

Alüminyum Alaşımlarının MIG Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi

Ali YÜRÜK^{1*}, Yakup KAYA², Nizamettin KAHRAMAN²

¹Borsa İstanbul Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, 81000, Düzce, Türkiye,
²Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050, Karabük, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

5754 Alüminyum
Alaşımı,
MIG Kaynak
Yöntemi,
Kaynak Hızı

Özet

Bu çalışmada alüminyum alaşımlarının kaynak bölgesinin mekanik ve mikroyapı özelliklerine, MIG kaynak parametrelerinin etkileri incelenmiştir. Çalışmada kolay temin edilebilmesi sebebiyle 5000 serisi alüminyum ve alaşımları kullanılmıştır. Kaynak uygulaması farklı kaynak gerilimi ve kaynak hızlarında gerçekleştirilmiş ve daha sonra kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyi, sertlik ölçümleri, çentik darbe deneyi ve eğme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca mikroyapıda meydana gelen değişiklikleri belirlemek için de mikroyapı çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, en yüksek çekme dayanımı 4 numaralı numunede 209,58 N/mm² ölçülürken en düşük çekme dayanımı 206,59 N/mm² ile 2 numaralı numunede ölçülmüştür. Çekme deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, üretilen kaynaklı numunelerin çekme dayanımlarının ana malzemenin çekme dayanımına yakın olduğu görülmüştür. Sertlik deneyi sonucunda ise kaynak metalinde ölçülen en yüksek sertlik değeri yaklaşık olarak 66,46 HV iken en düşük sertlik değeri yaklaşık olarak 57 HV olmuştur. ITAB'da ölçülen en yüksek sertlik değeri 62 HV olurken en düşük sertlik değeri ise yaklaşık olarak 55,9 HV olarak gerçekleşmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen bir diğer sonuç ise mikroyapıda ısı girdisine paralel olarak tane yapısının değişiklik göstermesidir. Tane yapısında meydana gelen değişiklikler ise mekanik özelliklerin değişmesine neden olmuştur.

Investigation of the Weldability of Aluminum Alloys with Mig Welding Method

Keywords:

5754 AlMg Alloy,
Gas Metal Arc
Welding (GMAW),
Welding Speed

Abstract

In this study, the effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of aluminum alloys was investigated in gas metal arc welding (GMAW). 5000 series aluminum and its alloys were used in the study due to its easy availability. Welding was performed at different welding voltaj and welding speeds and then tensile tests, hardness measurements, notch impact tests and bending tests were performed to determine the mechanical properties of welded joints. In addition, microstructural examinations were also done. As a result of the experiments, the highest tensile strength was measured in sample number 4 with 209.58 N / mm², while the lowest tensile strength was measured in sample number 2 with 206.59 N / mm². When the tensile test results are evaluated in general, it is seen that the tensile strength of the produced welded samples is close to the tensile strength of the base material. As a result of the hardness test, the highest hardness value measured in the weld metal was approximately 66,46 HV, while the lowest hardness value was approximately 57 HV. While the highest hardness value measured at ITAB was 62 HV, the lowest hardness value was approximately 55,9 HV. Another result obtained from the experiments is that the grain structure changes in parallel with the heat input in the microstructure. Changes in the grain structure caused the mechanical properties to change.

1 GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları, hafif olmalarının yanında mukavemetlerinin yeterli derecede iyi olması ve yüksek korozyon direncine sahip olmaları nedeni ile özellikle araçlarını hafifleterek enerji tasarrufu sağlamak ve aynı zamanda eksoz emisyon oranlarını azaltmak isteyen otomotiv, uçak, raylı sistemler ve savunma sanayi gibi üretim kollarının vazgeçilmez malzemesi olmuşlardır[1-3]. Bunun yanı sıra, korozyon direncinin yüksek olması ve alüminyumun zehirleyici özelliğinin olmaması sebebiyle, başta mutfak araç gereçleri olmak üzere daha birçok alanda tercih edilmektedir. Alüminyumun özgül ağırlığı $2,7 \text{ gr/cm}^3$ tür. Bu düşük yoğunluk ile alüminyum, demire ve bakıra oranla 1/3 kadar daha hafif olmasına rağmen kesiti artırılarak çeliğe eşdeğer mukavemet yakalanabilir. Ayrıca hafif olması kontrüksiyonlarda yaygın bir şekilde kullanılmasını da artırmıştır [4].

Alüminyum ve alaşımlarının endüstride kullanılan pek çok çeşidi vardır. Alüminyum ve alaşımları üretim şekillerine göre; dövme ve döküm olmak üzere ana iki kısma ayrılır. Her iki ana bölümde de numara sistemi oluşturulmuş alt dalları vardır. Bunlar genellikle endüstride;

- ✓ 1000 serisi
- ✓ 2000 serisi
- ✓ 3000 serisi
- ✓ 4000 serisi
- ✓ 5000 serisi
- ✓ 6000 serisi
- ✓ 7000 serisi
- ✓ 8000 serisidir.

Bu çalışmada kolay temin edilebilmesi, kaynaklı birleştirme ve işleme uygun olmaları nedeniyle 5000 serisi alüminyum alaşımları tercih edilmiştir. 5000 serisi alüminyum ve alaşımlarının ana alaşım elamanı magnezyumdur [5]. 5000 serisi alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyeti oldukça iyi olmasının yanında, deniz ortamında da yüksek bir korozyon direncine sahiptir. 5000 serisi alüminyum ve alaşımları hafif olmaları nedeniyle enerji tüketimini azaltması ve bunun sonucunda eksoz emisyonun azaltılması sebebiyle yüksek hız trenleri gibi modern taşıtların yapımında çeliklerin yerini almaktadırlar [6].

Günümüzde alüminyum ve alaşımları başta ergitme kaynakları olmak üzere; sürtünme karıştırma kaynağı gibi katı hal kaynak yöntemlerini de içine alan birçok kaynak yöntemi ile birleştirilebilmektedir. Ancak alüminyum ve alaşımlarının, gerek yüzeylerinde oksit tabakası, gerekse yüksek genleşme, yüksek ısı iletkenlik ve geniş katılma aralıklarına sahip olmaları bu malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde birtakım zorlukları da beraberinde getirmektedir [7]. Ne var ki bütün bu sorunlara rağmen, uygulamasının kolaylığı sebebiyle en fazla TIG ve MIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmektedirler.

