynak Parametrelerinin Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkisi

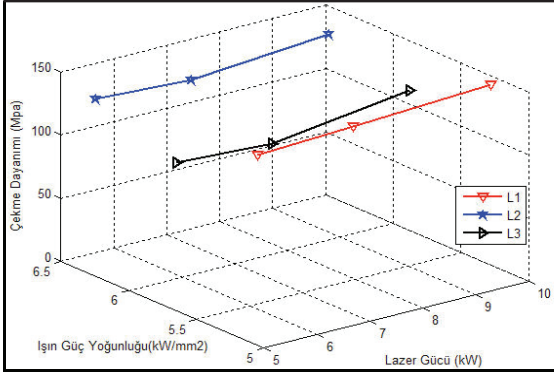
Lazer kaynak parametrelerinin diğer mekanik özelliklerde olduğu gibi çekme dayanımında da önemli bir etkiye sahip olduğu Şekil 10'da açıkça görülmektedir. Lazer kaynaklı parçalarda kaynak hızının artması tane morfolojisini değiştirmekte ve sertliği artırmasını sağlamaktadır. Sertliğin artması ile literatüre paralellik göstererek çekme dayanımı artırmaktadır (Şık, 2002; Şık, 2006). Kaynak hızının yanı sıra kaynak gücünün de çekme dayanımını önemli derecede etkilediği görülmektedir. Bu çalışmada Rofin marka 2500W/cm<sup>2</sup> gücüne sahip CO<sub>2</sub> lazer kaynak cihazı kullanılmıştır.

Kaynak gücünün artması ile kaynak sırasında ısı girdisi artmakta; bu da çekme dayanımı olumsuz etkilemektedir. Üç grup malzemede

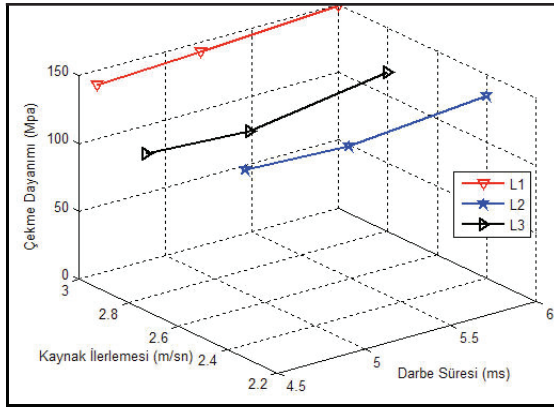
ölçülen 18 değerın aritmetik ortalaması alınarak grafik oluşturulmuştur. Burada en büyük ortalama (149 MPa) değeri birinci grup lazerle kaynatılmış numunelerde elde edilmiştir (Tablo 3). Buna ilaveten, lazer kaynağında özellikle düşük kaynak hızlarında gaz boşlukları artmakta bu da çekme dayanımı olumsuz etkilemektedir.

Tablo 3. Lazer kaynak grupları çekme değerleri.

Lazer 1.Grup (MPa)			Ana Metal
149	143	140	
Lazer 2.Grup (MPa)			165
134	125	129	
Lazer 3.Grup (MPa)			
117	102	106	



(a) Işın güç yoğunluğu (Lazer gücü).

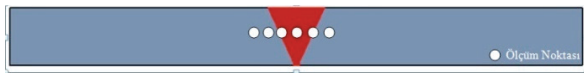


(b) Kaynak ilerlemesi (Darbe süresi).

**Şekil 10. Lazer Kaynak Parametrelerinin çekme dayanımı üzerindeki etkisi.**

### 3. 2. Lazer Kaynak Parametrelerinin Sertlik Üzerindeki Etkisi

Lazer kaynak parametrelerinin kaynak profilindeki sertlik dağılımını görebilmek amacıyla Şekil 11'de şematik olarak görüldüğü gibi sistematik bir mikro sertlik ölçümü gerçekleştirilmiştir.

