

**MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ NOKTA DİRENÇ  
KAYNAKLI BAĞLANTILARININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**2011  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METAL EĞİTİMİ**

**Polat USLU**

**MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI  
BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Polat USLU**

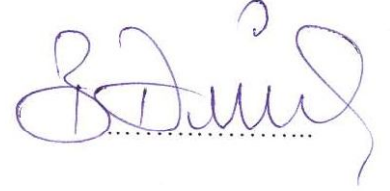
**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Metal Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Şubat 2011**

Polat USLU tarafından hazırlanan “MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Bilge DEMİR

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 06/ 01/ 2011

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Mustafa ACARER (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)

İmzası



/ /2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

*Polat USLU*

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ NOKTA DİRENÇ KAYNAKLI BAĞLANTILARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Polat USLU**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Metal Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Bilge DEMİR**

**Şubat 2011, 77 sayfa**

Bu çalışmada, Mg alaşımlarının nokta direnç kaynaklı birleştirmelerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda AZ31 kalite Mg alaşımı sac kullanılmıştır. Nokta direnç kaynak (NDK) işlemleri sabit elektrot basıncı, farklı kaynak süresi ve kaynak akımı şartlarında uygulanmıştır. NDK birleştirme (NDKB) numuneleri metalografik olarak optik ve SEM ile incelenmiş ve çekme makaslama deneyi ve mikrosertlik ölçümü gibi mekanik testlere tabi tutulmuşlardır. Sonuçlar, düğme merkezinde mikroyapının kabalaştığını ve morfolojinin değiştiğini göstermektedir. EDX analizleri kaynak merkezinde esas metale göre az da olsa kimyasal bir farklılık göstermiştir. Kaynak bölgesinde belirgin bir sertlik değişimi gözlenmemiştir. Kaynak akımı ve kaynak zamanının artmasına bağlı olarak çekme makaslama dayanımı ve yer değiştirme miktarı da artmaktadır. En yüksek dayanım ve yer değiştirme miktarı en yüksek kaynak akımı ve kaynak zamanı şartlarında elde

edilmiştir. Ayrıca, çekme makaslama deneyi sonucunda koparılan numunelerde kırılma davranışı da değerlendirilmiştir. Kırık yüzeyler SEM ile de incelenmiştir. Bu kırık yüzeylerde esas olarak iki tip kırılma gözlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** AZ31, Mg alaşımı, nokta direnç kaynağı, mekanik özellikler,  
kırılma

**Bilim Kodu** : 710.1.092

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE RESISTANCE SPOT WELDED JOINT'S OF THE MAGNESIUM ALLOY**

**Polat USLU**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Metallurgy Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Bilge DEMİR**

**February 2011, 77 pages**

In this study, the mechanical properties of the spot welded joints of Mg alloys. AZ31 quality Mg alloy sheet was used in the experimental study. Spot welding was conducted at constant electrode pressure, different welding period and welding current conditions. Spot welding joint samples were investigated metallographically by optical and SEM graphs and they are exposed to mechanical tests such as tensile shear test and microhardness measurement. The results showed that the microstructure coarsens and the morphology changes at the nugget center. EDX analyses showed some chemical differences from the base metal at the nugget center. There wasn't observed any significant change of hardness at the welding region. As the welding current and welding period increase, tensile shear strength and strain increase. The highest strength and strain were obtained at the highest welding current and current periods. These results shows that the parameters used in the study are accurate. Besides, the fracture behavior of the fractured samples at the end of tensile

shear tests was also evaluated. Basically two types of fracture were observed. Fractured surfaces were also examined by SEM.

**Key Words** : AZ31, Mg alloy, resistance spot welding, mechanical properties, fracture.

**Science Code** : 710.1.092



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Bilge DEMİR'e ve çalıőmalarım esnasında bilgileriyle bana yol gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Fatih HAYAT'a ve Öğr. Gör. Murat KOŐAR'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme, manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	7
MAGNEZYUM.....	7
2.1. TARİHÇESİ .....	8
2.2. SAF HALDEKİ ÖZELLİKLERİ .....	8
2.3. KULLANIM ALANLARI .....	11
BÖLÜM 3. ....	14
MAGNEZYUM ALAŞIM SİSTEM VE FAZ DİYAGRAMLARI .....	14
3.1. Mg İÇEREN İKİLİ ALAŞIMLAR.....	14
3.1.1. Mg-Al Sistemi.....	14
3.1.2 Mg-Zn Sistemi .....	14
3.1.3. Mg-Cu Sistemi .....	15
3.1.4. Mg-Mn Sistemi .....	15
3.2. Mg İÇEREN ÜÇLÜ ALAŞIMLAR .....	16
3.2.1. Mg-Al-Zn Sistemi .....	17
3.2.2. Mg-Al-Cu Sistemi.....	17

	<u>Sayfa</u>
3.3. DENGİ FAZ DİYAGRAMLARI.....	18
3.3.1. Mg-Al.....	18
3.3.2. Mg-Zn.....	20
3.4. ENDÜSTRİYEL EHEMMİYETLİ ULTRA-HAFİF ALAŞIMLAR .....	20
3.4.1. Mg ve Alaşımından Üretilmiş Otomobil Parçaları .....	22
3.4.2. Mg ve Alaşımının Plastik Şekillendirilmesi.....	23
 BÖLÜM 4. ....	 25
MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ NOKTA KAYNAĞI .....	25
4.1. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI.....	25
4.2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞININ ESASLARI .....	26
4.3. DİRENÇ KAYNAĞI YÖNTEMLERİ.....	27
4.4. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI VE PRENSİBİ .....	28
4.5. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAK KABİLİYETİ.....	29
4.6. KAYNAKTA SICAKLIK DAĞILIMI VE ÇEKİRDEĞİNİN OLUŞUMU ..	30
4.7. KAYNAK PERİYOTLARI .....	32
4.8. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ ..	34
4.8.1. Elektrot Bileşimi ve Şeklinin Isınma Üzerine Etkisi .....	34
4.8.1.1. Elektrot Bileşiminin Etkisi.....	35
4.8.1.2. Elektrot Şeklinin Etkisi.....	35
4.8.1.3. Elektrotların Malzemesi ve Boyutları.....	35
4.8.2. Kaynak Akımının Etkisi.....	38
4.8.3 Kaynak Zamanının Etkisi .....	40
4.8.4. Kaynak Kuvvetinin Etkisi .....	42
4.8.5. Esas Metalin Kimyasal Bileşimi.....	43
4.8.6. Kaynak Edilecek Parçaların Yüzeylerinin Etkisi.....	43
4.8.7. Elektrot ve İş Parçasının Temas Durumları.....	45
4.9. ISI KAYBI .....	46
4.10. Mg ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ VE HUSUSİYETLERİ.....	47
4.11. KAYNAK EDİLECEK Mg ALAŞIMLARININ YÜZEYLERİNİ HAZIRLARKEN DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR.....	48
4.12. ÖN ISITMA .....	49

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5. ....	51
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	51
5.1. MALZEME .....	51
5.2. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI .....	52
5.2.1. Kaynak Makinesi ve Donanımı .....	52
5.2.2. Kaynak işlemleri .....	53
5.3. METALOGRAFI.....	56
5.4. SERTLİK ÖLÇÜMÜ.....	57
5.5. ÇEKME MAKASLAMA DENEYİ .....	58
BÖLÜM 6. ....	59
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	59
6.1. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	59
6.1.1. Düğme Çapı.....	59
6.1.2. Mikroyapı .....	63
6.1.3. Sertlik .....	65
6.1.4. Çekme Makaslama Özellikleri.....	66
6.1.5. Birleştirmelerin SEM ve EDX Analizleri.....	68
6.1.6. Kırılma Şekilleri.....	70
SONUÇLAR.....	72
KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	77

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. B36 bombardıman uçağı, yaklaşık 8,6 ton Mg alaşımı içermektedir .....	1
Şekil 1.2. Tamamına yakını Mg alaşımından üretilen ilk uçak Northrop XP-56.....	3
Şekil 2.1. Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri .....	9
Şekil 2.2. Titan I Roketi, kullanılan toplam Mg 0,54 ton (1: Mg-Th HK31A levha, 2-3: HM21A levha, 4: AZ31B levha).....	13
Şekil 3.1. Mg-Zn denge diyagramı .....	15
Şekil 3.2. Mg'dan yana zengin Mg-Mn alaşımları .....	16
Şekil 3.3. Mg'dan yana zengin Mg-Al-Cu alaşımlarının yüzey likidüs çizgileri.....	17
Şekil 3.4. Mg-Al ikili alaşımının denge faz diyagramı.....	19
Şekil 3.5. Mg-Al sisteminin Mg'ca zengin olan bölümü.....	19
Şekil 3.6. Mg-Zn sisteminin denge faz diyagramı.....	20
Şekil 3.7. Mg'un çelik ve Al'a göre sağladığı ağırlık kazancı.....	24
Şekil 4.1. Elektrik direnç nokta kaynağı. ....	26
Şekil 4.2. Nokta direnç kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	28
Şekil 4.3. Direnç nokta kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı.....	31
Şekil 4.4. Direnç nokta kaynağı aşamaları.....	33
Şekil 4.5. RWMA (Resistance Welding Manufacturing Alliance)'ya göre standart elektrot uç şekilleri .....	37
Şekil 4.6. Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliği üzerindeki etkileri .....	39
Şekil 4.7. Kaynak kabiliyeti diyagramı.....	41
Şekil 4.8. Elektrotların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri (a, b). ....	45
Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan AZ31 Mg alaşımına ait mikroyapı fotoğrafı. ....	51
Şekil 5.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan nokta direnç kaynak makinesi.....	52
Şekil 5.3. Nokta direnç kaynak numunesi çifti ve kaynak pozisyonu. (Bu numuneler aynı zamanda çekme makaslama deney numuneleridir). ....	54
Şekil 5.4. Kaynak esnasında kullanılan kalıp resmi .....	54

**Sayfa**

Şekil 5.5. Kaynak işleminde kullanılan kaynak parametrelerinin grafiksel olarak gösterimi .....	55
Şekil 5.6. Mikrosertlik değeri ölçüm noktaları.....	58
Şekil 6.1. Kaynak akım ve süresiyle düğme çapının değişimi.....	60
Şekil 6.2. Kaynak profiline göre mikroyapı fotoğrafları .....	63
Şekil 6.3. Kaynak süresi ve kaynak akımının değişimi ile mikrosertlik değişimi .....	66
Şekil 6.4. AZ31 Mg alaşımının birleştirilmesinde kaynak süresi ve akımının değişimiyle çekme makaslama mukavemetinin değişimi .....	67
Şekil 6.5. ITAB ve kaynak çekirdeğinin SEM çalışması ve EDX analizi.....	69
Şekil 6.6. Kaynaklı numunelerin kopma şekilleri. ....	70
Şekil 6.7. AZ31 Mg alaşımının çekme makaslama testinden sonra kırılma yüzeylerinin SEM mikroyapısı.....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Saf Mg (ağ. % 99,9) mekanik özellikleri.....	10
Çizelge 2.2. Saf Mg ve Al'un fiziksel özellikleri.....	10
Çizelge 2.3. Bazı mühendislik metallerinin fiziksel özellikleri ve maliyetleri .....	13
Çizelge 4.1. Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları .....	36
Çizelge 4.2. Mg alaşımlarının göreceli kaynak kabiliyetleri .....	48
Çizelge 4.3. Mg döküm alaşımları için ön ısıtma sıcaklıkları ve kaynak sonrası ısıt işlemler.....	50
Çizelge 5.1. AZ31 kalite Mg alaşımı sac malzemenin kimyasal bileşimi (% ağırl.)....	51
Çizelge 5.2. Nokta direnç kaynak makinesinin özellikleri. ....	53
Çizelge 5.3. Kaynak makinesinin parametre kontrol sistem ayarları. ....	55
Çizelge 5.4. Nokta direnç kaynaklı numuneler ve kaynak parametreleri. ....	55
Çizelge 6.1. Nokta kaynaklı numunelerin düğme fotoğrafları. ....	59
Çizelge 6.2. Çekme makaslama deneyi ortalama değerleri. ....	67

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezya
Al	: Alüminyum
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
Zn	: Çinko
Mn	: Manganez
Th	: Toryum
Zr	: Zirkonyum
Be	: Berilyum
Ni	: Nikel
Fe	: Demir
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
Sr	: Stronyum
Ba	: Baryum
Ra	: Radyum
Pb	: Kurşun
Cu	: Bakır
Ce	: Seryum
nm	: Nanometre
µm	: Mikrometre
Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub>	: İntermetalik Faz
HF	: Hidroflorik Asit



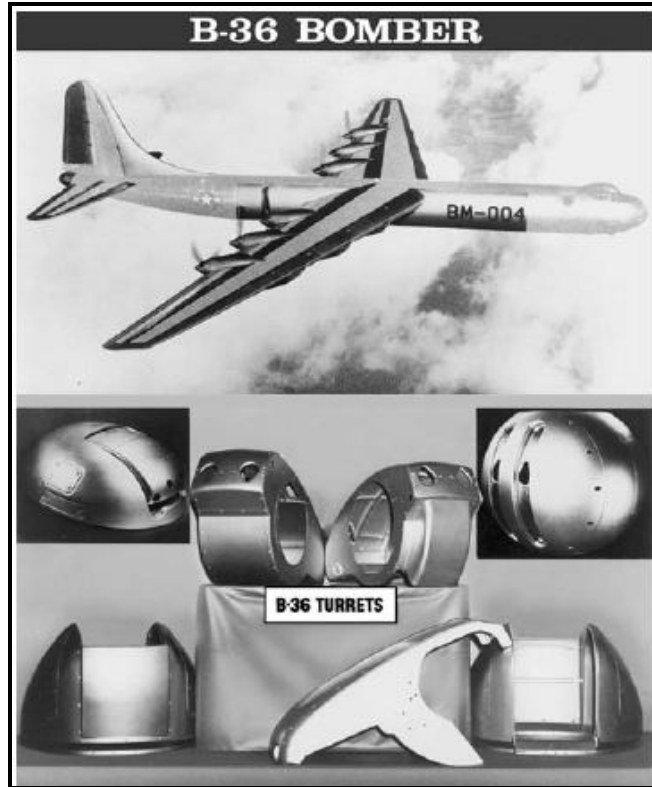
## KISALTMALAR

AWS	: American Welding Society
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: Avrupa Normu
IIW-IIS	: Uluslararası Kaynak Enstitüsü
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
MIG	: Metal Inert Gas
TIG	: Tungsten Inert Gas
NDK	: Nokta Direnç Kaynağı
NDKB	: Nokta Direnç Kaynağı Birleştirmeleri
AZ31	: Al (% 2,5-3,4)-Zn (0,5-1,4)-Mg Alaşımı
TLBC	: Tensile Load Bearing Capacity
ÇMDK	: Çekme Makaslama Dayanım Kapasitesi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
EDS	: Elektron Difraksiyon Taraması (Electron Diffraction Scanning)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Mg alaşımları, özellikle 20. yüzyılın ilk yıllarında geliştirilmeye başlanmıştır. 1930'lu yıllarda ise oldukça önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bundan sonra kayda değer gelişmeler 1950'li yıllarda sağlanmıştır. Son 40 yılda, daha ziyade Al ve çelik üzerinde çalışmalar yoğunlaşmış Mg alaşımları Al ve çeliğe göre biraz daha arka planda kalmıştır. Günümüzde ise, Mg alaşımlarının uzay ve havacılık ile beraber, bilhassa otomotiv endüstrisi başta olmak üzere uygulama ve kullanım alanlarının genişlemesi ile araştırma ve geliştirme faaliyetleri tekrar hız kazanmıştır [1, 2]. Şekil 1.1'de yapımında yaklaşık 8,6 ton Mg alaşımı kullanılmış olan B36 bombardıman uçağı gösterilmektedir.



Şekil 1.1. B36 bombardıman uçağı, yaklaşık 8,6 ton Mg alaşımı içermektedir [3].