MIG kaynağı dolgu metalinin koruyucu gaz atmosferinde kaynak bölgesine iletildiği bir ark kaynak yöntemidir. Dolgu metali kaynak havuzuna otomatik olarak iletilir. MIG; yüksek üretkenlik, daha az sıçrama, daha iyi penetrasyon gibi özellikleri ile diğer kaynak yöntemlerinden daha avantajlıdır ve bu yüzden demir ve demir dışı malzemelerin kaynağında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [8,9]. Ayrıca MIG/MAG kaynak yöntemi ile çok ince sac levhalar dâhil olmakla beraber her kalınlıkta demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağı mümkündür [10]. MIG kaynağı; yüksek kaynak hızı, otomatik olarak uygulanabilmesi, yüksek metal biriktirme oranı, cüruf olmayışı sebepleri ile demir ve demir dışı metallerin kaynağında en çok kullanılan kaynak yöntemidir [9].

Alüminyum ve alaşımlarının kaynaklı birleştirilmesi ile ilgili olarak son dönemlerde yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır: Yürük ve arkadaşları [11] AA 6013 ve AA5754 alüminyum alaşımlarını farklı takım ilerleme hızlarında sürtünme karıştırma kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve sürtünmenin neden olduğu ısı girdisi ve plastik deformasyon nedeniyle kaynak metalinin eş eksenli tanelerden oluştuğunu ifade etmişlerdir. Yürük [12] 6013 alüminyum alaşımını sürtünme karıştırma nokta kaynak yöntemi ile farklı takım bekleme süreleri kullanarak birleştirmiş, kaynak metalinin en fazla ısıya ve plastik deformasyona maruz kalan bölge olması sebebiyle ITAB ve TEB göre daha ince taneli bir mikroyapıya sahip olduğunu söylemiştir. Çevik [13] TIG kaynak yöntemi ile 7075 alüminyum alaşımını birleştirmiş ve kaynak akımının artması ile artan ısı girdisinin kaynak metalinin tane yapısını kabalaştırdığı için kaynak metalinin sertliğini etkilediğini belirtmiştir. Yürük ve Kahraman [14] 5754 alüminyum alaşımı ile 1050 alüminyum alaşımını MIG kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve değişen kaynak parametreleri ile ısı girdisinin değişmesi sebebiyle çekme dayanımının da farklılık gösterdiğini rapor etmişlerdir. Liang ve arkadaşları [15] 6061 alüminyum alaşımını TIG –CMT hiprit kaynak yöntemi ile birleştirdikleri çalışmada kaynak telinin bileşiminin ana malzemedan farklı olması ve ayrıca hızlı soğuma nedeni ile kaynak

metalinin heterojen segragasyon yapısına sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Yan ve arkadaşları [16] lazer kaynağı ile farklı alüminyum alaşımlarını birleştirdikleri çalışmada kaynakta meydana gelen sertlik düşüşünü araştırmak için dinamik simülasyon kullanmışlar ve gözeneklerin stress yoğunluğuna sebep olması nedeniyle çatlaklara başlangıç oluşturduklarını söylemişlerdir.

Bu güne kadar alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar genelde kaynak akımı, kaynak hızı ve tel hızı parametreleri üzerine yoğunlaşmaktadır. Kaynak geriliminin kaynaklı birleştirmelerin mekanik ve mikroyapı üzerine etkileri inceleyen çalışma yok denecek kadar azdır. Bu nedenle bu çalışmada 5000 serisi alüminyum ve alaşımları, MIG kaynak yöntemi ile tel ile hızı (tel besleme) sabit tutularak, kaynak ilerleme hızı ve kaynak gerilimleri değiştirilerek birleştirilmiştir. Kaynak işleminde koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme deneyi, sertlik ölçümleri, çentik darbe deneyi, eğme deneyleri yapılırken numunelerin içyapılarında meydana gelen değişiklikleri incelemek içinde mikroyapı çalışmaları yapılmıştır.

2 MATERYAL VE METOD

Deneyel çalışmalarda kullanılan 5754 alüminyum ve alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1' de mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri[14].

EN AW	DIN	ETİBANK	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Kalan
5754 AlMg	AlMg3	ETİAL-53	0,40	0,4	0,10	0,5	2,6-3,6	0,3	0,20	0,15	Al

Tablo 2. Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri[14].

Alaşım Türü	Temper	Akma mukavemeti	Çekme Mukavemeti	Uzama	Sertlik
		(MPa) min-max	(Mpa) min-max	(%50) min-max	(Brinel) min-max
5754 AlMg	0/H111	80 -100	190 -215	24	50 -55

Kaynak işleminde kaynak teli olarak tel çapı 1,2 mm olan AWS A510: ER5356 ilave doğu metali kullanılmıştır. Kaynak dolgu metalinin kimyasal bileşimi Tablo 3'de mekanik özellikleri ise Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. Deneyde kullanılan dolgu metalinin kimyasal bileşimi[14].

Mg	Mn	Cr	Ti	Al
4.50 - 5.50	0.05 - 0.20	0.05 - 0.20	0.06 - 0.15	Kalan

Tablo 4. İlave dolgu metalinin mekanik özellikleri[14].

Test Şekli	% 0.2 Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
Kaynak Sonrası	> 110	> 235	> 17

Deney numunelerinin kaynaklı birleştirme işlemlerinde Fronius TransSynergic 4000 Comfort tipi sinerjik gazaltı kaynak makinası kullanılmıştır. Tablo 5'te deneyel çalışmalar da kullanılan gazaltı kaynak makinesinin teknik özellikleri verilmiştir. Deneyel çalışmalarda koruyucu gaz olarak argon gazı kullanılmıştır.

Tablo 5. Gazaltı kaynak makinesinin özellikleri.