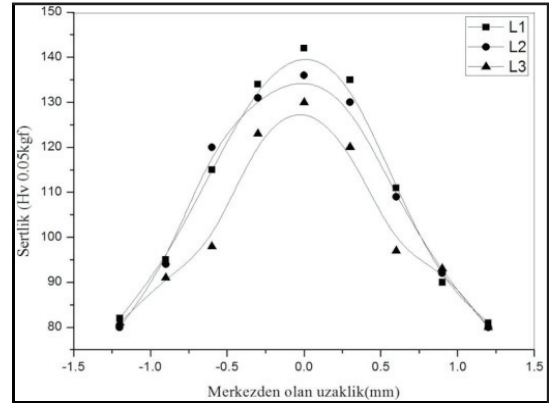
**Şekil 11. Mikro sertlik ölçümlerinin kaynaklı parça üzerinde şematik gösterimi.**

Şekil 12a'da görülen sertlik değişim grafiği incelendiğinde esas metalden kaynak metaline doğru ilerledikçe sertliğin arttığı ve kaynak metalinde en üst düzeye çıktığı görülmektedir. Kaynak metalinde sertlik artışının sebebi lazer kaynağı sırasında hızlı katılaşmadan dolayı kaynak bölgesinde daha homojen ve ince yapıli bir dağılıma sahip olması ve hızlı katılaşma

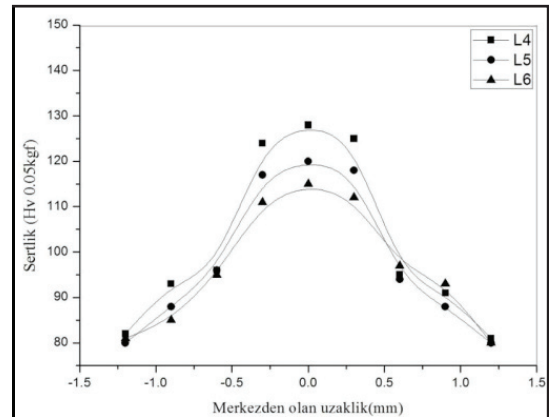
sırasında inter-metalik partiküllerin homojen dağılımlı olarak çökmesine dayanmaktadır.

Şekil 12b'de II. grup lazer kaynak numunelerinin (Şekil 12a) sertlik dağılımı incelendiğinde Şekil 12b'de ki numunelere benzer bir sertlik profili sergilediği görülmüştür. Bunun yanında sertlik değerlerinde birinci gruba göre önemli bir düşüş olduğu görülmüştür. Bu düşüşün sebebi de öncelikli olarak artan kaynak gücüne dayandırılmaktadır. Kaynak gücünün artması ile ısı girdisi artmakta ve bunun sonucunda da ısıdan etkilenmiş bölge genişlemektedir. Bu genişlemede iri taneli bölgenin hacim oranını artırmakta buda sertliğin azalmasına sebep olmaktadır.

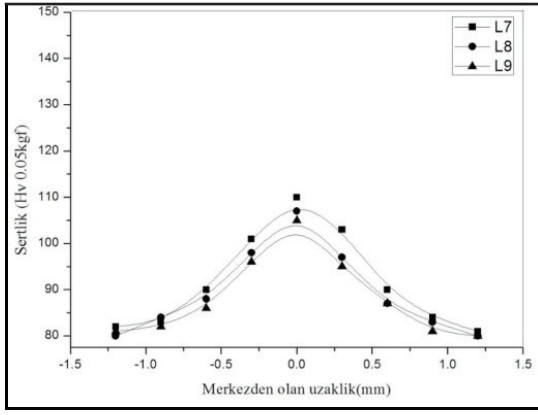
Şekil 12c'de verilen III. grupta da kaynak gücünün azalmasına rağmen ışın güç yoğunluğunun 6.4 ten 5.8 azalması sertliğin önemli derecede azalmasına sebep olmuştur. III. grupta diğer iki gruba benzer sertlik dağılım profili sergilemiştir. Diğer gruplara benzer olarak kaynak hızının azalması ile sertlikte azalma eğilimi göstermiştir. Sertliğin önemli derecede artmasının bir sebebi ışın güç yoğunluğunun azalması ile gaz boşluklarının artmasıdır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 12. Lazer kaynağı parçaların sertlik değişim profili, a) I. lazer kaynak grubu, b) II. lazer kaynak grubu, c) III. lazer kaynak grubu.