Mg'un kolay oksitlenme ve yanma özelliğinden dolayı, Mg alaşımlarının üretimi ve bu üretilen Mg alaşımlarından parça yapım işlemleri sırasında, çevre şartlarına oldukça duyarlı bir metal olması aslında kullanımı için ciddi bir dezavantaj oluşturmaktadır [4]. Özetle; Mg karbondioksiti, serbest karbon ve Mg karbürü hasıl ederek redükler. Kuru atmosferde 550 °C civarında Mg üzerinde bir siyah filmin oluşmasına götüren bu redükleme, CO<sub>2</sub>'in su buharı ile yüklü olması halinde çok daha canlı şekilde gelişir. Yani, Mg atmosferin ve dökümcülükte kullanılan kumların içerdiği havanın gazları ve su ile reaksiyona girer. Koruyucu dekapanlar ve özel kumların kullanılması suretiyle metalürji ve dökümcülükte alınan tüm önlemler işte bu reaksiyonlardan kaçınmak amacına yöneliktir. Kısacası, Mg çok düşük özgül ağırlığı ile beraber, fevkalade fazla oksitlenme eğilimi ile de belirgindir [3, 4]. Mg oksidinin oluşması normalde atmosferik etkenlere ve özellikle de deniz atmosferine karşı bir dayanım sağlaması gerekirken, bu istenilen derecede görülmemektedir. Çünkü oksitlenme ile beraber bir büzülmesi de olduğundan koruyucu olamamaktadır [2-4].

Mg, endüstriyel kullanımı olan metallerin en hafifidir. Mg nispeten zayıf bir metal olmakla birlikte, uygun miktarlarda Al, Zn ve Th içeren alaşımları çökeltme sertleşmesiyle önemli ölçüde kuvvetlendirilebilir. Mg alaşımları için; Al'un mekanik mukavemet ile korozyon dayanımını, Zn'nun; şekil değiştirme kabiliyetini ve elastik sınırı, % 0,3 oranında Mn'in; atmosferik etkenlere karşı korozyon dayanımını, Zr'un; mekanik mukavemeti, kadmiyumun; elastik sınırı, Ce'un; ateşe dayanımını artırdığı genel olarak ifade edilebilir [3, 4]. Bu kapsamda Mg alaşımlarından özellikle Mg-Al-Zn-Mn alaşımları dikkat çekicidir ki bunlar; uçak tekerleri ve motor karterlerinin (dökme) imalinde kullanılmaktadır [2, 3, 5]. Şekil 1.2'de tamamına yakını Mg alaşımından üretilen ilk uçak olan Northrop XP-56 gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Tamamına yakını Mg alaşımından üretilen ilk uçak Northrop XP-56 [3].

Ferdinand Porsche tarafından tasarlanan Volkswagen Beetle otomobillerinin üretilmesi Mg alaşımları için önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilebilir. VW Beetle'da Mg alaşımlarından basınçlı döküm yöntemiyle üretilmiş birçok parça bulunuyordu. Karter ve şanzıman muhafaza kutusu gibi parçalar, her arabada 20 kg'lık Mg alaşımı kullanılmasına imkan sağladı. Volkswagen, savaş sonrası yasaklı olan Almanya'da 1949 senesinde Mg kullanımı için izin alan ilk firma oldu [3]. Dünya genelinde Mg alaşımlarının büyük bir kısmını Norveç'deki NORSK HYDRO ve Texas'daki Dow firmalarından karşılamaktaydı. 1974 yılında Volkswagen de 50.000 tonluk Mg dökümü gerçekleştirerek sektörde kendini gösterdi [3, 5].

Küçük miktarlarda Al, Mn, Zn, Zr vs. içeren Mg alaşımları, orta sertlikteki çeliklere denk mukavemete sahiptir. Pleyt, profil ve şerit şeklinde haddelenebilir. Mg dökülebilir, dövülebilir ve işlenebilir [2, 4]. Yapısal bir metal olarak uçaklarda kullanılmasının yanında özgül dayanım olarak adlandırılan mukavemet/ağırlık oranından dolayı hareketli makine parçalarında ve el aletlerinde kullanılır [3, 5]. Mg, oksî-gaz kaynağı yanında ark ve nokta direnç kaynağı ile de kaynatılabilir ve pirinçle kaplanabilir [6-8].

Mg alaşımları çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilir [6, 7]. Ancak kaynak kabiliyeti incelendiğinde her alaşım için aynı derecede olmadığı görülmektedir. Kaynak kabiliyeti belirlenirken ön planda tutulan hususlar çatlama eğilimi veya birleştirme verimidir. En elverişli kaynak koşulları, uygun birleştirme tasarımı dâhil olmak üzere, genel Mg alaşımları için % 60 - % 100 arasında birleştirme verimleri elde edilebilmektedir [6-8].

Al gibi Mg'da özel şartlarda üretilir. Bu metaller ticari olarak genellikle soğuk şekillendirilmiş şartlarda yarı mamul olarak satılmakta ve kullanılmaktadır. Dolayısıyla kaynak sırasında ITAB da meydana gelen yeniden kristalleşme sebebiyle ITAB ve kaynak metalinde sertlik artışından ziyade sertlik kaybından söz edilmektedir [7-9].

Mg'un kendine has özellikleri sebebiyle kaynak işlemi çeliklerden farklıdır. Çoğunluğu Al için de geçerli olan bu özellikler [7, 8];

- Mg oksit yüzey kaplama.
- Yüksek ısı iletkenlik.
- Nisbeten yüksek ısı genleşme katsayısı.
- Nisbeten düşük ergime sıcaklığı.
- Sıcaklık ergime noktasında yaklaştıkça renk değişiminin olmaması.

Mg aktif bir metal olduğu için oksitlenme hızı sıcaklıkla birlikte oldukça artmaktadır [4]. Mg'un ergime noktası Al'un ergime noktasına çok yakındır, fakat Mg oksidinin ergime noktası çok yüksektir. Bu açıdan oksit kabuğu giderilmelidir [10]. Mg'un ısı

iletkenliği ve ısıl genleşme katsayısı yüksektir. Al ile kıyaslandığında; ısıl iletkenliği yüksek olmasa da ısıl genleşme katsayısı yaklaşık aynıdır [3, 7]. Renk değişikliği göstermemesi ark kaynağı işlemleri açısından önemli sayılmamaktadır [7, 8].

Benzer alaşımlar arasında yapılan kaynaklar temel metalin tam mukavemetini geliştirirken ısıdan etkilenen bölgelerin mukavemeti biraz azalabilir. Bütün Mg alaşımlarında, alaşım içeriği arttıkça katılaşma bölgesi artar ve ergime noktası ve ısıl genleşmesi azalır [7, 8].

Mg-Al-Zn alaşımlarında (AZ31B, AZ61A, AZ63A, AZ80A, AZ81A, AZ91 ve AZ92A), yaklaşık % 10'a kadar Al içeriği, tane yapısını küçülterek kaynak edilebilirliğe yardımcı olurken % 1'den daha fazla Zn içeriği sıcak kırılğanlığı artırır ve kaynak çatlaklarına sebep olabilir. Bu sebeple yüksek Zn içerikli ZH62A ve ZK51A alaşımları çatlamaaya çok yatkın olup kaynak kabiliyeti zayıftır. Th içeren HK31A, HM21A ve HM31A, mükemmel kaynak kabiliyetini sahip olup (B+) veya (A) olarak kademelendirilmişlerdir [7, 9].

Nokta direnç kaynağı otomotiv sanayisinde çok yaygın olarak kullanılan bir birleştirme tekniğidir. Nokta direnç kaynağı malzemenin geçen elektrik akımına karşı gösterdiği direnç ile oluşun ısı ve kaynak bölgesine uygulanan basma kuvveti ile sağlanan bir kaynak yöntemidir [11-15]. Nokta direnç kaynağı işleminin hızlı olması sağlam birleştirme ve ekonomiklik gibi çok önemli avantajlara sahiptir [16]. İlave olarak, yüksek mukavemet, estetiklik ve özel beceri gerektirmemesi gibi nedenlerden düşük karbonlu ve diğer çelik sacların, petro-kimya, gıda, mutfak eşyaları, beyaz eşya, otomotiv endüstrisi gibi korozyon dayanımının ve hijyenin bir arada istendiği ürünlerin imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır [17].

Otomotiv endüstrisinin en önemli konularından bir tanesi ileri araç konseptinde de yer alan etkenlerden yakıt tasarrufu sağlayan hafif araçlar geliştirmektedir [18, 19]. Otomotiv endüstrisinde kullanılan kaynak yöntemleri arasında nokta direnç kaynak yöntemi robot uygulamaları da son derece gelişmiş, önemli bir konumdadır. Bir otomobilin üretiminde binlerce parça kullanılmakta ve yüzlerce farklı tipte işlem gerçekleştirilmektedir. Bu işlemlerden belki de en önemlisi, araç kalitesini % 40 oranında etkileyen, aracın gövdesinin ortaya çıkarıldığı kaynak işlemleridir.

Araçların karoserleri, takviye sacları ve şase bağlantı parçalarının kaynağı elektrik direnç nokta kaynağı ile yapılmaktadır [20-22].

Günümüze kadar Mg alaşımlarının nokta direnç kaynak kabiliyetlerini inceleyen çalışmalar sınırlı da olsa yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir. Mg alaşımlarında kaynak parametrelerinin etkileri, dayanım değerlerinin her kalite ve üretim şartlarında belirlenme gereksinimi gibi şartlar bu alandaki çalışmalara duyulan ihtiyacı devam ettirmektedir [7, 8]. Bu çalışmada kullanılan malzeme ülkemizde üretilen AZ31 kalite bir Mg alaşımıdır. Bu tür malzemelerin üretimi üzerine ülkemizde önemli gelişme ve yönlendirmeler mevcuttur. Bununla birlikte bu tür; üretimi ve kullanımı özel şartlar gerektirebilen malzemeler henüz ülkemizde yeterince üretilmemekte ve aynı zamanda bunların kaynaklı bağlantıları üzerinde de tam manası ile olgunlaşmış bir birikim mevcut değildir. Halen günümüzde devam eden, hafif malzemelere verilen önem bu tür malzemeler üzerine yapılan çalışmaların desteklenmesi bu çalışmalar için motor gücü oluşturmaktadır [1, 5, 17].

Bu çalışmada AZ31 alaşımlı soğuk haddelenmiş metal saclarının nokta direnç kabiliyetleri ve bu kapsamda kaynaklı bağlantılarının çekme makaslama dayanımları, sertlik değerleri ve mikroyapıları incelenmiştir.

## BÖLÜM 2

### MAGNEZYUM

Mg bir plastik kadar hafif olmakla beraber, bir metal kadar da dayanıklı ve sağlamdır. Yeni kesilmiş kesiti, gümüş beyazı bir renk arz eder. Mendeleef'in periyodik cetvelinde II. grup elementi olup metalik nitelikleri Al ve Be'a göre daha kesindir. Mg daima divalent (iki valanslı)'dır. Mg'un, çelik ve Zn'dan % 75, Al'dan ise % 33 daha hafif olması, birçok sektörde yapı malzemesi olarak kullanımına imkan sağlamaktadır [23, 24]. Mg toprakta en çok bulunan elementler içerisinde 8. dir. Bununla birlikte Mg, Al ve Fe'den sonra en çok bulunan yapı metali olma özelliğine sahiptir. Tuzlu su tortuları, tuz gölleri ve okyanuslardaki elementsel Mg potansiyelleri değerlendirildiğinde ise diğer metallere nispeten oldukça fazla miktarda doğada var olduğu kabul edilebilir [2-4].

Mg alaşımlarının mekanik özelliklerini incelediğimizde, 160-300 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı, 80-190 N/mm<sup>2</sup> (% 0,2) akma dayanımı ve % 2-15 kopma uzamasına sahip alaşımlar olduğu görülmektedir [1, 2, 4].

Mg'un 1,74 g/cm<sup>3</sup>'lük yoğunluğu ve 650 °C'lik ergime sıcaklığı, çelik ve Al gibi diğer yapı metallerine göre, dökümde ve talaşlı imalatta önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Örneğin, Mg metali Al'dan iki kat daha hızlı dökülebilmekte ve işlenebilmektedir. Mg'un düşük yoğunluğunun neticesi olarak meydana çıkan düşük eylemsizliği, hızlı hareket eden parçalar için bir avantajdır. Hafiflik aynı zamanda, imalat sırasında parçanın daha kolay taşınması ve bitmiş ürünün daha ucuza sevk edilmesi demektir [1, 3, 5].



## 2.1. TARİHÇESİ

Mg elementinin tarihçesi 1755 yılında, Joseph Black isimli İskoç kimyagerin, MgO içinde, yeni bir element olan Mg'ü içerdiğini keşfetmesiyle başladı. Fakat Black, keşfetmiş olduğu bu yeni elementi MgO'dan ayırmayı başaramadı. MgO daha önceden bulunmuş ve beyaz kaya (white stone) veya beyaz toprak (white earth) olarak isimlendirilmişti. MgO adı, ilk bulunduğu kuzey Yunanistan'daki Thesally bölgesinde Eski Romalılar tarafından verilmişti. MgO bu bölgeden çıkarılarak Akdeniz ve çevresindeki ülkelere dağıtılmıştı. Gerçekte, İngiliz bilim adamı ve kimyager Sir Humphrey Davy, 1808 yılında metali ayırtırmayı başaran ilk kişi olduğu için, Mg'un kâşifi olarak kabul edilmiştir. Davy, galvanik bir pil ve bir cıva katot kullanarak Mg sülfatı elektroliz yöntemiyle bileşenlerine ayırmıştır [3, 5].

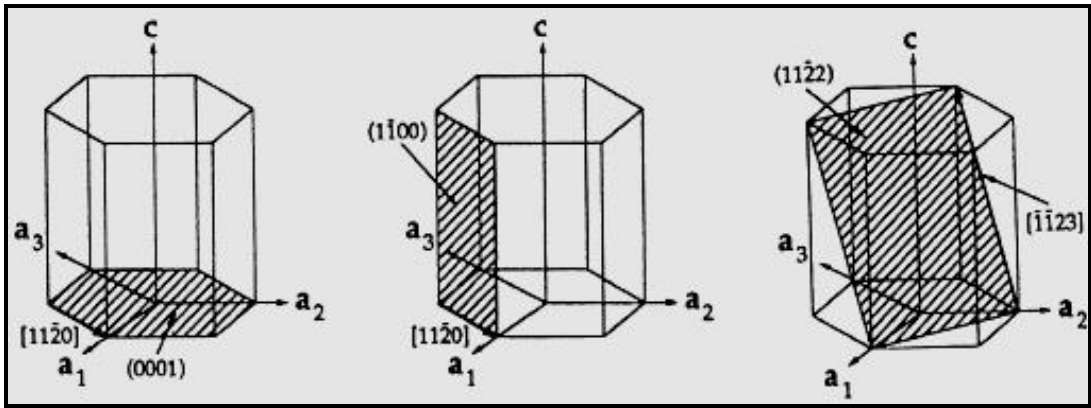
Mg üzerinde yapılan bu çalışmalar ilerleyen zamanlara doğru daha da hız kazanmıştır. İngiliz bilim adamı Sir Humphrey Davy'nin çalışmalarından yirmi yıl sonra, Fransız bilim adamı Antoine Alexandre Brutun Bussy, dehidre edilmiş (kurutulmuş) Mg klorürü, yüksek sıcaklıklarda potasyumla eriterek metali ayırtırmayı başardı. Daha sonra ki zamanlar da, ünlü İngiliz bilim adamı ve Sir Humphrey Davy'nin eski asistanı Michael Faraday, Mg klorürü elektroliz yöntemiyle indirgeyerek, 1833 yılında saf metalik Mg'ü elde etmeyi başarmıştır [3]. Bir Alman olan Robert Wilhelm Bunsen ise, 1841'de C-Zn elektrik pilini geliştirdikten sonra, 1852 yılında erimiş ve dehidre edilmiş Mg klorürden metalik Mg'ü üretmeyi başarmıştır [3, 4].

## 2.2. SAF HALDEKİ ÖZELLİKLERİ

Mg elementi diğer metal elementlerin çoğunda olduğu gibi tabiatta metal formunda bulunmamaktadır. Mg elementini metal formuna çevirebilmek için, magnezit, dolomit, serpantin, asbest, tuzlu su ve deniz suyu gibi ham maddelerin bazı kimyasal işlemlere girmesi gerekmektedir [3]. Yukarıda ifade edilen ham maddelerin kimyasal işlemlere sokulması yolu ile elde edilen Mg'a birincil Mg denilmektedir. Mg elementi aynı zamanda hurda malzemelerin geri dönüşümü yöntemiyle de elde

edilmektedir. Hurda malzemelerin geri dönüşümü yöntemiyle elde edilen Mg'a ise ikincil Mg denilmektedir [3, 10, 24].