Giriş Voltajı: 50/60 Hz	3x400 V
Cos phi	0,99
Akım Ayar Aralığı	10-500 A
Akım Ayar Aralığı	500 A.
Kaynak Akımı (x=50% - 40°C / 10dk.)	365 A.
Kaynak Akımı (x=60% - 40°C / 10dk.)	320 A.
Kaynak Akımı (x=100% - 40°C / 10dk.)	70 V.
Açık Devre Voltajı	14,2-34 V.
Çalışma Voltajı	IP 23
Koruma Sınıfı	62,5x29x47,5 cm.
Ölçüler (ExBxY)	35,2 Kg

Deney numuneleri 200x150x2 mm ölçülerinde kesilerek hazırlanmış, aralarında 1 mm boşluk kalacak şekilde puntalanmış ve Tablo 6'daki kaynak parametreleri kullanılarak birleştirilmişlerdir. Kaynak işleminden sonra deney numuneleri hava ortamında kendi halinde soğumaya bırakılmıştır.

Tablo 6. Kaynak esnasında kullanılan kaynak parametreleri.

Parça No	Tel ilerleme hızı (m/dk)	Kaynak akımı (A)	Kaynak hızı (cm/s)	Gerilim (V)	Gaz debisi (lt/dk)	Isı girdisi (J)
1	3	90	3	25	12	75
2	3	90	4	25	12	56
3	3	90	3	30	12	90
4	3	90	3	35	12	105

Yapılan birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek için çekme, sertlik, çentik darbe, eğme testleri ve mikroyapı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

3 BULGULAR

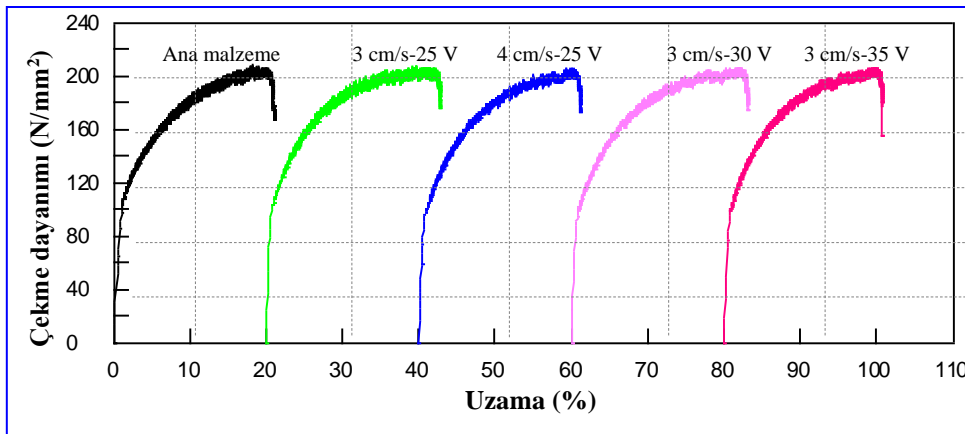
3.1 Çekme Deneyi Sonuçları

Kaynak ilerleme hızının, kaynak geriliminin, kaynaklı bağlantının çekme mukavemeti ve yüzde uzama değeri üzerindeki etkileri belirlemek için kaynaklı numunelere çekme testleri uygulanmıştır. Yapılan çekme testi sonucunda elde edilen veriler Tablo 7'de, çekme deneyleri sonucunda elde edilen çekme grafiği ise şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 7. Çekme deneyi sonuçları

Parçalar	Kaynak hızı (cm/s)	Gerilim (V)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)
Ana malzeme			207.08	22.17
1	3	25	207.05	19.70
2	4	25	206.59	19.37
3	3	30	208.22	19.77
4	3	35	209.58	19.32

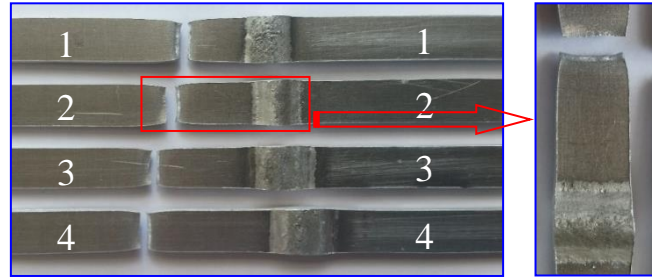
Aynı cinsten iki metalin kaynakla birleştirildiğinde, kaynaklı numunelerin çekme dayanımının ana malzemenin çekme dayanımına eşit ya da yakın olması istenir. Şekil 1 ve Tablo 7 incelendiğinde bütün kaynaklı numunelerden elde edilen çekme deneyi sonuçlarının ana malzemenin çekme dayanımına yakın olduğu görülmektedir. Kaynaklı birleştirmelerden elde edilen en yüksek çekme dayanımı ana malzemenin çekme dayanımından yaklaşık olarak % 1,2 daha yüksek olduğu tespit edilirken en düşük çekme dayanımının ise yaklaşık olarak % 0,24 ana malzemenin çekme dayanımından düşük olduğu belirlenmiştir. Bu da tercih edilen kaynak parametrelerinin uygunluğunu bize göstermektedir. Kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımlarının ana malzemeye yakın çıkmasının sebebi ise çekme deneyi uygulanan bütün numunelerde kopmanın kaynak bölgesinden değil ana malzemede meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 1. Çekme deneyi grafiği

Liu ve arkadaşları [17] AA5754 alaşımını darbeli MIG kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve yaptıkları çekme deneyi sonucunda kaynaklı bağlantıların çekme dayanımlarının yaklaşık olarak ana metale eşit olduğunu rapor etmişlerdir. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımlarını birbirleri ile kıyaslandığında ise sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Demirbaş ve Çevik [18] 1050 alüminyum alaşımının TIG kaynak yöntemi ile birleştirdikleri çalışmada çekme deney sonuçlarının birbirine yakın çıktığını söylemişlerdir.