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler göstermiştir ki kaynak parametreleri Al 2024 alaşımının mekanik özelliklerini ve mikroyapısını doğrudan etkilemiştir. Elde edilen önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Lazer kaynaklı bağlantıların mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde; bütün numunelerde birbirinden farklı mikroyapılar görülmüştür. Birçok mikroyapı fotoğrafında gözlenmiş olan gözeneklerin, kaynak havuzundaki gazlardan meydana geldiği ve tamamının yuvarlatılmış gözenekler şeklinde olduğu tespit edilmiştir.
- Lazer kaynak ile birleştirilen numunelerde yoğun gaz boşlukları tespit edilmiştir. Söz konusu boşluklar buharlaşma ve sıçramalardan kaynaklanmaktadır. Bu olumsuzlukları uygun parametrelerin seçimi ile minimize edilebilir.
- Seçilmiş olan farklı grup lazer birleştirme parametreleri yorumlandığında, ortaya çıkan en büyük olumsuzluklardan olan sıçramaların sadece lazer gücünden değil, lazer hızı ve buna bağlı olarak yüksek ısı girdisinin neden olduğu yorumlanabilir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın finansal desteğini sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerine (GÜBAP 25/2008-03) teşekkür ederiz.

#### 6. KAYNAKLAR

Ancona, A. T., Sibillano, L., Tricarico, R., Spina, P.M., Lugarà, G. and Schiavone, S. 2005. Comparison of two different nozzles for laser beam welding of AA5083 Aluminium alloy, J Mater Proc Tech, 971–977.

Cieslak, M. J. and Fuerschbach, P.W. 1988. On the weldability, composition and hardness of pulsed and continuous Nd:YAG laser welds in aluminium alloys 6061, 5456 and 5086. Metallurgical Transactions B. 19B (4), 319-329.

Dilthey, U. 2000. Laserstrahlschweißen, Prozesse, Werkstoffe, Fertigung und Prüfung, Düsseldorf. DVS .

Dilthey, U. et al. 1999. Prospects by Combining and Coupling Laser Beam and Arc Welding Processes, IIW Doc. XII-1565.

Kim, H., Choi, K., Kang, J., Park, D. 2010. A study on the CO<sub>2</sub> laser welding characteristics of high strength steel up to 1500 MPa for automotive application, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, (39), March.

Malek, G. F., Sheikhi, M., Torkamany, M.J., Sabbaghzadeh, J. 2009. The relation between liquation and solidification cracks in pulsed laser welding of 2024 aluminum alloy, Materials Science and Engineering A, A(159), 167-171.

Metzbower, E.A. 2009. Penetration depth in laser beam welding, Welding Journal. (72:8), 403-407.

Okon, P., Dearden, G., Watkins, K. Sharp, M. French, P. 2002. Laser Welding of Aluminium Alloy 5083, 21. International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, Scottsdale, October 14-17.



- Palanco, S., Klassen, M., Skupin, J., Hansen, K., Schubert, E., Sepold, G. and Laserna, J.J. 2001. Spectroscopic diagnostics on CW-laser welding plasmas of Aluminium alloys, *Spectrochim Acta Part B* (56), 651–659.
- Sliney, D. and Wolbarsht, M. 1996. *Safety with Lasers and Other Optical Sources*, Plenum Press, New York, available from Laser Institute of America, 12424 Research Parkway, Orlando, FL 32826.
- Sierra, G., Peyre, P., Deschaux-Beaume, F., Stuart, D. and Frasnay, G. 2007. Steel to aluminum key-hole laser welding, *Material Science and Engineering A*, (447), 197–208.
- Şık, A. 2002. Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şık, A. 2006. TIG Kaynağı ve Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Alüminyum Levhaların Mekanik Özelliklerinin (Eğmeli Yorulma Dayanımı) İncelenmesi 25/2006-02, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi.
- Tunnermann, A., Schreiber, T., Roser, F., Liem, S., Hofer, H., Zellmer, Nolte, S. and Limpert, J. 2005. The renaissance and bright future of fibre lasers, *Journal of Physics B-Atomic Molecular and Optical Physics*. (38), 681-S693 .
- Weiland, S. 2010. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)*, Department of Electrical Engineering Eindhoven University of Technology, The Netherlands. October.
- Weston, J., Yoon, J.W., Wallach, E.R. 2004. Laser welding of aluminum alloys using different laser sources Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge.
- Wloka, J., Laukant, H., Glatzel, U. and Virtanen, S. 2007. Corrosion properties of laser beam joints of aluminum with zinc-coated steel, *Corrosion Science* (49), 4243–4258.