Mg, toprak alkali metalleri olarak tabir edilen 2A grubu içerisinde bulunan ve 3. periyotta yer alan bir elementtir. Mg'un atom numarası 12, atom ağırlığı ise 24,3050 g/mol'dür. Mg elementi Be, Ca, Sr, Ba ve Ra elementlerine benzeyen bir elektron dizilişine sahiptir. Elektronların diziliş biçimi  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$  şeklindedir. En dış enerji seviyesinde bulunmakta olan iki elektrondan dolayı, daima 2 değerlik alır. Atom çapı 0,32 nm ve atomik hacmi  $14 \text{ cm}^3/\text{mol}$ 'dür. Kristal yapısı sıkı düzen hekzagonaldır (SDH). Şekil 2.1, birim hücredeki temel düzlemleri göstermektedir. Saf Mg'un oda sıcaklığında hesaplanan kafes parametreleri;  $a = 0,32092 \text{ nm}$  ve  $c = 0,52105 \text{ nm}$ 'dir. 1,6236 olan  $c/a$  oranı, ideal değere (1,633) oldukça yakındır. Bu nedenle Mg'un, mükemmel sıkı paket yapıya sahip bir metal olarak düşünülebilir [2, 4, 10]. Mg'un mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de ve fiziksel özellikleri Al ile birlikte Çizelge 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Birim hücredeki ana düzlemler ve yönleri [3].

Çizelge 2.1. Saf Mg (ağ. % 99,9) mekanik özellikleri [23].

	Çekme Dayanımı	Çekmede Akma Dayanımı	Basmada Akma Dayanımı	Uzama % 50	Brinell Sertliği
	MPa	MPa	MPa	-	500kp/10mm
<b>Kum döküm Kalınlık 13mm</b>	90	21	21	2-6	30
<b>Ekstrüzyon Kalınlık 13mm</b>	165-205	69-105	34-55	5-8	35
<b>Haddelenmiş levha</b>	180-220	115-140	105-115	2-10	45-47
<b>Tavllanmış levha</b>	160-195	90-105	69-83	3-15	40-41

Çizelge 2.2. Saf Mg ve Al'un fiziksel özellikleri [1].

Özellik (20 <sup>0</sup> C)	Mg	Al
Atom numarası	12	13
Atom ağırlığı	24,3	26,98
Kafes tipi	SDH	YMK
Ergime noktası	650 <sup>0</sup> C	659 <sup>0</sup> C
Kaynama noktası	1103±8 <sup>0</sup> C	2447 <sup>0</sup> C
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1,738	2,699
Elektrik iletkenliği (m/ΩK)	22,2	37,6
Termal iletkenlik (W/m.K)	154	222
Özgül ısı kapasitesi (J/kg.K)	1047	930
Hacimsel ısı kapasitesi (J/m <sup>3</sup> .K)	1783	2430
Ort. ısıl gen. kat. (10 <sup>-6</sup> m/m.K)	26 (0-100 <sup>0</sup> C)	23,86 (0-100 <sup>0</sup> C)
Elastisite modülü (10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	44,5	69,6

### 2.3. KULLANIM ALANLARI

Yer kabuğunda bulunan minerallerin % 2,5'i Mg içermektedir. Bununla beraber deniz suyunda % 0,13 oranında Mg bulunmaktadır. 1 mil küp deniz suyu 6 milyon ton Mg içerir ve Amerikan Araştırma Enstitüsüne göre ise dünya üzerinde 330 milyon mil küp deniz suyu bulunmaktadır. Bugünkü kullanım miktarları üzerinden hesap yapıldığında, sadece İsrail'deki Ölü Deniz'de (Dead Sea) dünyaya yaklaşık 20.000 yıl yetecek kadar Mg vardır. Mg bol miktarda bulunan bir metal olmasına rağmen az miktarlarda üretilmektedir. Yıllık Mg üretimi 2006 sonu itibariyle 726.000 ton olmasına karşın Al üretimi yaklaşık 33.000.000 tondur [3, 10].

Mg alaşımları yapısal (structural) ve yapısal olmayan (nonstructural) çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Yapısal uygulamalar; otomotiv sektörünü, endüstriyel makine sektörünü (tekstil ve matbaa), el aletlerini, ticari sektörü (bavul, bilgisayar kasası, merdiven) ve uçak-uzay (aerospace) sanayi donanımlarını kapsamaktadır [1, 3, 5]. Mg aynı zamanda yapısal olmayan uygulamalarda da hizmet vermektedir. Alaşımlama elementi olarak Al, Zn, Pb ve diğer demir dışı metallerde kullanılır. Ni ve Cu alaşımlarının üretiminde oksijen tutucu ve desülfirazör olarak, demir-çelik sanayiinde sülfür alıcı olarak ve ayrıca Be, Ti, Zr, Hf ve U üretiminde indirgeyici eleman olarak kullanılır [3, 5, 10].

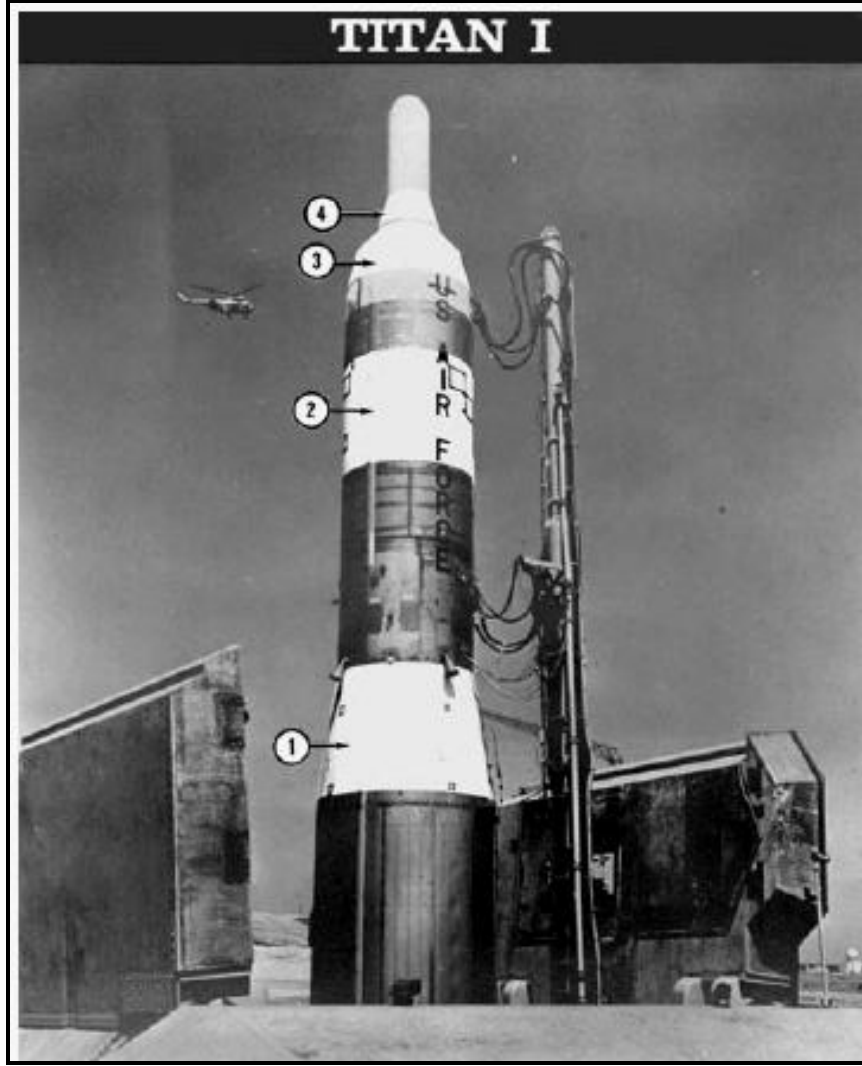
Mg'un yapısal olmayan diğer bir uygulaması da organik kimyadaki Halojeno alkanların metal hidrürlerle indirgenmeleri olarak adlandırılan Grignard reaksiyonudur [2]. Saf Mg ve % 30'a kadar Al içeren alaşımları, ince taneli toz formunda proteknik uygulamalarında da kullanılmaktadır. Mg'un elektromotor olarak ifade edilen seride relatif pozisyonda bulunması, diğer metallerin korozyondan korunması noktasında, Mg'un katodik bir koruyucu olarak kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Bununla birlikte kuru ve şarjlı pillerin yapımında da Mg'un elektromotor seri özelliğinden faydalanılmaktadır [3, 10].

Mg uygun karakteristikleri sayesinde birçok sektörde kullanılabilir bir metaldir. Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe hafifliği dolayısıyla tercih edilmektedir. Şekil 2.2'de yapımında 0,54 ton Mg kullanılmış olan Titan I roketi gösterilmektedir

[3]. Birçok sektörde tercih edilen Mg için şimdiki bu elverişli koşulların sağlanabilmesi kolay olmamış, Al'a göre daha pahalı olmasından dolayı Mg'un kabul görmesi uzun zaman almıştır. Düşen maliyetler neticesinde Mg'da endüstride kendine yer bulmaya başlamıştır. Çizelge 2.3'de Mg'un bazı fiziksel özelliklerinin ve maliyetinin diğer bazı mühendislik metalleriyle kıyaslaması verilmiştir [23, 24].

Al ve Zn içeren Mg alaşımlarının korozyon dayanımını arttırmada, Mn oldukça etkilidir. Mn içeren bu alaşımlar, Fe'in alaşımdaki içeriği ve aktivitesi kontrol altında tutulduğundan, oldukça kullanışlı ve korozyona dirençlidirler [23]. Ayrıca Al ve Zn içermeyen Mg-İttriyum alaşımları da korozyona karşı oldukça iyi direnç gösterirler [3].

Endüstride Mg kullanımı ile ilgili olarak artan ihtiyaç Kanada ve Hindistan'da yeni tesislerin kurulmasına, Brezilya ve Japonya'da mevcut tesislerin genişletilmesine sebep olmuştur. Mg'un üretimi yıllara göre önemli artışlar kaydetmiştir. Bu artışlardaki en önemli etkenler Mg'un çok hafif ve toksiditesinin az olmasıdır [3].



Şekil 2.2. Titan I Roketi, kullanılan toplam Mg 0,54 ton (1: Mg-Th HK31A levha, 2-3: HM21A levha, 4: AZ31B levha) [3].

Çizelge 2.3. Bazı mühendislik metalllerinin fiziksel özellikleri ve maliyetleri [23].

Metal	Yoğunluk 20°C'de g/cm <sup>3</sup>	Erime Noktası °C	Kristal Yapısı	Maliyet \$/kg (1994)
Mg	1,74	651	SDH	3,37
Al	2,70	660	YMH	1,65
Ti	4,54	1675	SDH↔HMK*	7,70-10,00
Ni	8,90	1453	YMK	3,00
Fe	7,87	1535	HMK↔YMK**	0,50-0,57
Cu	8,96	1083	YMK	2,50

\* Dönüşüm 883°C'de

\*\* Dönüşüm 910°C'de

## BÖLÜM 3

### MAGNEZYUM ALAŞIM SİSTEM VE FAZ DİYAGRAMLARI

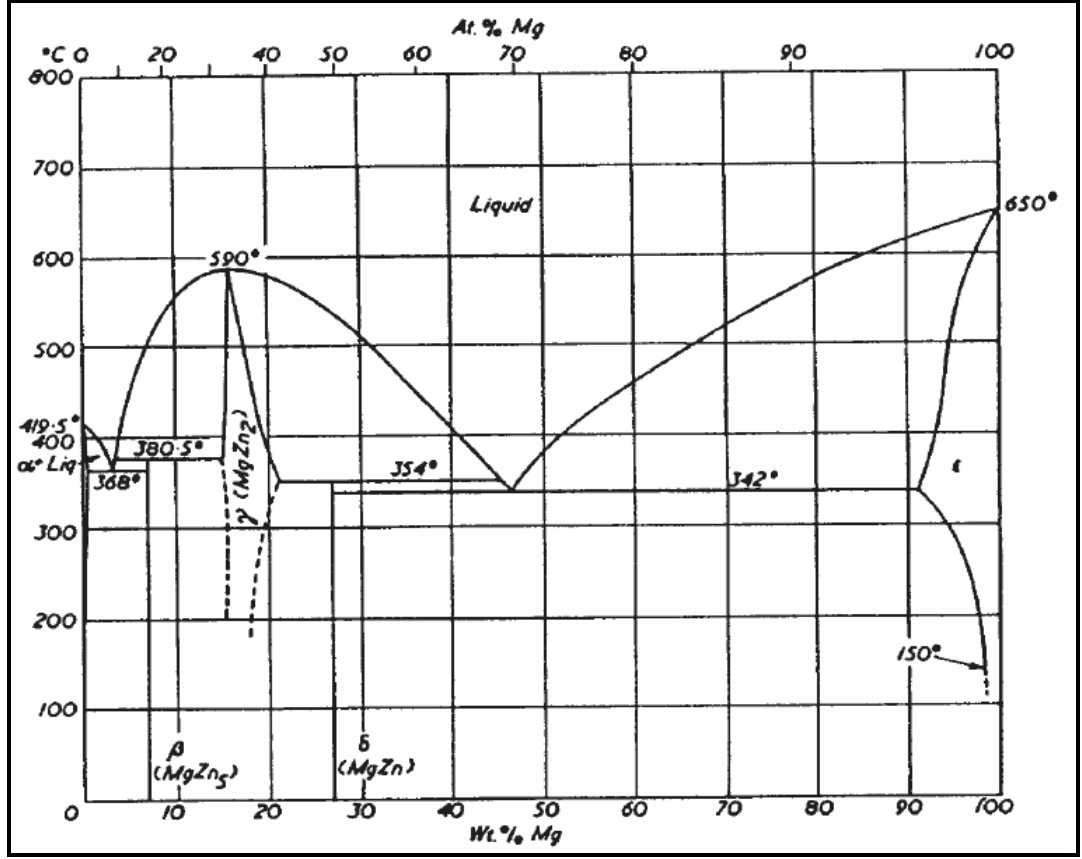
#### 3.1. Mg İÇEREN İKİLİ ALAŞIMLAR

##### 3.1.1. Mg-Al Sistemi

Pratik açıdan Mg-Al ultra-hafif alaşımlarının, Mg'dan yana zengin  $\alpha$  katı eriyik dendritlerinden ve yeterli Al oranında,  $\beta$  kristallerinden oluştuğu görülür.  $\beta$ ,  $\alpha$  Mg'u içyapısını sahip ve muhtemelen de  $Mg_{17}Al_{12}$  bileşiminde bir katı eriyik olmalıdır [7].

##### 3.1.2. Mg-Zn Sistemi

Sistem, çoktan beri bilinen uygun ergimeli bir  $MgZn_2$  bileşimi ile buna daha sonra eklenmiş bulunan iki yeni bileşim,  $MgZn_5$  ve  $MgZn$ 'den oluşur. Katı fazlar belli bir homojenlik alanına sahip bulunup bu alan alçak sıcaklıkta az yaygındır. Zn'nun Mg içinde sıcaklığa göre eriyebilme sınırını veren XY eğrisi birçok araştırmaya konu olmuş olup ifade edilmiş olan eğriler oldukça değişik olmuşlardır. Pratik olarak Mg-Zn ultra-hafif alaşımların, Mg'dan yana zengin  $\alpha$  katı eriyik dendritleriyle  $\alpha + MgZn$  ötekiğinden oluştuğu görülür [7, 25].



Şekil 3.1. Mg-Zn denge diyagramı [24].

### 3.1.3. Mg-Cu Sistemi

Sistemde, sırasıyla 568 ve 819 °C’de eriyen iki  $Mg_2Cu$  ve  $MgCu_2$  belli bileşik mevcuttur. Cu’ın Mg içinde erime kabiliyeti incelendiğinde, bu kabiliyetin fevkalade düşük olup ihmal edilebileceği söylenebilir.