Şekil 2’de çekme deneyi uygulanan kaynaklı numunelerin kopma yerleri görülmektedir. Kopma şekilleri incelendiğinde tüm örneklerin boyun vererek ana metalden koptuğu görülmüştür. Bunun sebebi ise kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımı ile kaynaklı birleştirmelerin çekme dayanımlarının birbirine yakın değerlerde olmasıdır. Arıcı ve arkadaşları [19] AA6061 alüminyum alaşımı TIG kaynağı ile birleştirmişler ve çekme numunelerinin ana metalden koptuğunu, buna ise ana metalin çekme mukavemetinin kaynaklı bağlantıların çekme mukavemetinden daha düşük olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Çekme deneyi sonuca en yüksek çekme dayanımı 3 cm/sn kaynak hızı ve 35 V kaynak geriliminde 209.58 N/mm² olarak ölçülmüştür. Ancak, değişen kaynak ilerleme ve kaynak gerilimine rağmen, yüzde uzama değerinde çok önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir. Bununla birlikte ana malzemenin yüzde uzaması bütün numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna çekme sırasında kaynak metalinde herhangi bir deformasyon meydana gelmemesi sebep olmuştur. Buna sebep olarak, tercih edilen kaynak akımı ve koruyucu gaz olduğu düşünülmektedir. Tatlı ve Köse [20] AA5754 alüminyum alaşımını robotik MIG kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve ana metalin yüzde uzamasının kaynaklı birleştirmelerden yüksek olduğunu, buna sebep olarak ise kullanılan kaynak akımının ve koruyucu gazın yüzde uzamayı etkilemesi olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 2. Çekme deneyi uygulanan numunelerinin kopma yerleri

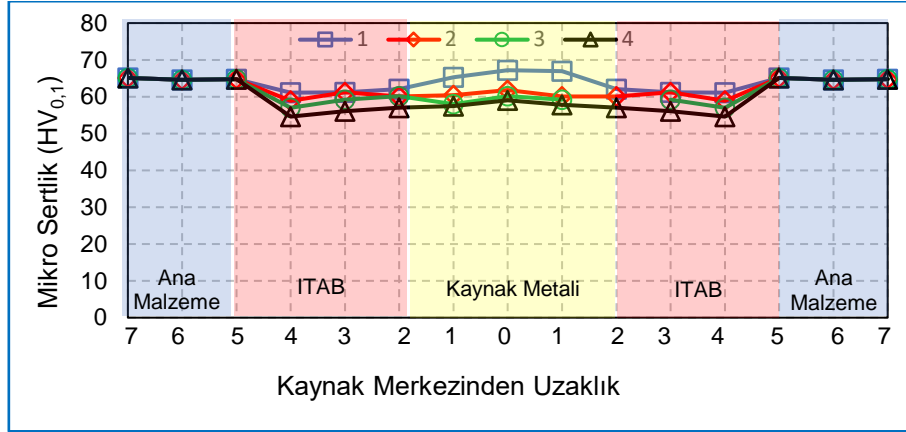
3.2 Sertlik Deneyi Sonuçları

Kaynak geriliminin, kaynak ilerleme hızının ve kaynak sonrası oluşan mikroyapının, kaynaklı bağlantıların sertliği üzerine etkilerini belirlemek için sertlik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçme işlemi kaynak merkezinden her iki tarafa doğru 1'er mm aralıkla olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde bütün numunelerde en yüksek sertlik değerinin ana metal olduğu görülürken, ana metali kaynak metalini takip ettiği tespit edilmiştir. Bu sonuca göre sertlik dağılımının ana metal > kaynak metal > ITAB şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bütün numunelerde en yüksek sertlik değerinin ana metalde elde edilmesinin kaynak işlemleri sırasında meydana gelen ısı girdisinin numunelerin tane yapısını ve ana malzemeye üretim esnasında kazandırılan özellikleri bozması sebep olmaktadır. Liang ve arkadaşları [15] 6061 alüminyum alaşımı ile yaptıkları çalışmada kaynak sırasında meydana gelen ısı girdisinin taneleri kabalaştırdığı için sertlikte düşmeye neden olduğunu söylemişlerdir.

Yapılan sertlik çalışması sonucunda karşılaşılan en çarpıcı sonuç, kaynak hızı sabitken kaynak geriliminin artması ile hem ITAB'ın hem de kaynak metalinin sertliğinde düşmeler meydana gelmesidir. Buna artan kaynak gerilimi ile artan ısı girdisi sonucunda kabalaşan tane yapısı ve ısının artması ile üretim sırasında ana malzemeye kazandırılan özelliklerin bozulmasının neden olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde Yan ve arkadaşları [21] Al-Mg-Si alaşımını MIG kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve yaptıkları sertlik çalışmalarında ITAB'ın sertliğinin ana metalin sertliğinden düşük olduğunu görmüşler ve buna sebep olanın ise tane büyümesi ve çökeltilerin azalmasının olduğunu söylemişlerdir. Tatlı ve Köse [20] 5754 alüminyum ve alaşımı ile yaptıkları çalışmada, farklı sertlik değerlerinin elde edilmesinin sebebinin kaynak hızlarındaki ve kaynak akımındaki değişikliklerin farklı ısı girdisi oluşturması olduğunu rapor etmişlerdir.

Genel olarak sertlik ölçümleri incelendiğinde ITAB'ın sertliğinin hem ana metalden hem de kaynak metalinden düşük olduğu görülmüştür. ITAB'daki sertlik düşmelerine kaynak sırasında metale verilen ısı girişi nedeniyle meydana gelen tane irileşmesi sebep olmuştur. Ölçümler sonucunda en yüksek sertlik 2 cm/sn kaynak hızında ve 25 V kaynak geriliminde birleştirilen 1 numaralı parçanın kaynak metalinde 66,46 HV olarak ölçülürken en düşük sertlik değeri ise 3 cm/sn kaynak hızında ve 35 V kaynak geriliminde birleştirilen 4 numaralı parçanın ITAB'ın da

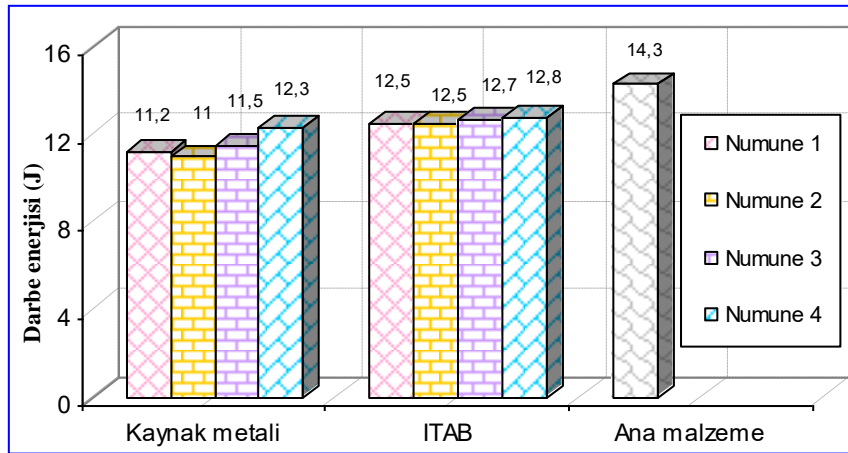
55,9 HV olarak ölçülmüştür. Ayrıca 1 numaralı numunenin kaynak metalinin sertliği dışındaki bütün sertlik değerleri ana metalin sertlik değerinden düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Sertlik ölçme sonuçları

3.3 Darbe Deneyi

Kaynaklı bağlantıların dinamik yüklemeler karşısındaki davranışlarını belirlemek için darbe deneyi uygulanmıştır. Yapılan darbe deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar grafik halinde Şekil 4'te verilirken makro görüntüleri Şekil 5'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek darbe dayanımı ana malzemede elde edilirken ana malzemeden kaynak metaline doğru gidildikçe darbe dayanımının düştüğü görülmektedir. Oluwole ve Ajibade [22] 6013 alüminyum alaşımı ile yaptıkları çalışmada kaynak sırasında oluşan mikroyapısal değişiklikler nedeniyle darbe direncinin ana malzemeye (kontrol numunesine) göre düştüğünü bildirmişlerdir. Ayrıca kaynak ilerleme hızı sabit tutulup, kaynak gerilimi artıkça, artan ısı girdisi ile beraber kaynak metalinin çentik darbe dayanımı artmıştır. Kaya ve arkadaşları [23] alüminyum alaşım levhayı MIG kaynak yöntemi ile birleştirmişler ve kaynak parametreleri ile artan ısının çentik darbe dayanımını arttırdığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4. Darbe test sonuçları.

Ana malzemeden sonra ölçülen en yüksek darbe direnci 12,8 J ile 4 numaralı numunenin ITAB'ında ölçülürken en düşük darbe direnci 11,2 J ile 1 numaralı numunenin kaynak metalinde ölçülmüştür. Durgutlu [24] TIG kaynak yöntemi ile 6063 alüminyum alaşımını birleştirdiği çalışmada kaynak metalinin tane yapısının, darbe direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu söylemiştir.



Şekil 5. Darbe deneyi makro görüntüleri

3.4 Eğme Deneyi

Kaynaklı birleştirmelerin eğme zorlamalarına karşı dayanımlarını tespit etmek için 180° eğme deneyi gerçekleştirilmiştir. Eğme testleri yüzeyde ya da yüzeye yakın bölgelerdeki kaynak hataları tespit etmek için uygulanmaktadır. Literatürde de eğme testlerinin, bükülen yüzeydeki çatlakları ve kaynak kusurlarını tespit etmek için yapıldığı ifade edilmiştir[25] Bu amaçla farklı kaynak gerilimi ve kaynak hızlarında birleştirilen örneklerle uygulanan eğme testi sonucunda hiçbir örnekte yırtılma veya kırılma gözlenmemiştir. Durgutlu ve arkadaşları [26] Al-Si alaşımını TIG kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada yapılan eğme deneyi sonucunda numunelerin geçiş bölgesinde ve kaynak metalinde herhangi bir yırtılma veya kırılma görülmediğini bildirmişlerdir. Şekil 6'da eğme testi görüntüleri verilmiştir.