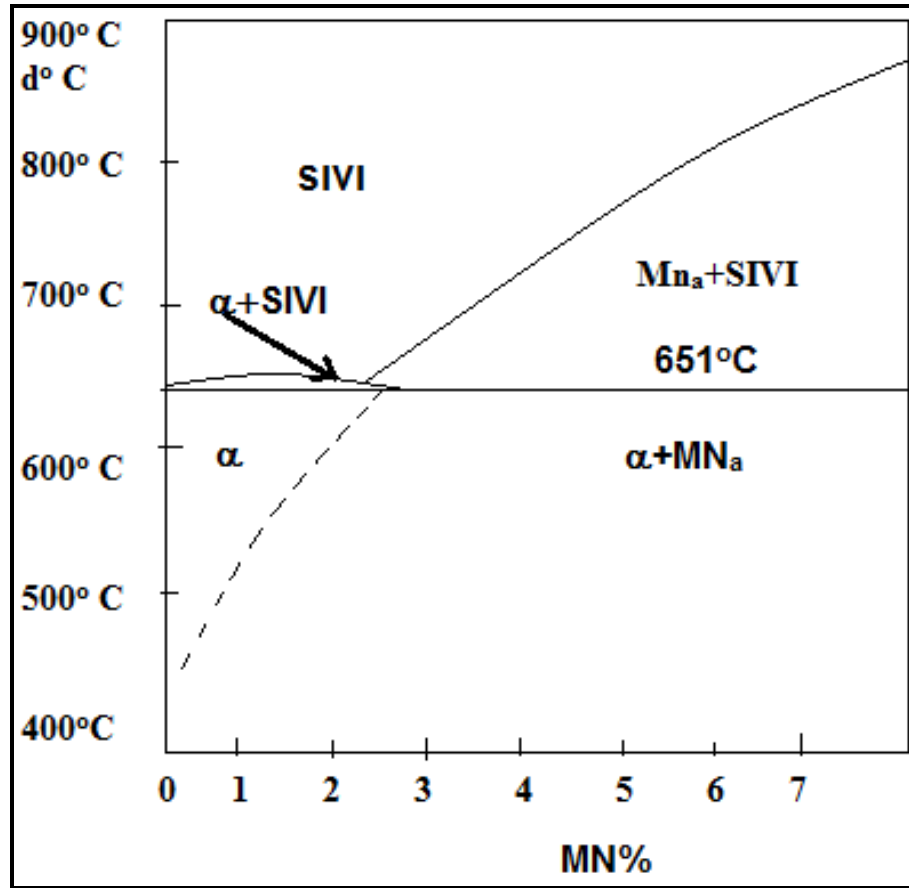
Bu itibarla Mg-Cu ultra-hafif alaşımları, Mg dentritleriyle bir Mg-Mg, Cu ötektiğinden oluşmuşlardır. Cu’ın Mg içinde çok düşük erime kabiliyetine sahip olmasının bir diğer sonucu da, bu ultra hafif alaşım tiplerinin iyi bir elektriksel ve ısı iletkenliğe sahip olmalarıdır [7, 25].

### 3.1.4. Mg-Mn Sistemi

Bu sistemin denge diyagramı henüz bütünüyle tam olarak bilinmiş sayılmaz. % 0 ile 2 Mn arasında likidusla solidusun birbirlerinden ayrılması pratik olarak mümkün



değildir. % 2'nin ötesinde, ötektik çizgisi 651 °C'dedir. Mn'nin Mg içinde eriyebilirliği 651 °C'de % 2,5; 500 °C'de % 0,8 ve oda sıcaklığında da pratik olarak sıfır mertebesinde gibidir. Bazı Mg alaşımlarına az miktarlarda Mn, Zr ve "nadir toprak" metaller eklenir. Mn, gördüğümüz gibi korozyon mukavemetini artırır, Zr etkin bir tane incelticidir. Th ve nadir toprak metaller ve bunların içinde de özellikle Ce, mekanik mukavemeti daha da artırmakla birlikte alaşıma daha yüksek süneklik sağlar; ama bunların en önemli işlevi, yüksek çalışma sıcaklıklarında artmış sürünme mukavemeti sağlamalarıdır.



Şekil 3.2. Mg'dan yana zengin Mg-Mn alaşımları [7].

### 3.2. Mg İÇEREN ÜÇLÜ ALAŞIMLAR

Çok sayıda üçlü denge diyagramı yayınlanmıştır; burada sadece Mg-Al-Zn ve Mg-Al-Cu sistemlerinden kısaca söz edeceğiz.

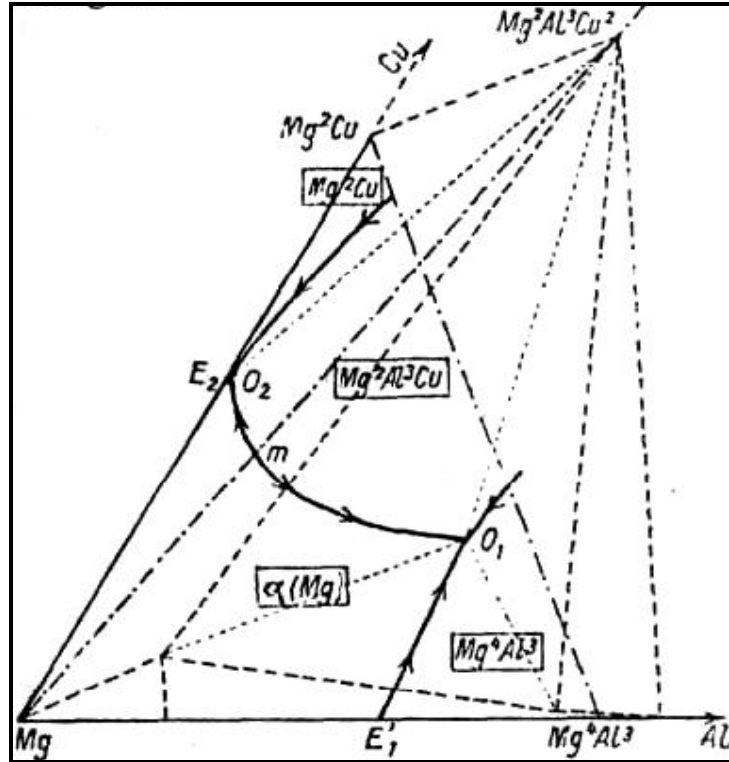
### 3.2.1. Mg-Al-Zn Sistemi

Sistem,  $Al_2Zn_3Mg_3$  ile temsil edilen ve haylice yaygın bir karma kristaller alanı veren bir w birleşimini içerir.  $Al_2Zn_3Mg_3$  birleşimi merkezli kübik sistemde kristalleşir. Endüstriyel açıdan, sıcaklıkla zenginliği değişken olan bir Mg'dan yana zengin  $\alpha$  katı eriyik alanının varlığı göz önünde bulundurulmaktadır [24].

### 3.2.2. Mg-Al-Cu Sistemi

Bütünüyle ele alındığında bu diyagram, 8 metaller arası ikili ve muhtemelen de 3 üçlü metaller arası bileşik içermesi itibariyle hayli çapraşık gibi görünmektedir. Burada sadece Mg'dan yana zengin alaşımların Mg-Mg<sub>4</sub>Al<sub>3</sub>-Mg<sub>2</sub>Cu bölümüyle sınırlı denge diyagramını verilmiştir.

Bu diyagram, bu bölgede bir Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>Cu<sub>2</sub> formüllü üçlü bir metaller arası bileşimle esasen sıcaklıkla değişken yaygınlıkta olan, Mg'dan yana zengin üçgen bir  $\alpha$  katı eriyik alanı ile belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Mg'dan yana zengin Mg-Al-Cu alaşımlarının yüzey likidüs çizgileri [23].

### 3.3. DENGE FAZ DİYAGRAMLARI

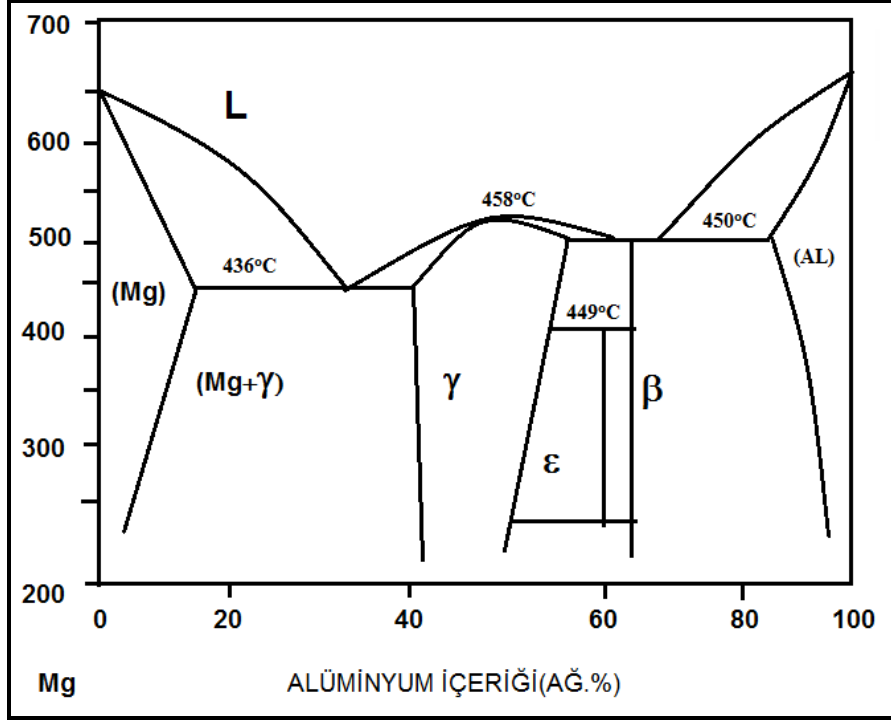
Mikroyapıyı tanımlayan bir malzeme terimi olarak faz, yapı veya bileşim bakımından bir diğer bölgeden farklı olan bölge demektir. Faz diyagramları malzeme sistemlerinde, değişik sıcaklık, basınç ve bileşimlerde hangi fazların bulunduğunu çizgilerle gösteren şekillerdir. Faz diyagramlarının çoğu denge koşullarına göre çizilmiştir ve mühendisler ile bilim adamları tarafından, malzeme davranışını çeşitli yönleriyle anlamak ve tahmin etmek için kullanılırlar [25].

Malzemelerin özellikleri yapıya duyarlı olanlar ve yapıdan bağımsız olanlar şeklinde sınıflandırılabilir. Yapıdan bağımsız olup genellikle mikroyapıdan etkilenmeyen özellikler; yoğunluk, elektriksel özellikler, ısıl iletkenlik, özgül ısı vb.dir. Bu tip özellikler kimyasal bileşim ve atomik özellikler tarafından belirlenir. Yapıya bağlı özelliklerin tamamı, mekanik özelliklerdir [24].

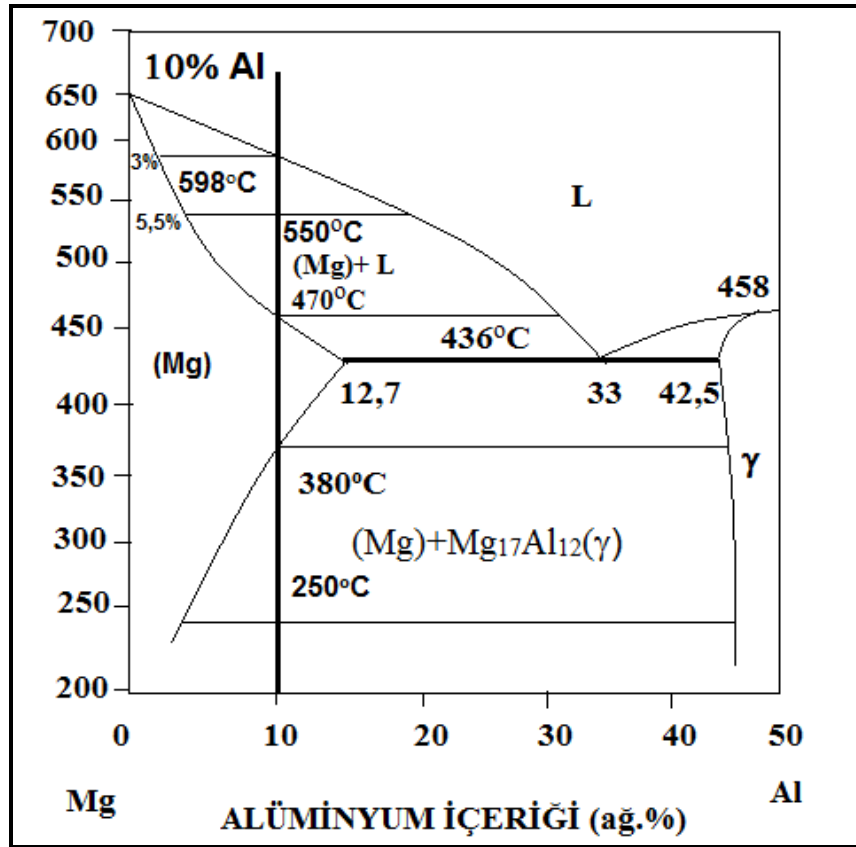
Faz diyagramları malzemelerin denge durumlarını göstermesine karşın; fiziksel şekil, faz dağılımları veya denge-dışı durumdaki işlemler hakkında bilgi vermez. Faz diyagramları, özellikle mikroyapıyı yorumlamak ve ısıl işlem (yaşlandırma sertleştirme veya termo-mekanik uygulamalar gibi) planlarını yapmak için çok kullanışlı araçlardır. Aşağıda Mg ikili alaşım sistemlerinin en önemli faz diyagramları verilmiştir [25].

#### 3.3.1. Mg-Al

Al, Mg için en önemli alaşım elementlerinden biridir. Birçok alaşım sistemi, ağırlık %10'a kadar Al içerir; örneğin AZ, AM, AE ve AS. Şekil 3.4'de Mg-Al denge faz diyagramı görülmektedir. Al, Mg içinde kolayca çözünen birkaç metalden sadece biridir. Al içeriği çözünürlük limitinin üstünde ise, kırılğan (gevrek) bir arabileşik (intermetallic) olan  $Mg_{17}Al_{12}$  çöker. Al'un çözünürlük limiti ötektik sıcaklıkta at.% 11,5 (ağırlık % 12,7) iken oda sıcaklığında at.% 1'e kadar düşmektedir. Bundan dolayı, özelliklerin belirlenmesinde,  $Mg_{17}Al_{12}$  etkin bir rol oynamaktadır (Şekil 3.5). Mg-Al esaslı ticari alaşımlar, Zn gibi başka alaşım elementlerini içermektedirler. Örneğin; AZ91, AZ81 ve AZ63 [24, 25].



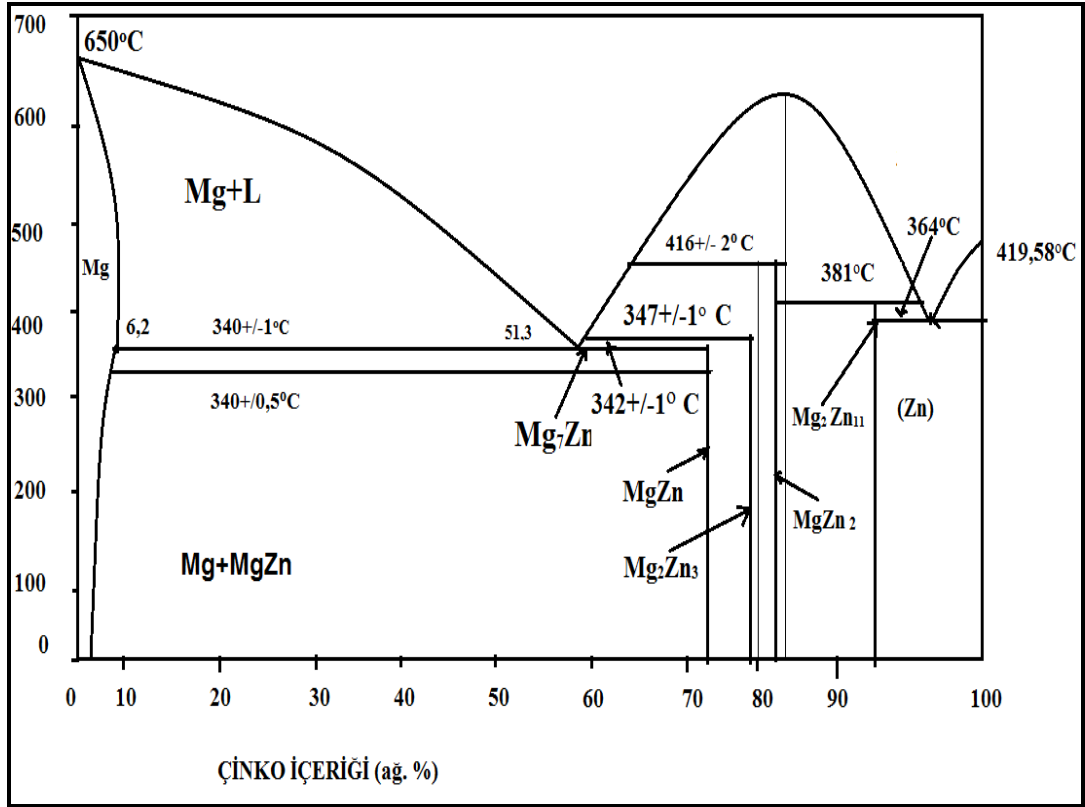
Şekil 3.4. Mg-Al ikili alaşımının denge faz diyagramı [3].