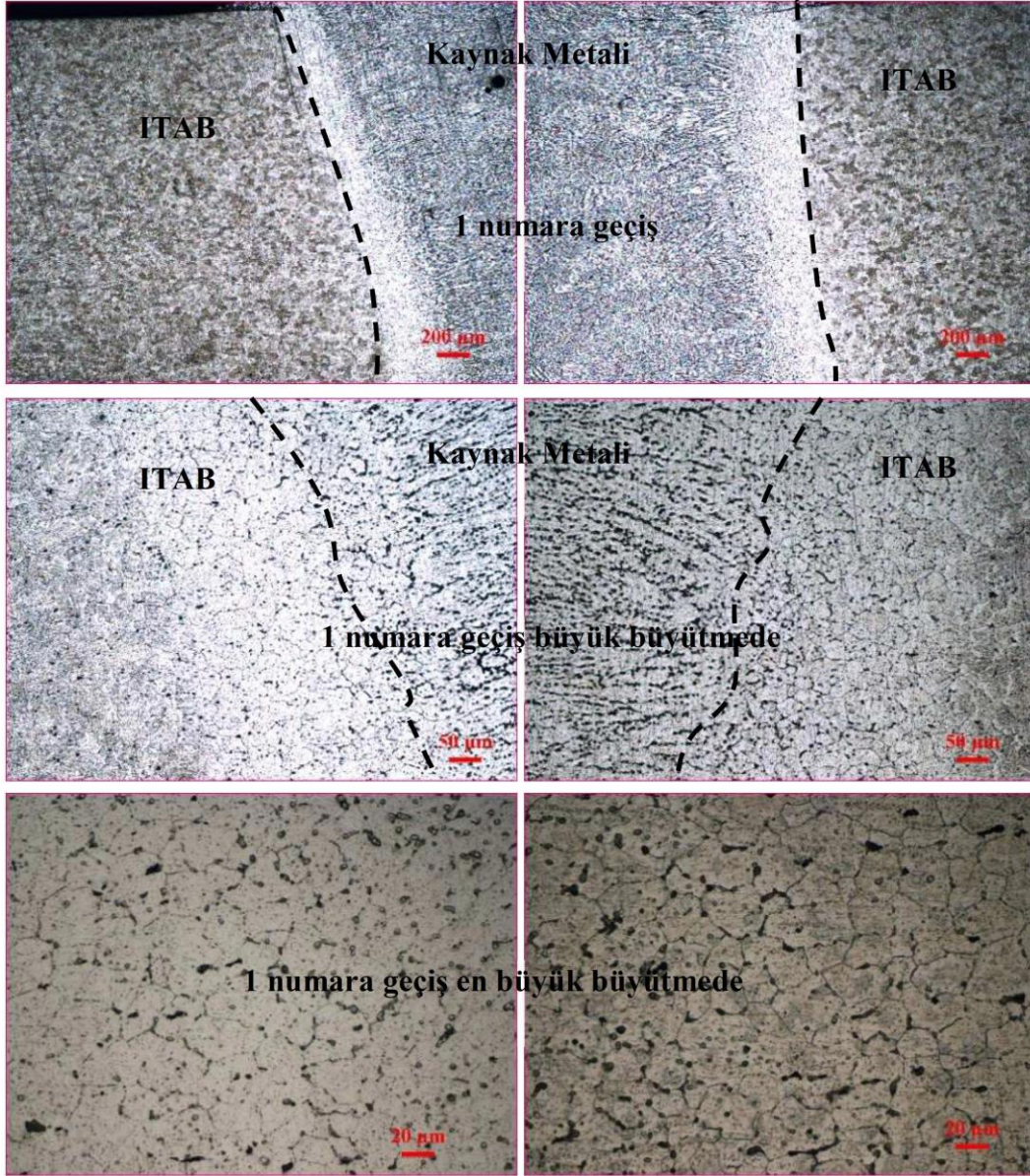


Şekil 6. Eğme testi makro görüntüleri

Şekil 6'da görüldüğü gibi kaynaklı birleştirmelerden üretilen numunelere uygulanan kep ve kök eğme deneyleri sonucunda herhangi bir çatlak, yırtılma ya da kırılmaya rastlanmamıştır. Leoni ve arkadaşların [25] 6082 alüminyum alaşımını GMAW yöntemi ile kaynatmışlar ve eğme testleri sonucunda herhangi bir çatlak meydana gelmediğini söylerken çok az kaynak kusuru görüldüğünü bildirmişlerdir.

3.5 Mikroyapı Çalışmaları

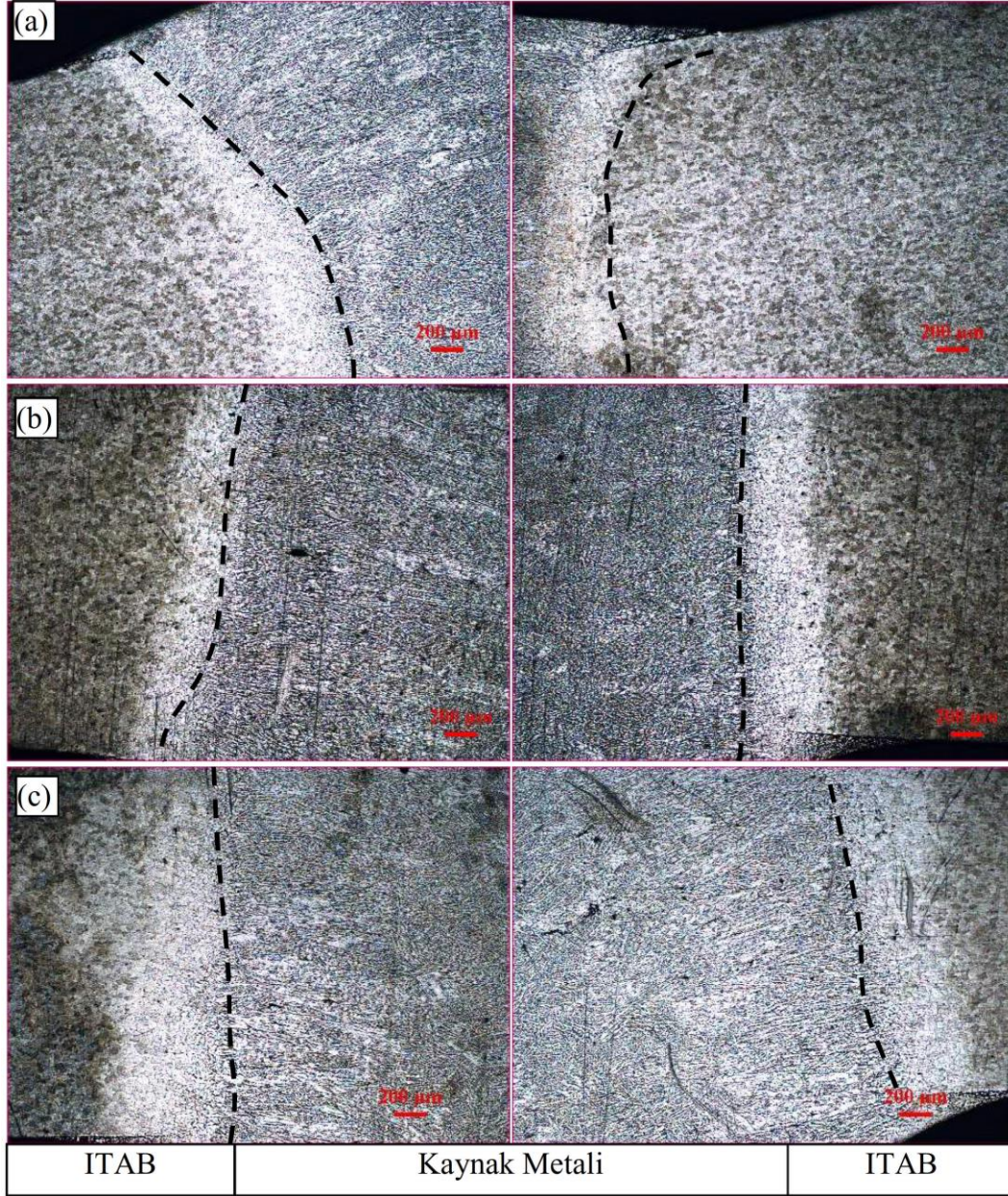
Farklı kaynak gerilimi ve kaynak hızının kaynaklı bağlantının mikroyapısına ve mikroyapının da kaynaklı birleştirmelerin mekanik özelliklerine etkilerini belirlemek için mikroyapı çalışmaları yapılmıştır. Kaynak sırasında metale verilen ısı malzemenin tane yapısında değişikliğine neden olmuştur. Ana metalden kaynak metaline doğru gidildikçe ısının etkisi ile tanelerde kabalaşmalar meydana gelmiştir. Paola ve arkadaşları [27] 5754 alüminyum alaşımı ile yaptıkları çalışmada ısı girdisinin tanelerde büyümeye neden olduğu belirtmişlerdir. Şekil 7'de 1 numaralı numunenin geçiş bölgelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde tanelerin büyüdüğü ve sütunsal bir yapıya sahip kaynak metaline doğru yöneldiği görülmektedir. Buna da kaynak sırasında meydana gelen ısı girdisinin artması ile oluşmuştur. Durgutlu ve arkadaşları [26] 5754 alüminyum alaşımını TIG kaynağı ile birleştirdikleri çalışmada ısı girdisinin artmasının taneleri kabalaştırdığını belirtmişlerdir. Kaynak geriliminin artması ile ısı girişi artmış ve bunun sonucunda da tanelerde büyümeler meydana gelmiştir. Büyüyen taneler de kaynaklı bağlantının sertliğinde düşmelere neden olmuştur. Fu ve arkadaşları [28] alüminyum ve alaşımları ile yaptıkları bir çalışmada kaba tanelerin sertliği düşürdüğünü rapor etmişlerdir.