Şekil 3.5. Mg-Al sisteminin Mg'ca zengin olan bölümü [3].

### 3.3.2. Mg-Zn

Zn çok önemli bir alaşım elementi olmasına karşılık, nadiren ana alaşım elementi olarak hizmet verir (ZK, ZH, ZM, ZC ve ZE serisi alaşımları). İkili denge faz diyagramı (Şekil 3.6), ağırlık % 51,3 noktasında bir ötektik nokta göstermektedir. Zn'nun Mg içindeki katı çözünürlüğü, ötektik sıcaklığında (340 °C) maksimum ağırlık % 6,2'dir [24].



Şekil 3.6. Mg-Zn sisteminin denge faz diyagramı [25].

### 3.4. ENDÜSTRİYEL EHEMMİYETLİ ULTRA-HAFİF ALAŞIMLAR

Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi genel olarak Mg'a eklenen alaşım elementleri, Al, Zn, Mn ve özel amaçlar için de kalay, Zr, Ce, Th ve Be'dur. Cu, Fe ve Ni saflığı bozan madde olarak kabul edilir ve alaşımda en üst korozyon mukavemetinin sağlanması için bunların bir minimumda tutulmaları gerekir. Mg-Al alaşımları, mekanik karakteristikleri ve korozyona dayanımları itibariyle ilginç olmakta, diyagramın tek bir homojen faz içeren alanında bunlardan bulunmaktadır. Al oranı %

3 ila 10 arasında olup daha fazlası alaşımı gevrekleştirir. Al, Mg'un mekanik mukavemetini, sertliğini ve döküm kabiliyetini artırır. Bu tipten endüstriyel alaşımlar çoktan beri bilinmekle birlikte hala çok kullanılmaktadırlar [23, 24].

Mg-Zn ve Mg-Al-Zn alaşımları havacılık endüstrisinde kullanımı genelleşmiş ve "Elektron" ve "Magnuminium" ticarî adlarını taşıyan ve hem dökme, hem de şekillendirilmiş (haddelenmiş, çekilmiş) halde bulunan alaşımlardır. Aşağıdaki tablolarda bunların karakteristikleri verilmiştir. Zn, Al'la birlikte, % 3'e kadar bulunur ve tuzlu su korozyonuna dayanımı artırır ve saflığı bozan Cu ve Fe'in zararlı etkilerini telâfi eder. Aşırı Zn oranı,  $MgZn_2$  birleşimi oluşması dolayısıyla gözeneklilik ve gevreklik meydana getirir [23, 24].

Bir örnek olarak; Mg + % 4 Al + % 3 Zn alaşımını verelim. Kuma dökülmüş halde kopma mukavemeti:  $R = 17-20 \text{ kg/mm}^2$ ; uzama  $A = \% 4-6$  verir. Kokil dökümünde ise  $R = 20-23 \text{ kg/mm}^2$  ve  $A = \% 6-10$  olur. Mg + % 3 Al + % 1 Zn alaşımı, preste şekillendirmeye  $R = 25-29 \text{ kg/mm}^2$ ;  $A = \% 15-17$  gibi karakteristikler arz eder. Mg-Cu ve Mg-Al-Cu alaşımları Mg'dan yana zengin bir üçgen katı eriyik alanının varlığı dolayısıyla ikili kullanım bölgesi ayrılacaktır [2, 23].

- Al + Cu < % 6 olduğu karma kristaller alanı içinde bulunan alaşımlar; bunların mekanik karakteristikleri Al-Mg alaşımlarinkilerin aynı olmakla birlikte korozyon dayanımları hissedilir ölçüde daha azdır [23].
- %  $8 < \text{Al} + \text{Cu} < \% 12$  ve Cu oranının % 8 ila 12 mertebesinde olduğu alaşımlar Mg dendritlerin ile bir üçlü ötektikten oluşurlar [23].

Bunlar üçlü katı eriyik dendritleri içermeyip böylece iyi bir ısıl iletkenliği sahiptirler, bu nedenle de patlamalı motor pistonlarının imali hususunda dikkatleri üzerlerinde toplamışlardır. Yüksek Cu oranlarına rağmen bu alaşımlar dövülebilir, ancak Cu ilavesinin Mg'un özgül ağırlığını oldukça artırmak ve alternatif harekette pistonun uğradığı atalet etkilerinden ileri gelen güç kayıplarını yükseltmek gibi sakıncaları vardır [2, 24].

Mg-Al-Cu alaşımlarıyla gerçekleştirilmesi mümkün bazı karakteristik örnekleri şunlardır:

- Mg + % 3 Al + % 3 Cu:
- Kum dökümü: R = 12-14 kg/mm<sup>2</sup>; A = % 4
- Haddeden ekme: R = 22-24 kg/mm<sup>2</sup> A = % 15-16
- Mg + % 3 Al + % 9 Cu
- Kum dökümü: R = 12–14 kg/mm<sup>2</sup>; A = % 2-3
- Haddeden ekme: R = 25–26 kg/mm<sup>2</sup>; A = % 8 [23, 24].

Mn’li alaşımlarda, özellikle Al’un varlığında, Mn’in Mg içinde erime kabiliyetinin çok sınırlı olduğunu grmştk. Mn, Mg-Al ve Mg-Al-Zn alaşımlarına, mekanik mukavemet niteliklerine zarar vermeden korozyon dayanımı ve kaynak kabiliyetini artırmak için % 0,5’den az eklenir. % 1,2 Mn’li bir ikili alaşım ise, daha iyi kaynak kabiliyeti ve sıcak şekillendirme karakteristikleri elde etmek için mekanik mukavemetten özveride bulunularak kullanılır [4]. Korozyon dayanımının artması, parçaların yüzeyinde bir MnO<sub>2</sub> oksidinin oluşması ve alaşımın hidrojen potansiyelinin artması nedeniyledir. Si, Mg’da erimezse de alaşımın sertliğini artıran Mg<sub>2</sub>Si birleşimini var eder. Aşırı gevrekleşmeden kaçınmak için genel olarak % 0,3’n altında tutulur. Kalay Mg içinde 650 C’de yaklaşık % 15’e kadar erir. Bu erime kabiliyeti oda sıcaklığında  fazının (Mg<sub>2</sub>Sn) okelmesiyle hızla azalır. Bir Mg-Al-Mn alaşımına % 5 kalay ilavesi ona iyi çekiçle dvlme kabiliyeti verir [24].

#### **3.4.1. Mg ve Alaşımlarından retilmiş Otomobil Parçaları**

Mg, bugün Avrupa’da en çok Alman üreticiler tarafından kullanılmaktadır. Mg kullanımı da Volkswagen fabrikalarının tarihi ile başlar. Volkswagen arabalarının ilk geliştirme çalışmalarında Mg, motor ve vites kutularında arka tekerleklerden tahrik alan kara taşıtlarının toplam ağırlığını ve arka aks yüklemelerini düşürmek için denenmiştir. Daha sonraları ise Mg alaşımlarının ekonomik avantajları giderek önem kazanmıştır. Bugüne kadar uygulamalar, daha çok yüksek fiyatlı otomobillerde ve spor araç sektörlerinde olmuştur [18, 19].

Günümüzde Mg alaşımlarının otomotiv sektöründe potansiyel kullanım alanı olarak görülebilecek iki ana grup vardır. Bunlardan birincisi Mg alaşımlarının halen kabul gördüğü şasi elemanları, dahili parçalar ve kaporta elemanları gibi yapısal elemanlar olup, bu uygulamalarda Mg alaşımları dayanım, süneklik, yorulma ve darbe dirençlerinin yeterli olmaları nedeniyle iş görebilirler. Örnek olarak koltuk iskeleti, direksiyon ve direksiyon kolunu bileşenleri, ayna yuvaları, jantlar, süspansiyon kolları, iç konsol, bagaj kapağı, gösterge paneli, fren ve debriyaj pedalları verilebilir [5, 18].

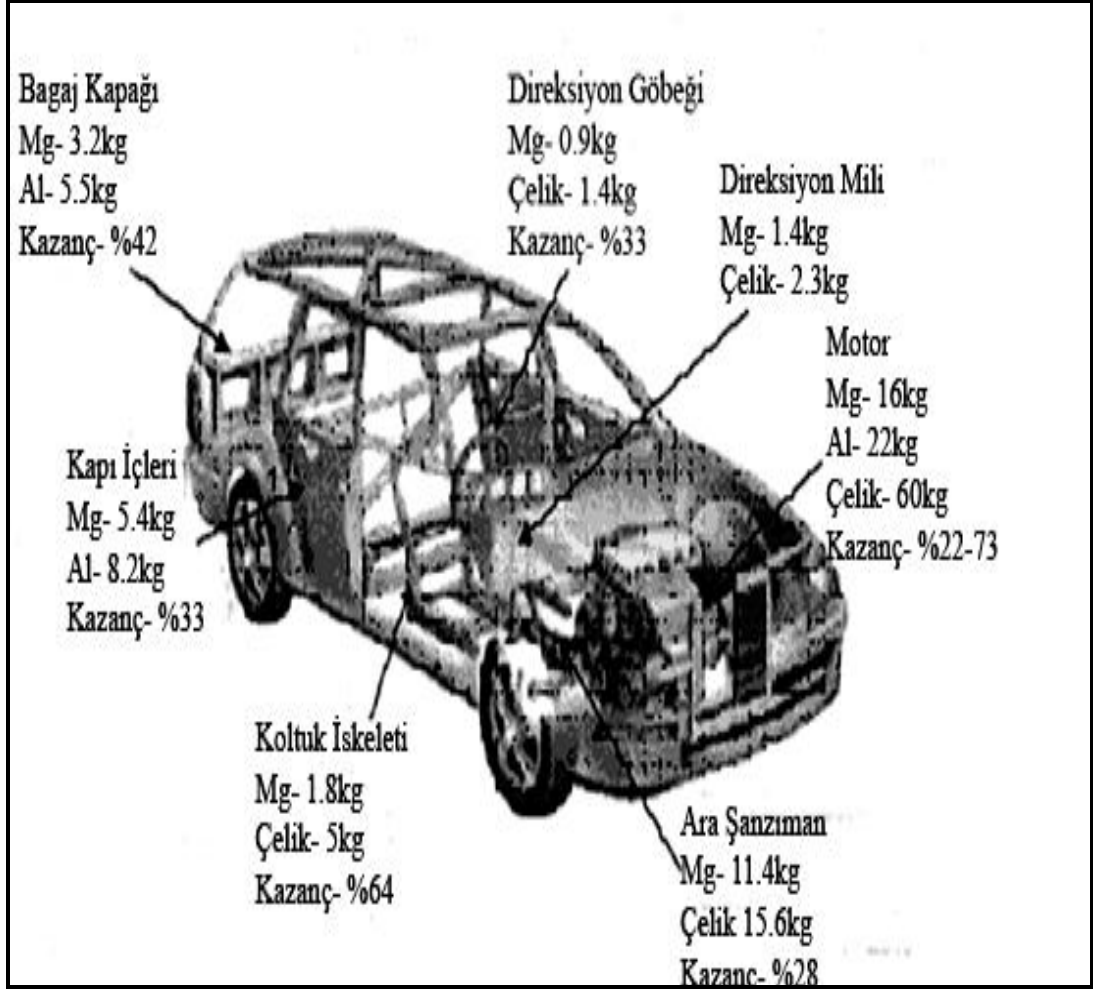
İkinci bir grup uygulama da, motor grubu ve transmisyon komponentlerinden oluşur. Birinci grubun özelliklerinin yanında, yüksek sıcaklıklar için sürünme ve korozyon dayanımı da gerektiren bu parçaların mevcut uygulamaları olmasına rağmen, alaşımları da gelişme sürecine devam etmektedir [18].

#### **3.4.2. Mg ve Alaşımlarının Plastik Şekillendirilmesi**

Sac ve plaka haddesinde kullanılacak Mg kütük malzemeler bir ön ısıtma operasyonuna tabi tutulur. Ardından yine ön ısıtmaya tabi tutulmuş hadde topları arasından geçirilerek, levha haline getirilirler. Levha ve hadde topları arasındaki temas süresi oldukça kısadır. Arada yağlama ihtiyacı olmazsınız levhalar her geçişte yaklaşık 6 mm kadar inceltirler. Ancak son geçişten sonra hadde toplarının yağlanması gerekir [26].

Sac ve plakalar genelde Mg-Al-Zn alaşımlarından haddelenir. AZ31B alaşımı, sac ve plaka için yoğun olarak kullanılan alaşımdır ve 100 °C'nin üzerine kadar kullanılabilir. HK31A ve HM21A alaşımları 315-345 °C sıcaklıklarda kullanım için uygundur. Sac ve plaka ürünlerde kesit kalınlıkları konstrüksiyonun toplam ağırlığını fazla etkilemeden arttırılabilir. Böylece parçaya rijitlik kazandırılmış olur [26].





Şekil 3.7. Mg'un çelik ve Al'a göre sağladığı ağırlık kazancı [27].

## BÖLÜM 4

### MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ NOKTA KAYNAĞI

#### 4.1. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

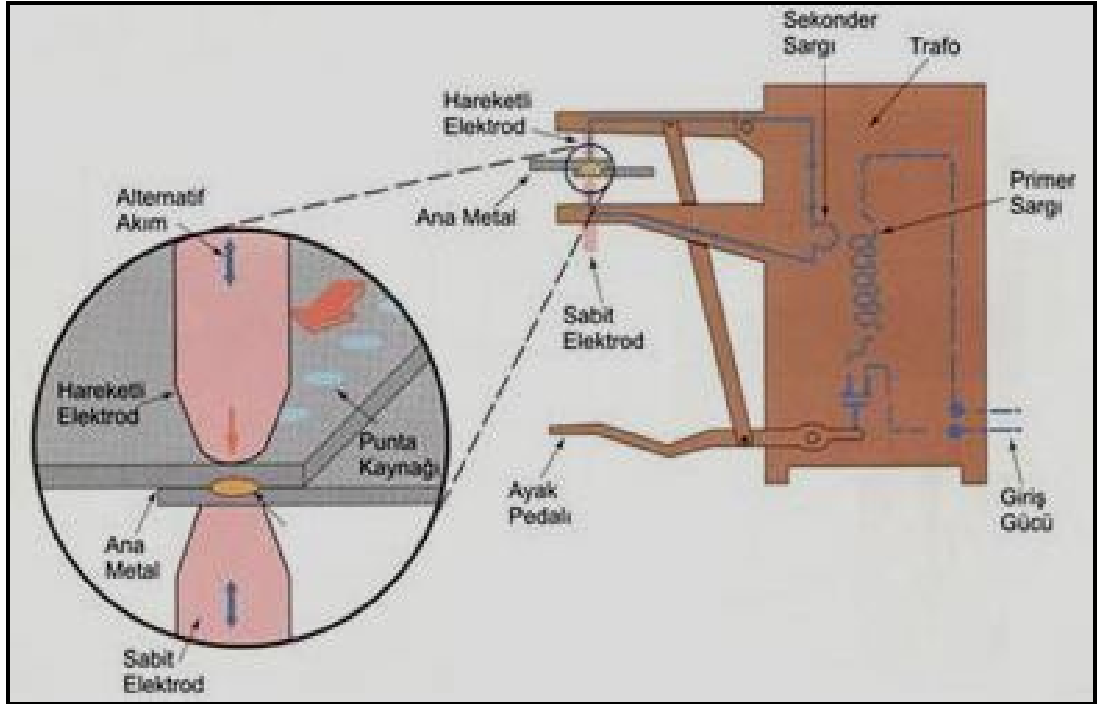
Zamanımız endüstrisi içerisinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olan elektrik direnç kaynak yöntemi, en eski kaynak yöntemlerinden birisidir. Yöntem elektrik akımının kaynak edilecek parçalar üzerinden geçmesidir. Elektrik akımına karşı olan malzeme direnci malzemelerin akım geçişi sırasında kaynak sıcaklığına ısıtılmasını sağlar. Yöntemde üst üste konmuş iki veya daha fazla malzeme sıkıştırılarak üzerlerinden akım geçirilir ve punta uçlarının bastığı bölgelerde ergimiş noktalar oluşur. Akım geçişinden sonra parçalar ergimiş noktaların katılması için bir süre daha basınç altında tutulur. Böylelikle katılma sonucunda malzemeler birbirine kaynaklanmış olur. Kaynak ısı, basınç ve zamanın uygun şartlarda birleşimiyle yapılır. Kaynak zamanı malzeme kalınlığına ve kalitesine, akımın büyüklüğüne ve punta ucunun malzeme yüzeyine temas alanına bağlıdır. [22].

Elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi ısı işleme tabi tutulabilen tüm metallere ve alaşımlarına uygulanır. Çoğunlukla aynı metallerin ve alaşımlarının kaynağında kullanılır. Bu kaynak yöntemi, ilave malzeme kullanılmadığından sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel kaynak beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi nedenlerle, günümüzde otomotiv sektöründe gövde, kabin ve sac birleştirmelerinde ve uçak endüstrisinde ve millerin alın kaynaklarında, çeşitli boru imalatlarında, bağlantı elemanlarının kaynağında ve metal eşya imalatında büyük ölçüde kullanılmaktadır. Ayrıca kara ve hava taşıtlarında ince sac nokta kaynak robotları geliştirilip kullanılmaktadır. [15, 28]

## 4.2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞININ ESASLARI

Direnç kaynağı, parçalardan geçmekte olan elektrik akımına karşı parçaların göstermiş olduğu dirençten elde edilen ısı ve elektrot basıncının uygulanmasıyla meydana gelen bir birleştirme yöntemidir. Bu yöntemde ilave bir ısı kaynağı kullanılmaz [15, 22, 28, 29].

Kaynak işlemi, bir düğmeye ya da pedala basarak makineyi devreye sokan ve devreden çıkaran operatörler tarafından hızla gerçekleştirilir. Bu nedenle, özellikle ark kaynağı, gaz kaynağı, sert ve yumuşak lehimleme gibi diğer termik birleştirme yöntemleriyle mukayese edildiğinde, kaynak başına düşen işçilik masrafı bu yöntemde oldukça düşüktür. Diğer yandan, direnç kaynağı makineleri, diğer kaynak yöntemleri için gerekli teçhizatın maliyetleri ile karşılaştırıldığında daha pahalıdır. [22, 28, 29].



Şekil 4.1. Elektrik direnç nokta kaynağı.

Direnç kaynağı için gerekli olan akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak

transformatöründen sağlanır. Gerekli olan basınç ve elektrot kuvveti ise hidrolik, pinomatik veya mekanik donanımlarla sağlanır [30].

### 4.3. DİRENÇ KAYNAĞI YÖNTEMLERİ

Direnç kaynağı yöntemlerinin çok çeşitleri mevcuttur. Bu yöntemlerde amaç yerel olarak yüksek bir direnç meydana getirmektir. Böylece bağlantı noktalarında ısıyı yoğunlaştırabilmek için değişik teknikler kullanılmış olur. Direnç, iletkenin öz direncine ve geometrisine bağlıdır. Kaynak esnasında birleştirilecek parçalar arasında sınırlı bir akım yolu meydana getirilerek, yerel yüksek bir direnç oluşturma yoluna gidilir. Buna verilebilecek en iyi örnek kabartılı nokta kaynağıdır. Bu yöntem akım yoğunlaştırılması olarak bilinir. Bütün direnç kaynağı uygulamalarında, akım taşıyan elektrotlar ve birleştirilecek parçalar arasında fiziksel bir temasın olması gerekir [15, 22].

Direnç kaynağı yöntemleri üç gruba ayrılır:

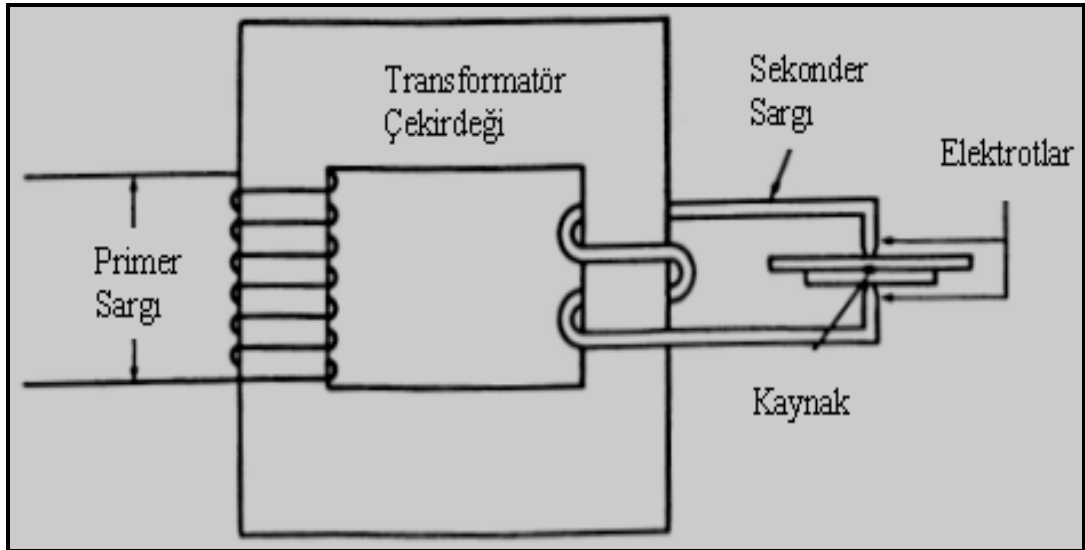
- Nokta kaynağı:
  - Normal nokta kaynağı
  - Kabartılı nokta kaynağı
- Dikiş kaynağı:
  - Sürekli dikiş kaynağı
  - Aralıklı dikiş kaynağı
- Alın kaynağı:
  - Basınçlı alın kaynağı
  - Yakma alın kaynağı
    - Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı
    - Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı

Bütün direnç kaynağı yöntemleri, uygun bir akım şiddeti ve kaynak zamanı düzenlemesi gerektirir. Akım kapalı bir devre boyunca geçer. Akımın sürekliliği, kullanılan yönteme uygun olarak şekillendirilmiş elektrotların uyguladığı basma kuvveti sayesinde gerçekleşir. Kaynak sırasında yapılan işlemlerin sırası en genel

halde şöyle ifade edilebilir: Önce sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bu metalin basınç altında yeniden katılaşmasıyla soğumasına olanak sağlamaktır. İş parçasının ısınma ve soğuma hızları, zaman tasarrufu ve ısı kayıplarının azaltılması bakımından mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Eğer soğuma hızı gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksekse, kaynak makinesinde gerçekleştirilen bir ısıtma işlemi gerekmektedir [15, 22].

#### 4.4. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI VE PRENSİBİ

Nokta direnç kaynağı, elektrotlar tarafından uygulanan kuvvet altında bir arada tutulan iş parçalarında, geçen elektrik akımına karşı iş parçalarının gösterdikleri dirençten elde edilen ısı ile parçaların tek ya da daha çok noktada bölgesel olarak eritilip basınç altında birleştirilmesine dayanan bir yöntemdir. Akım yoğunlaşması ile ısıtılarak kaynak metalinde ergimiş çekirdek meydana gelir. Elektrik akımı kesildiğinde, kaynak metali hızlı bir şekilde soğuyup katılırken elektrot kuvveti uygulanmaya devam etmektedir, daha sonra elektrotlar geri çekilerek iş parçasını serbest bırakırlar. Kaynak işlemi genellikle 1sn' den daha kısa bir sürede tamamlanır [20, 22, 29]. Şekil 4.2'de nokta direnç kaynak makinesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Nokta direnç kaynak yönteminin şematik gösterimi [28].

Nokta kaynağında kullanılan makineler, şebeke elektriğini transformatörden geçirerek voltajını düşürür ve akım şiddetini artırır. Makinenin kapasitesine göre

akım 2000 ile 120.000 amper arasında değişkenlik göstermektedir. Elektrotlar parçalara önceden ayarlanmış olan zaman aralıkları içerisinde yaklaşır ve uzaklaşır. İş parçasını sıkan elektrotlar pinomatik, hidrolik veya mekanik cihazlar yardımıyla hareket eder [20, 29].

Kaynak dikişinin boyut ve şekli, elektrot uçlarının boyut ve şekliyle sınırlıdır. İç yüzeylerde kaynak çekirdeği oluşmaktadır. Fakat iç yüzeylerde oluşan kaynak çekirdeği tamamen dış yüzeylere doğru genişlemez. Düzgün bir nokta kaynağındaki çekirdeğin kesiti oval şekilde, üstten görünüşü ise elektrot ucu şeklindedir ki genellikle yuvarlak olmakla birlikte yaklaşık olarak aynı boyuttadır. Elektrot gücüne dayanabilecek yeterli esas metal olmasını ve kaynak sırasında yerel distorsiyonun kaynaktan metal fişkırmasına neden olmamasını sağlamak için, noktalar parçanın kenarından yeterli uzaklıkta olmalıdır [22, 28, 30].

#### **4.5. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAK KABİLİYETİ**

Kaynak kabiliyeti kesin ve belirgin olarak açıklanabilen bir tabir değilse de metalik malzemelerin birleşebilme kabiliyetini göstermektedir. Metaller yüksek derecede kaynak kabiliyetine sahiptir denildiğinde; kaynak sırasında hiçbir tedbire başvurulmadan kaynak şartları geniş bir aralık içerisinde tatmin edici bir kaynak kalitesinin elde edilebileceğini ifade eden bir terimdir. Düşük dereceli kaynak kabiliyeti ifadesi de; kaynak esnasında iyi bir netice almak için özel tedbirlere gereksinim olduğu ve kaynak şartlarının çok dar limitler arasında tutulması gerektiği manasına gelmektedir [20, 22, 29].

Metallerin direnç nokta kaynak kabiliyeti üç faktör ile kontrol altına alınmıştır.

- Metalin ısı iletkenlik katsayısı
- Metalin ısı direnci
- Metalin ergime sıcaklığı [27, 29]

Metalik malzemelerin direnç nokta kaynak kabiliyetlerinin artması demek kaynak hatalarının azalıp, kaynak kalitesi ve mukavemetinin yükselmesi demektir. Bir metal

ne kadar safsa, saflığı nisbetinde kaynak kabiliyeti de o kadar yüksektir. Fakat saf metaller endüstride nadir kullanılmaktadırlar. Bir metalin kaynak kabiliyetinin yüksek olmasının getirdiği avantajlardan birisi de kaynak makine ve teçhizatının sadeleşmesidir ki bu durum kaynağın ekonomik olmasını da sağlamaktadır. Metallerde alaşım eleman sayısı ve % miktarı arttıkça nokta kaynak kabiliyeti azalır. Isıl direnci düşük olan fakat ısı iletme katsayısı fazla olan düşük sıcaklıkta eriyen metaller güç kaynak yapılmaktadır. Bunlarda demir dışı hafif metallerdir. [24, 28].

Kaynak kabiliyeti aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır;

$$S = \frac{\alpha_t}{Tm_{em} \cdot Kt} \times 100 \quad (4.1)$$

S : Kaynak kabiliyeti

$K_t$  : Isı iletme katsayısı

$\alpha_t$  : Isı iletkenliği (cal/cm sec)

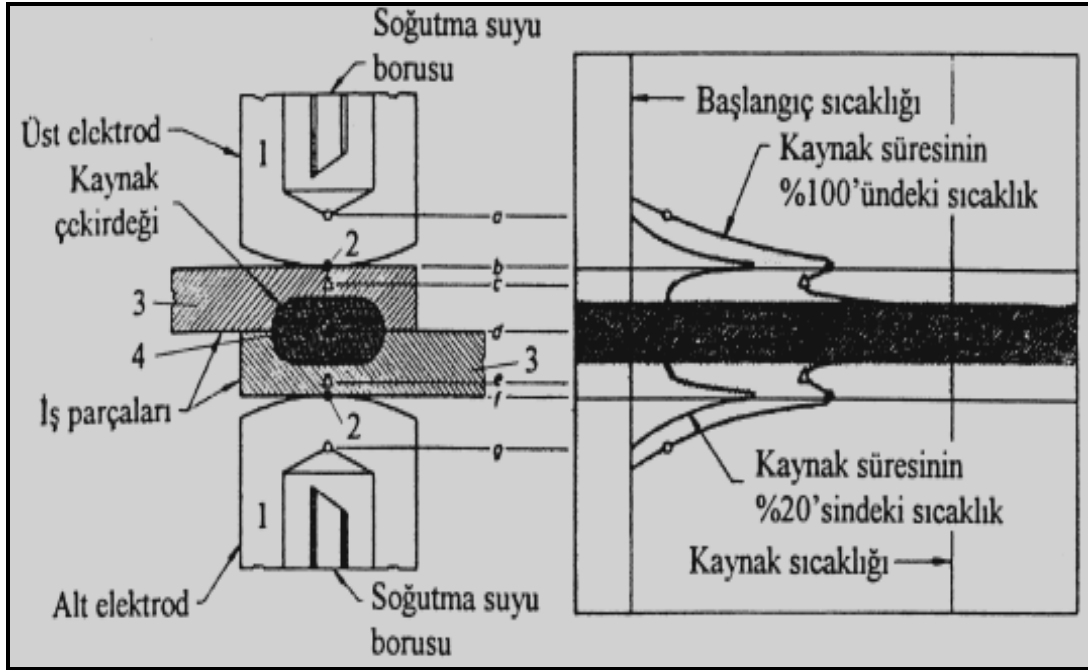
$T_m$  : Metalin erime sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

Nokta direnç kaynağı, birleştirilen malzemeler noktasında incelediğimizde diğer kaynak yöntemlerine nazaran daha fazla serbestliğe sahiptir. Nokta direnç kaynağı yöntemiyle birçok metal ve metal çiftlerini birleştirmek mümkün bu kapsamda hafif alaşım metaller de değişik biçim ve boyutlarda kusursuz olarak birleştirilebilmektedir. Kaplamalı malzemeler de yine nokta direnç kaynağı ile birleştirilebilmektedir [7, 8, 15].

#### **4.6. KAYNAKTA SICAKLIK DAĞILIMI VE ÇEKİRDEĞİNİN OLUŞUMU**

Nokta Direnç kaynağı makinelerinin sekonder devreleri, kaynak edilecek parçalar dahil bir seri dirençten meydana gelmiştir. Bu dirençlerin toplamı elektrik akım şiddetini tayin eder. Elektrik akımı (A) devrenin her noktasında, o noktanın direncinden bağımsız olarak aynıdır. Bununla beraber herhangi bir noktada meydana gelen ısı, doğrudan o noktadaki direnç ile orantılıdır. Sekonder devreyi meydana getiren elektriksel sistem, istenilen noktada ısı meydana getirecek ve sistemin geri

kalan elemanlarının nispi olarak soğuk kalmasını sağlayacak şekilde etüt edilmiştir [20, 22]. Şekil 4.3’de elektrotlar arasındaki iş parçasında bulunan çeşitli bölgelerinin direnç noktaları gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Direnç nokta kaynağında bölgeler, dirençler ve sıcaklık dağılımı [8, 28].