Şekil 7. 1 numaralı numunenin geçiş bölgeleri

Kaynak geriliminin artması ile artan ısı girişi kaynak dikişinin genişliğini artırmıştır. Literatürde ısı girişinin artması ile kaynak havuzunun genişlediği, bu nedenle de soğumanın yavaşladığı rapor edilmiştir [29]. Şekil 8’de diğer numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

Ayrıca artan kaynak hızı ile ısı girdisinin azaldığı tespit edilmiştir. Kaynak gerilimi artışı ise ısı girdisini artması sonucunda yapılan kaynaklı birleştirmelerin tane boyutları da farklılık göstermektedir. Aynı zamanda tane boyutunun değişmesi kaynak metalinin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Çünkü artan tane boyutu sonucunda sertlikte düşmeler meydana gelmiştir. Literatürde farklı ısı girdisinin ITAB’ın genişliğini etkilediği, bunun da yapısal dönüşüm alanını etkilediği ifade edilirken, yapısal dönüşümlerinde malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği rapor edilmiştir [21].



Şekil 8. Mikroyapı görüntüleri a) 2 nolu numune b) 3 nolu numune c) 4 nolu numune

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada kaynak gerilimi, kaynak ilerleme hızı değiştirilmiş ve kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini belirlemek için çekme testi, sertlik testi, darbe testi ve eğme testleri uygulanırken mikroyapısal özellikleri ve oluşan mikroyapının mekanik özelliklere etkisini belirlemek için mikroyapı çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonucunda da aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yapılan çekme deneyi sonucunda elde edilen veriler ana malzemenin çekme dayanımına yakın çıkmıştır. Bu da parametrelerin uygunluğunu göstermektedir.
2. Artan kaynak gerilimi, ısı girdisini artırmış ve tane boyutunun büyümesine neden olmuştur. Bunun sonucunda da sertlikte düşmeler meydana gelmiştir.
3. Darbe deneyi sonucunda ana metalden kaynak metaline doğru gidildikçe darbe direncinin düştüğü görülmüştür.
4. Eğme testinde herhangi bir yırtılma ya da kopma meydana gelmemiştir.
5. Kaynak geriliminin artırılması ile ısı girdisi artarken kaynak hızının artırılması ile ısı girdisi azalmıştır. Kaynak parametrelerinde meydana gelen bu değişikliklerde mikroyapıda değişikliklere neden olmuştur.

6. Mikroyapı çalışmaları ile mekanik testler birlikte değerlendirildiğinde; kaynak parametreleri değiştirildiğinde, ısı girdisi farklılık göstermiştir. Isı girdisinin değişmesi, malzemenin tane boyutunu değiştirmiş ve değişen tane boyutu da mekanik özelliklerde değişime neden olmuştur.