Bu dirençler;

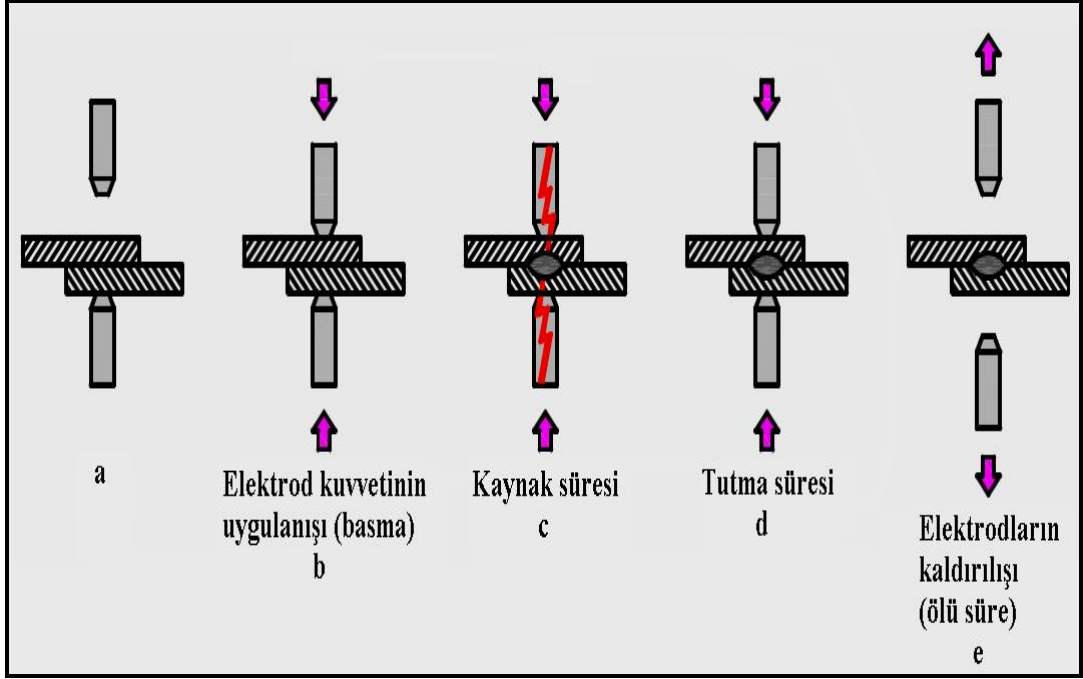
- Elektrot direnci
- Elektrot-levha arası temas direnci
- Levha direnci
- Levhalar arası temas direncidir
- Üst elektrot direnci
- Üst elektrot ile üst levha arasındaki temas direnci
- Üst levhanın direnci
- Üst levha ile alt levha arasındaki temas direnci
- Alt levhanın direnci
- Alt levha ile alt elektrot arasındaki temas direnci
- Alt elektrot direnci



Uygulanan akımla birlikte ısı bir noktada oluşmaz. Şekil 4.3’de görüldüğü gibi 7 bölgenin dirençleri doğrultusunda ısı üretilir. İstenilen ısı bölgesi 4 nolu bölgedir. Bunun dışındaki noktalarda oluşan ısıların engellenmesi istenir. Başlangıç sıcaklığı düşey çizgiyle belirtilmiştir. En büyük direnç 4 düzleminde dir. Bu nedenle en yüksek ısı bu bölgede oluşur ve 2 ve 6 noktalarında ikinci derece etkili olan dirençler mevcuttur. Buna paralel olarak 2 ve 6 bölgelerinde ısı hızla artar. Kaynak süresindeki % 20’ye karşılık gelen çizgi, kaynak akımının uygulandığı ilk anlarda oluşmaktadır. Kaynak süresinin % 100’ündeki sıcaklık çizgisi maksimum noktadaki ısıyı görmektedir. Bu nedenle 2 ve 6 düzlemlerindeki ısı bu düzlemlere temas eden 1 ve 7 düzlemindeki su soğutmalı elektrotlara doğru hızla iletir. Diğer bölgelerdeki ısılardan 4 düzleminde oluşan ısı her zaman yüksektir. Parçaların birleşmesi 4 bölgesinde oluşacak ve sonuçta ergimeyle birlikte kaynak çekirdeği oluşturacaktır [28, 30].

#### **4.7. KAYNAK PERİYOTLARI**

Bütün direnç kaynağı metotları, uygun bir akım şiddeti-kaynak zamanı düzenlemesini gerektirir. Kaynak bölgesinin ısınma ve soğuma hızları, zaman ekonomisi bakımından mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Genel olarak nokta kaynağı, dört periyottan meydana gelir: basma, kaynak, tutma ve ölü süreleridir [15, 20]. Bu sürelerle bağlı olarak direnç nokta kaynağı aşamaları Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Direnç nokta kaynağı aşamaları [15].

**Basma süresi:** Elektrot kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süredir. Bu zaman aralığı, parçaların tam temasını sağlamaya yetecek kadar uzun olmalıdır [20].

**Kaynak süresi:** Kaynak akımının devreden ve malzemelerden geçtiği zaman aralığıdır [28].

**Tutma süresi:** Kaynak akımının kesilmesinden sonra, nokta kaynağının metali katılaşana kadar elektrot kuvvetinin etkisinin devam ettiği zaman aralığıdır [29].

**Ölü süre:** Tutma zamanının sonundan bir sonraki çevrimdeki basma zamanının başlangıcına kadar geçen, elektrotların iş parçasıyla temasta olmadığı zaman aralığıdır. Otomatik çevrimde, ölü zaman, elektrotların geri çekildiği ve iş parçasının kaldırıldığı veya pozisyonunun değiştirildiği süredir. Elle yapıldığında, kontrol cihazı tarafından maksimum periyot olarak sabitlenmemiş olup operatör yeni çevrime başlayana kadar geçen süreye bağlıdır [20, 28, 29].

## 4.8. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Kaynak kalitesini etkileyen başlıca kaynak değişkenleri şu şekilde sıralanır;

- Elektrot bileşimi ve şeklinin ısınma üzerine etkisi
- Kaynak akımının etkisi
- Kaynak zamanının etkisi
- Kaynak kuvvetinin etkisi
- İş parçasının malzemesi
- Kaynak edilecek parçaların yüzeylerinin etkisi
- Kaynaklı noktalar arasındaki mesafenin ısınma üzerine etkisi.

### 4.8.1. Elektrot Bileşimi ve Şeklinin Isınma Üzerine Etkisi

Elektrodun ısınmasını minimumda tutabilmek için, elektrotlar yüksek elektrik iletkenliği ve düşük temas direncine sahip olmalıdır. Aynı zamanda, şekil 4.3’de gördüğümüz b ve f bölgeleri gibi, elektrot ucu ile metalin temas ettiği alanlardaki ısının uzaklaştırılabilmesi için, yüksek ısı iletkenliğine sahip olmalıdırlar. Elektrotlar ayrıca, tekrarlanan yüksek kaynak kuvvetlerinin sebep olduğu deformasyonlara direnebilecek kadar kuvvetli olmalıdır [28].

Oğur ve Anık (2000), nokta direnç kaynağında kullanılan elektrotların çalışma ömrünü deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylede seçilen elektrot başlığı ile 10000 kaynak yapılmıştır. Nokta kaynak sayısına bağlı olarak elektrottaki boyutsal değişikliklerin kaynak çekirdek çapı ve dolayısıyla dikiş kalitesine etkileri değerlendirmişlerdir. Esas metal olarak Al’u kullanmışlardır. Çekme makaslama değerleri nokta sayısı 10000’e yaklaştıkça ilk değerinden daha düşük sonuç vermiştir. İlerleyen nokta sayısında elektrotlarda oluşan mantarlaşma ve deformasyonla birlikte düğme çapının da büyüdüğü belirlenmiştir [14].

Elektrot bileşimi ve şeklinin ısınma üzerine etkisini üç başlık altında inceliyoruz.

- Elektrot bileşiminin etkisi
- Elektrot şeklinin etkisi
- Elektrotların malzemesi ve boyutları [28]

#### **4.8.1.1. Elektrot Bileşiminin Etkisi**

Genellikle alaşımın sertliği arttıkça ısı ve elektrik iletkenliği azalmaktadır. Dolayısıyla en uygun alaşımın seçiminde, elektriksel, ısıl ve mekanik özelliklerin uygun bir birleşim bulunmalıdır [28, 30].

#### **4.8.1.2. Elektrot Şeklinin Etkisi**

Aynı bileşimde ve kalınlıktaki parçalar kaynak edildiğinde, elektrotların uç çapları aynı olmalıdır. Bununla beraber, eğer kaynak edilecek parçaların kalınlıkları farklı ise, kalın parçalarla temas eden elektrotun çapının, uygun ısı dengesinin sağlanabilmesi için daha büyük olması gerekebilir [29].

Farklı metallerin kaynağında, eğer metallere birisinin elektriksel direnci diğerinden büyükse aynı durum geçerlidir. Bu farklılık, yüksek dirençli parça ile temasta olan elektrotun ucunun çapı büyütülerek veya düşük dirençli parça ile temasta olan elektrot için yüksek dirençli malzeme kullanarak telafi edilebilir [29].

Kaynak çekirdeğinin çapı, elektrotun temas yüzeyinden hafifçe küçüktür. Elektrotun ucu aşındıkça veya mantarlaşıma nedeniyle büyüdükçe, kaynak çekirdeğinin çapı artar. Uç çapının büyümesi, akım yoğunluğunu azaltacağı ve açığa çıkan ısı iyi bir kaynak meydana getirmeye yeterli olmayacağı için, kaynak kalitesini etkileyecektir [28, 29].

#### **4.8.1.3. Elektrotların Malzemesi ve Boyutları**

Ticari saf Cu en iyi iletkenidir. Saf Cu elektrotlar, üstün mekanik özellikleriyle beraber, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilene kadar, direnç kaynağı elektrotu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti, elektrot kuvveti ve

kaynak hızına sahip yöntemlerin gelişmesi, saf Cu'nun elektrot malzemesi olarak kullanımını engellemiştir [28, 29].

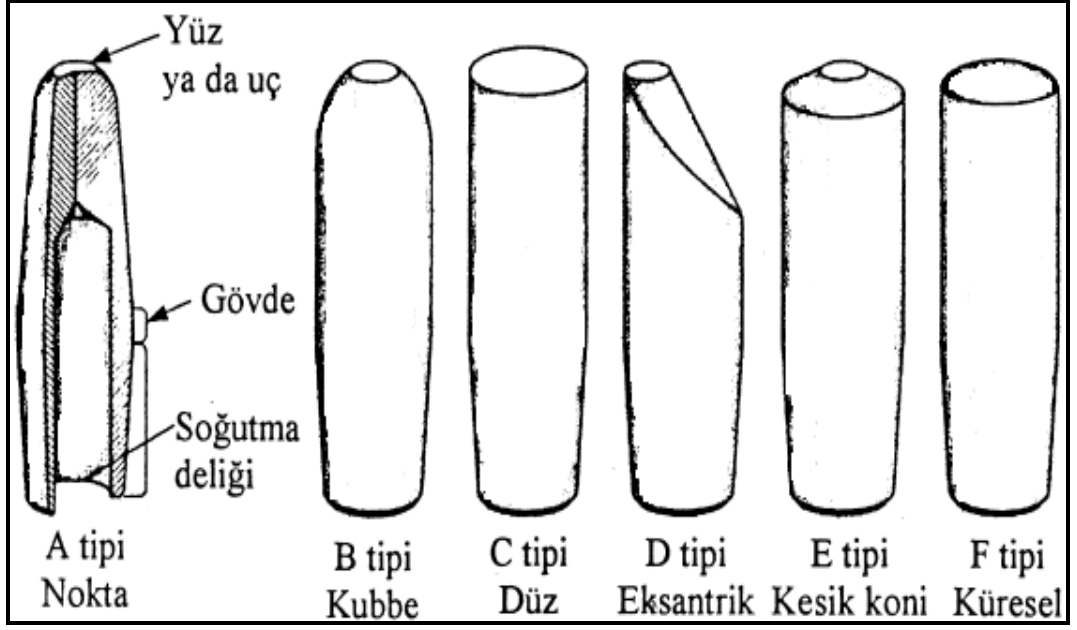
Soğuk çekilmiş Cu, statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemete ve düşük yumuşama sıcaklığına sahiptir. Ticari saf Cu'nun istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip bir seri Cu alaşımı geliştirilmiştir. Direnç kaynağında kullanılan başlıca elektrot alaşımları ve özellikleri aşağıdaki Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları [28].

Alaşım	Brinel Sertliği	İletkenlik (%Cu)	Yumuşama Sıc. (°C)	Kullanıldığı Yer
Cu (soğuk çek.)	95	90	150	Al
Tellür-Cu	100	90	175	Al
Kadmiyum-Cu	110	85	250	İnce yum. çelik sac
Krom-Cu	150	80	500	Tüm çelikler
Tungsten-Cu	200–300	30	1000	Çelik ve Cu alaşımları

Genellikle, alaşımın sertliğinin artması, elektriksel ve ısı direnci artırır. Bu yüzden, herhangi bir uygulama için belli bir elektrot alaşımının seçimi, onun mekanik özelliklerine göre değişen ısı ve elektriksel özelliklerinin de göz önüne alınmasıyla gerçekleşir. Örneğin, Al, Mg ve alaşımlarının kaynağında kullanılan elektrotlar, yüksek basma mukavemeti yerine yüksek iletkenliğe sahip olmalıdır [14,28].

Elektrotların şekil ve boyutları, kaynak yapılacak iş parçalarının cinsine, şekil ve boyutlarına göre saptanır. Standart elektrotlar içinde en çok kullanılanlar, kesik koni uçlu ve küresel olanlardır. Şekil 4.5'de standart elektrotların uç şekilleri verilmiştir.



Şekil 4.5. RWMA (Resistance Welding Manufacturing Alliance)'ya göre standart elektrot uç şekilleri [28].

Küresel uçlu elektrotlar kullanıldığında, elektrot temas yüzeyinin iş parçası yüzeylerine paralel olarak, hassas bir biçimde ayarlanması gerekmemektedir. Bu nedenle, küresel uçlu elektrot, üst elektrotun dairesel hareket yaparak iş parçasına yaklaştığı kaynak makinelerinde rahatlıkla kullanılabilen bir elektrottur. Bu elektrot mükemmel bir sıkıştırma ve iş parçası yüzeylerinde kaynak sonrası daha iyi bir görünüm sağlar. Soğuma hızları daha yüksek olduğundan Al, Mg ve alaşımlarının kaynağında kullanılır [28, 29].

Elektrotlardaki soğutma delikleri, ya yuvarlak yada dişlidir. Dişli delikler yuvarlak olanlardan daha fazla soğutma yüzeyi sunar. Soğutma delikleri, elektrot dayanımını tehlikeye sokmayacak şekilde, mümkün olduğunca elektrot yüzüne kadar uzamalıdır. Elektrot ucunun veya temas yüzeyinin çapı kaynak düğmesinin boyutunu kontrol eder. Ucu çapı çok küçükse, elde edilen kaynak sağlam görünebilmekle birlikte zayıf olabilir. Küçük çaplı uçlar ayrıca şiddetli yüksek ısı yoğunlaşması ve yüzey işaretlenmesine veya düzgün olmayan elektrot izine sebep olabilir [28, 31].

Büyük çaplı uca sahip elektrotlar özellikle yüksek kaynak akımında yetersiz elektrot basıncı yüzünden aşırı ısınabilir ve boşluklara veya zayıf yüzey görünümüne sebep olur [31].

#### 4.8.2. Kaynak Akımının Etkisi

Kaynak için ısı gerekir. Isının oluşmasında dirençten sonra etkili olan etmen ise akımdır. Akım, aşağıdaki ısı formülünde gösterildiği üzere karesi kadar bir çarpan oluşturmaktadır. Bu nedenle istenen ölçütlere uygun bir kaynak elde etmek için akım değerini iyi seçmek gerekir [30].