Kaynakça

- [1] A. Karadağ, U. Özaraç, S. Aslanlar, M. Ekici and F. Varol, ‘Alüminyum alaşımlarının TIG kaynağında mekanik özelliklere kaynak parametrelerinin etkisi’, *Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Serisi* 2012, pp. 438-446.
- [2] A. Liu, X. Tang and F. Lu, ‘Study on welding process and prosperities of AA5754 Al-alloy welded by double pulsed gas metal arc welding’, *Materials and Design*, vol. 50, pp. 149–155, 2013.
- [3] I. A. Kartsonakis, D.A. Dragatogiannis, E. P. Koumoulos, A. Karantonis and C.A. Charitidis, ‘Corrosion behaviour of dissimilar friction stir welded aluminium alloys reinforced with nanoadditives’, *Materials and Design*, vol 102, pp. 56–67, 2016.
- [4] A. Karadağ, U. Özaraç, S. Aslanlar, M. Ekici and F. Varol, ‘MIG kaynak yöntemi ile birleştirilen Al5754 alaşımlarının mekanik özelliklerine ve dikiş geometresine kaynak parametrelerinin etkisi’ *Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Serisi*, 2012, pp. 401-411.
- [5] R. Abdi, Y. Imani, M. K. Besharati and R. Salek, ‘Comparison of TIG welded and friction stir welded AA7075 and AA5083 aluminium alloys’, *Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi* 2009 vol.1, pp. 101-108.
- [6] Y. Liu, W. Wang, J. Xie, S. Sun, L. Wang, Y. Qian, Y. Meng and Y. Wei, ‘Microstructure and mechanical properties of aluminum 5083 weldments by gas tungsten arc and gas metal arc welding’, *Materials Science and Engineering A*, vol. 549, pp. 7– 13, 2012.
- [7] I. Bunaziv, O. M. Akselsen, A. Salminen and A. Unt, ‘Fiber laser-MIG hybrid welding of 5 mm 5083 aluminum alloy’ *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 233, pp. 107–114, 2016.
- [8] H. Guo, J. Hub and H.L. Tsai, ‘Formation of weld crater in GMAW of aluminum alloys’, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.52, pp. 5533–5546, 2009.
- [9] B. S. Ünlü, C. Çivi and B. Bölük, ‘Ark TIG ve MIG kaynakları yapılmış Ts Fe 37-2 çeliğinin kaynak bölgesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması.’, *Uluslararası Kaynak Teknolojileri Konferansı ve Sergisi* 2009 vol. 2, pp. 539-546.
- [10] N. Kahraman, B. Gülenç, *Modern Kaynak Teknolojisi*, Ankara 3. Baskı, *Epa- Mat Basım Yayın Ltd.Şti*, Türkiye, 2016.
- [11] A. Yürük, B. Çevik, N. Kahraman, ‘Microstructure and mechanical properties of friction stir welded dissimilar 5754-H111-6013-T6 aluminum alloy joints’, *Materials Testing For Welding And Additive Manufacturing Applications*, Vol 61, pp. 941-946, 2019.
- [12] Yürük, A., ‘6013-T6 alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma nokta kaynağına takım bekleme süresinin etkisi’ *Politeknik Dergisi*, <https://doi.org/10.2339/politeknik.854677>.
- [13] B. Çevik, ‘Gas tungsten arc welding of 7075 aluminum alloy: microstructure properties, impact strength, and weld defects’, *Mater. Res. Express* vol. 5 2018. 066540. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aacbbc>.
- [14] A. Yürük, N. Kahraman, ‘Farklı Alüminyum Alaşımlarının Mıg Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi’, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol.4 pp. 894-901 2016.
- [15] Y. Liang, J. Shen, S. Hu, H. Wang, J. Pang, ‘Effect of TIG current on microstructural and mechanical properties of 6061-T6 aluminium alloy joints by TIG–CMT hybrid welding’, *Journal of Materials Processing Tech.* Vol. 255, pp. 161–174 2018.
- [16] S. Yan, C. Ma, H. Chen, ‘Modifying microstructures and mechanical properties of laser-arc welded joints of dissimilar advanced aluminum alloys’, *Materials Characterization* vol. 164, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110331>.
- [17] A. Liu, X. Tang, F. Lu, ‘Study on welding process and prosperities of AA5754 Al-alloy welded by double pulsed gas metal arc welding’, *Materials and Design*, vol.50, pp. 149–155, 2013.
- [18] A. K. Demirbaş, S. Çevik, ‘TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş alüminyum 1050 alaşımlarının mekanik ve mikroyapı özellikleri’, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, vol. 8-3, pp. 471-477, 2020.

- [19] R. Arıcı, N. S. Köksal, E. Ömeroğlu, “ AA6061 alaşımının iki farklı dolgu teli kullanılarak TIG kaynağında özelliklerinin incelenmesi “ , *CBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, vol.11, pp. 233-239, 2015.
- [20] Z. Tatlı and C. Köse, “ AA 5754 alüminyum alaşımının robot (MIG) kaynağı ile birleştirilmesi ve mikroyapısının incelenmesi ”, *6th International Advanced Technologies Symposium*, 2011 ss. 339-343.
- [21] S. Yan, H. Chen, Z. Zhu and G. Gou. “Hybrid laser-Metal Inert Gas welding of Al–Mg–Si alloy joints: Microstructure and mechanical properties”, *Materials and Design*, vol. 61, pp. 160–167, 2014.
- [22] O. I. Oluwole, O. J. Ajibade, “Effect of Welding Current and Voltage on the Mechanical Properties of Wrought (6063) Aluminium Alloy”, *Materials Research*, vol.13 no.2, pp. 125-128, 2010.
- [23] Kaya, Y. Kahraman, N. Durgutlu, A. and Gülenç, B. “ Farklı kaynak parametreleri kullanılarak alüminyum levhaların MIG kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliği ve mikroyapı/ mekanik özelliklerinin araştırılması”, *3rd International Conference on Welding Technologies and Exhibition*, pp. 988-997, 2014.
- [24] A. Durgutlu, “ Alüminyum TIG kaynağında akım türünün kaynak metali mikroyapısı ve darbe dayanımına etkisi”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Vol.24, no.1, pp.155-160, 2009.*
- [25] F. Leoni, L. Sandness, Ø. Grong, F. Berto, “Mechanical behavior of gas metal arc AA6082-T6 weldments”, *Procedia Structural Integrity*, vol.18, pp. 449–456, 2019.
- [26] A. Durgutlu N. Kahraman and B. Gülenç, “ Al - Si Alaşımının TIG Kaynağında Darbeli Akımın Mikroyapı, Sertlik, Eğme ve Çekme Dayanımına Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, vol. 11, s.4, pp. 339-344, 2008.
- [27] P. Leo, S. D'Ostuni and G. Casalino, “ Hybrid welding of AA5754 annealed alloy: Role of post weld heat treatment on microstructure and mechanical properties”, *Materials and Design*, vol. 90, pp. 777–786, 2016.
- [28] L. Fu, Y. Peng , J. Huang, Y. Deng and Z. Yin, “Microstructures and mechanical properties of Gas Tungsten Arc Welded joints of new Al–Mg–Sc and Al–Mg–Er alloy plates”, *Materials Science&EngineeringA*, vol. 620, pp, 149-154, 2015.
- [29] F. Nie, H. Dong, S. Chen, P. Li, L. Wang, Z. Zhao, X. Li, H. Zhang, “Microstructure and Mechanical Properties of Pulse MIG Welded 6061/A356 Aluminum Alloy Dissimilar Butt Joints”, *Journal of Materials Science & Technology*, (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmst.2016.11.004>.