Kaynak akımı, transformatör sekonder sargısı, sargıyı kollara bağlayan esnek bantlar, kollar, elektrotlar ve iş parçasından oluşan sekonder devreden geçer. Isı, devrenin her kısmında aşağıdaki formüle göre oluşmaktadır [8].

$$Q = k \cdot I^2 \cdot R \cdot t \quad (4.2)$$

Burada;

Q : Üretilen ısı miktarı (joule),

k : Basınç miktarı sabiti (bar),

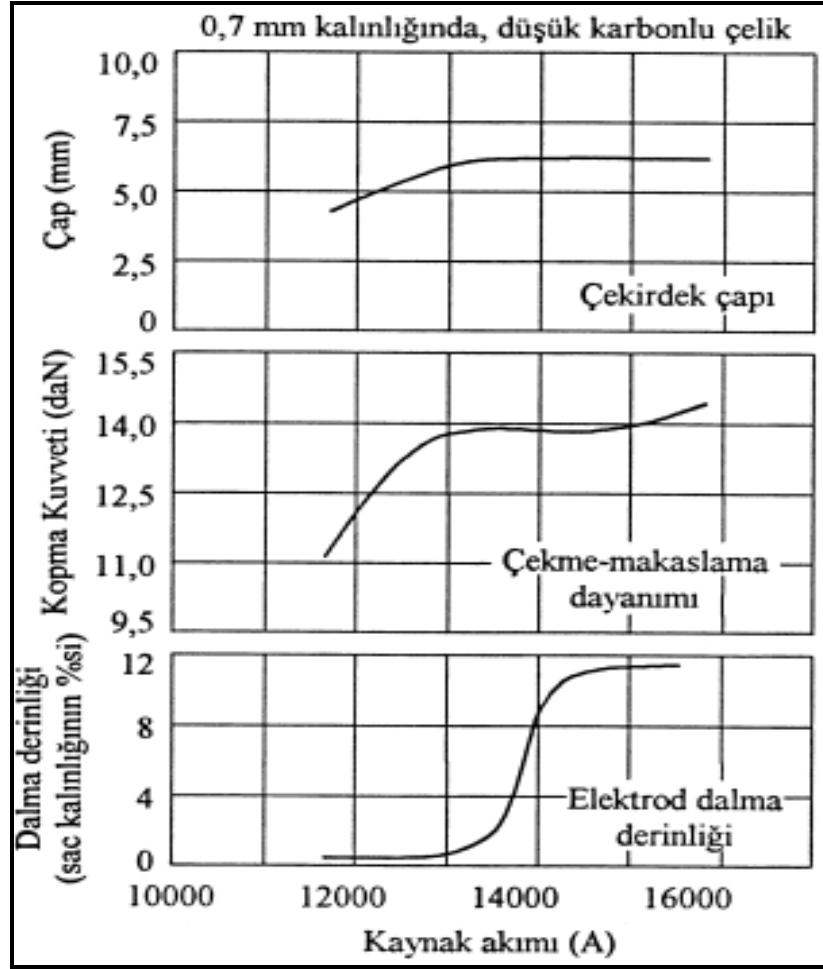
I : Kaynak akım şiddeti (Amper),

R : Devredeki elektrik dirençlerinin toplamı (Ohm),

t : Kaynak akımının devrede kalma süresidir (saniye)

Isının bir bölümü elektrotlardan ve iş parçalarından iletim, taşınım ve ışıyım yoluyla kaybolur. Bu kayıpların büyüklüğü genelde bilinmemektedir [8, 30].

Kaynak akımı, bağlantının çekme-makaslama dayanımı ve elektrot dalma derinliğinin çekirdek çapı üzerindeki etkisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Akım 13500 A'in üzerine çıktığında 6 mm'lik çekirdek çapında önemli bir artış olmamıştır. Fakat elektrot dalma derinliğinde bir artış meydana gelmiştir. Optimum akıma ulaşılan kadar çekme-makaslama dayanımı hızlı bir şekilde artmakta, fakat akım 14000 A'in biraz üzerine çıktığında dayanım biraz düşmektedir. Dalma derinliği, 13500 A'lik kaynak akımında sac kalınlığının % 2'sinden, 14000 A'in biraz üstünde % 10 civarına kadar çıkmaktadır. [8, 31].



Şekil 4.6. Kaynak sırasında kaynak akımının çekirdek çapı, çekme-makaslama dayanımı ve elektrod dalma derinliği üzerindeki etkileri [25].

Kaynak akımının ısı üretiminde önemli bir değişken olması, dikkatlice kontrolünü gerektirmektedir. Akım değişimlerine şebeke gerilimindeki değişimler ve kaynak makinesinin sekonder devresinde yapılan çeşitli değişiklikler neden olabilir. Diğer yandan, kaynak sırasında, kaynak bölgesindeki akım yoğunluğunda da azalma meydana gelebilir. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından ve elektrotların etki alanı dışındaki metalik temas noktalarından kısa devre olması sonucunda ortaya çıkar. Kısa devre nedeniyle nokta çapı yeterli bir değere erişemez. Ayrıca, kullanım sırasında, uç çapı çeşitli sebeplerden dolayı büyümüş elektrotlar, akım yoğunluğunda azalmaya neden olur. [8, 31].



### 4.8.3. Kaynak Zamanının Etkisi

Isı (enerji) formülü eşitlik (4.2)'de toplam direnç sabit kalmak üzere, devrenin herhangi parçasında oluşan ısının hem kaynak süresi (akımın geçtiği süre) hem de kaynak akımının karesiyle doğru orantılı olduğunu göstermektedir. Isı geçişinin zamanın fonksiyonu olmasından dolayı, uygun çekirdek çapının gelişmesi için gereken süre, akım ne kadar yükseltirse yükseltisin, sınırlı ölçüde kısaltılabilir. Temas yüzeylerinde ısı oluşumu çok hızlı olduğunda, özellikle elektrot temas yüzeylerinde, oyuklar ve fişkırmaya meydana gelir. [8].

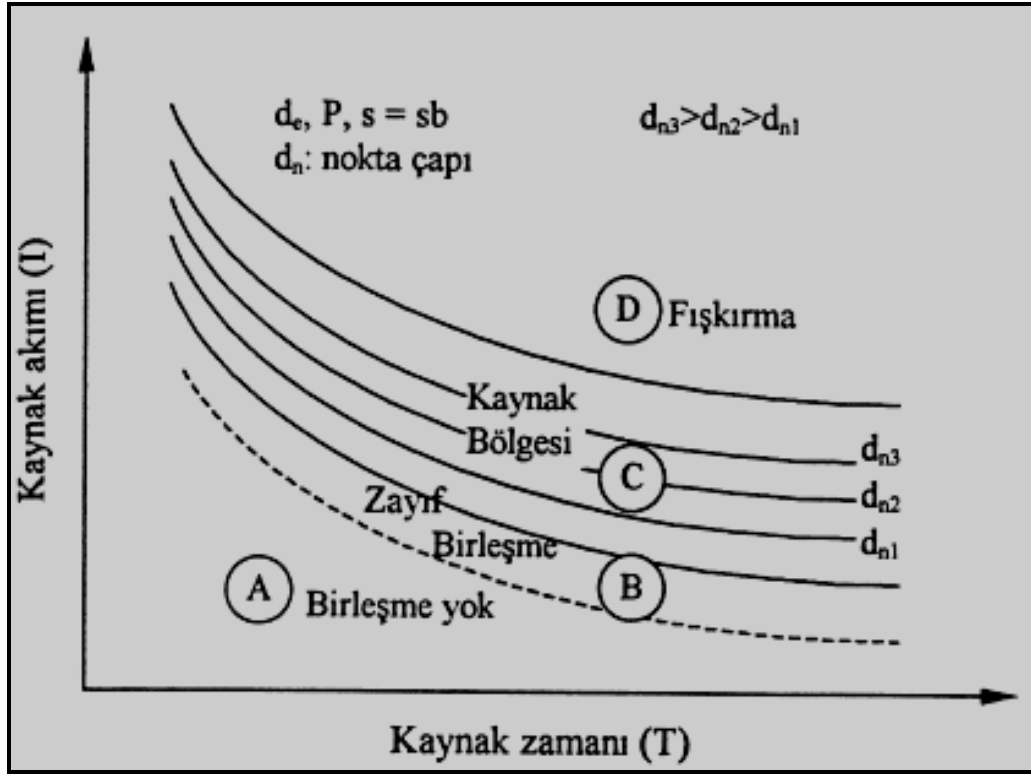
Kaynak akımı ve basınç artırılarak kaynak süresinde biraz azalma sağlanabilir. Akımdaki yükselmeden dolayı oluşan fişkırmayı önlemek için yüksek basınç gereklidir [8, 31].

Kısa kaynak süresi ve yüksek akım şiddeti veya uzun kaynak süresi ve düşük akım şiddeti kullanarak, aynı nokta çapını elde etmek mümkündür. Bunlardan birincisi kısa süreli kaynak, ikincisi uzun süreli kaynak adını alır [31].

Kısa süreli kaynakta işlemin hızlı olması sebebiyle sadece kaynak bölgesi erime sıcaklığına ulaşır ve levhaların dış yüzeyinde aşırı ısınma olmadan kaynak işlemi sona erer. Bu nedenle, elektrotların dokunma yüzeyleri bozulmaz. Uzun süreli kaynakta ise, levhaların diğer bölgelerinde sıcaklık önemli ölçüde artar. Bunun sonucunda, levhaların dış yüzeyleri yumuşar ve elektrotlar levha içine gömülerek derin izler bırakır [8, 31].

Getirdiği büyük faydalar yüzünden, kısa süreli kaynak tekniği çok gelişmiş olup büyük ölçüde kullanılmaktadır. Önceleri, çok ince levhalar için bile birkaç saniye olan kaynak süresi, kontrol organları ve akım devrelerindeki büyük gelişmelerden sonra birkaç periyoda kadar düşürülmüştür. Kaynak zamanı azaldıkça ısı kayıpları da azaldığından işlemin ısı verimi artmaktadır [8].

Belirli bir levha malzemesi ve kalınlığı, elektrot uç çapı ve verilmiş bir elektrot kuvveti için bir kaynak kabiliyeti diyagramı (akım-zaman diyagramı) elde etmek mümkündür (Şekil 4.7) [30, 31].



Şekil 4.7. Kaynak kabiliyeti diyagramı [15].

Bu diyagram dört bölgeye ayrılmaktadır. A bölgesinde herhangi bir erime ve birleşme yoktur. B bölgesinde basınç kaynağı ile oluşan ve erime olmadan zayıf bir birleşme meydana gelir. C bölgesi erime veya kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren erime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içine girdikçe artar. Sonuçta nokta çapı  $d_n$ , elektrot çapı  $d_e$ 'ye yaklaşık olarak eşit olur. C bölgesi malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akım ve zamanının hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada, akım ve zaman değerleri C bölgesinin üst sınırına yakın kalacak şekilde seçilir. D bölgesi fıskırma bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren fıskırma başlar [28, 30, 31].

#### 4.8.4. Kaynak Kuvvetinin Etkisi

Kaynak yapılması için, akımın iletilmesi gerekir ve malzemenin bir arada tutulması şarttır. Kaynak bölgesinde kalan malzemeyi tutmak elektrot baskısıyla olur. Kaynak kuvveti veya elektrot kuvveti, kaynak çevrimi boyunca elektrotlar tarafından iş parçalarına uygulanan kuvvettir. Nokta kaynağı yapılacak iş parçaları kaynak noktasında akımın geçişini sağlayacak şekilde sıkıca tutulmalıdır. Elektrot kuvvetinin artırılması malzemenin temas direncini azaltacaktır. Bunun neticesi olarak, kaynak akımı malzemenin kaynak bölgesinde bulunan yüzeyler arasında açığa çıkan toplam ısıyı düşüreceği için, elektrot kuvveti çok yüksek olmamalıdır. Bununla beraber çok yüksek elektrot kuvveti, levhalarda istenmeyen distorsiyonlara neden olur. Elektrot kuvveti, cihazın kapasitesi dâhilindeki bir kaynak akımı ile uyumlu olmalı ve tekrar oluşmasına yetecek kadar uzun kaynak zamanının kullanımına müsaade etmelidir. Ayrıca, iş parçaları kaynak alanında aşırı elektrot kuvvetine maruz kalmadan oldukça yakın temasta olmalıdır. İş parçaları, kaynak bölgesindeki temas çok yakın olmayacak şekilde deforme olmuşsa, deformasyonu yenebilmek için çok yüksek kuvvet gerekebilir [28-30].

Sharma ve arkadaşları 1993 yılında yapmış oldukları çalışmada; kaynak sürelerini ve akımı sabit tutarak elektrot basıncını 440, 500 ve 700 kg değerlerinde arttırmışlardır. Düşük basınç değerinde en düşük çekme mukavemeti gözlenmiştir. Bunu zayıf birleşme bölgesine bağlamıştır. Elektrot basıncı arttıkça mukavemet yükselmiş olup maksimum değerine 500 kg elektrot kuvvetinde ulaşılmıştır [32].

Bazen, kaynak edilecek malzemeleri bir arada tutabilmek için normalde kullanılan sıkma süresinden daha uzun bir süre gerekmektedir. Ayrıca, geri yaylanma olasılığından dolayı, tutma süresi kaynak metalinin katılaşmasına imkân tanıyacak kadar uzun olmalıdır. Elektrot kuvvetindeki farklılıkların direnç ve ısınmada da farklılıklara sebep olmasından dolayı, bu elektrot kuvveti kaynak kabiliyeti diyagramındaki eğrilerin boyut, lokasyon ve akım seviyesinde meydana gelen değişiklikleri netice verebilmektedir. Artan elektrot kuvvetleri, eğrileri daha yüksek akım seviyelerine kaydırmaktadır [15, 28].

Elektrot kuvveti, kaynak işleminin üç safhasında da önemli bir rol oynamaktadır. Basma safhasında, elektrot kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrot-levha temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, levhaların, elektrotlar altında belli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirlemektedir. Elektrot kuvveti, kaynak safhasında, levhalar arasından fişkırmaya çalışan sıvı metali katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak, bu fişkırmayı engellemektedir. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu dövme kuvveti yoluyla önlemektedir [8, 20, 28].

#### **4.8.5. Esas Metalin Kimyasal Bileşimi**

Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını, gizli ergime ısılarını, ısı ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Gümüş ve Cu gibi yüksek iletkenliğe sahip metallerde yüksek akım yoğunluğunda dahi çok az ısı meydana gelir. Bu metallerin ısı iletkenliği de yüksek olduğundan, az miktarda ısı, hızla iş parçasına ve elektrotlara doğru iletilir. Metallerin bileşimi; özgül ısı, erime noktası, gizli erime ısı ve yoğunluk gibi özellikleri etkiler [28].

#### **4.8.6. Kaynak Edilecek Parçaların Yüzeylerinin Etkisi**

Yüksek kaliteye sahip bir nokta kaynağı elde etmek için, elektrotlarla o elektrotlara temas eden malzemenin yüzeyindeki direnç minimumda tutulmalıdır. Bunu elde etmek için düzgün ve temiz bir malzeme yüzeyine sahip olmalı, ayrıca elektrot kuvvetinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Elektrotlarla temas ettiği malzemenin yüzeyleri çok yüksek bir temas direncine sahipse, bu yüzeylerde meydana gelen sıcaklık artışı kaynak edilen bölgenin yüzeylerinde meydana gelen sıcaklık artışı kadar hızlıdır. Ayrıca, temas direncinde meydana gelen değişimler ve bu değişimlere bağlı olarak kaynak akımının oluşması için geçen sürede meydana gelen değişimler tutarsız sonuçları netice vermektedir [20, 28].

Metal levhaların yüzeyleri mikro ölçekte düzgün değildir ve düşük elektrot basınçları kullanıldığında, malzeme ile elektrotların malzemeye temas ettiği bölge bütün temas bölgesinin sadece küçük bir yüzdesi olabilir. Elektrot kuvvetinin artırılmasıyla, elektrotların malzemeye temas ettiği bölgede artar ve bunun neticesi olarak elektrik direnci düşer. Artan elektrot kuvveti malzemenin ara yüzeyindeki direnci düşürür. Elektrotun malzemesi eğer iş metalinden daha yumuşak olursa bu durumda, belli bir elektrot kuvvetinin uygulanmasıyla elektrotlarla malzeme arasındaki temas yüzeyinde, malzemelerin ara yüzeyinde meydana gelen temasa nispetle daha iyi bir temas sağlanmış olur [14, 15].

Elektrot kuvveti, ısı formülünde direkt olarak yer almamasına rağmen elektrik direnci üzerindeki etkisi kaynak akımı üzerinde direkt olarak etkilidir. Yüzey direnci elektrot kuvvetiyle ters orantılıdır [20].

Yüksek kaliteye sahip bir nokta kaynağı elde etmek için kaynak edilecek malzemelerin yüzeylerinde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır.

**Yüzey Hazırlama:** Kaynak yapılacak malzemeyi veya en azından kaynak edilecek yüzeylerin, kaynakların inklüzyonsuz olmasını sağlayacak şekilde temizlenmelidir. Kaynakların iyi bir yüzey görünümüne sahip olmalarını sağlamak için elektrotla temas edebilecek kir, cüruf, pas ve oksit filmi temizlenmeli en azından azaltılmaya çalışılmalıdır. İş parçası yüzeylerinden yabancı maddelerin temizlenmesi elektrot alışımlaşmasını en asgari dereceye indirir ve bunun neticesi olarak elektrot ömrü arttırılmış olur. İş parçalarının yüzeylerinden kir veya yağ tabakası buharlı yağ gidericiler ve kimyasal banyolar ile temizlenebilir; yine de, nokta kaynağı yapılacak yüzeylerin dikkatlice elle temizlenmesi de yeterli olabilir. Oksit tabakaları mekanik yöntemlerle temizlenebilmektedir. Mekanik yöntemlerle oksit tabakaları temizlenirken, tabakayı kesecek kadar şiddetli fakat bozuk veya çizilmiş bir yüzey oluşumuna neden olmayacak kadar da hassas olunmalıdır [33-35].

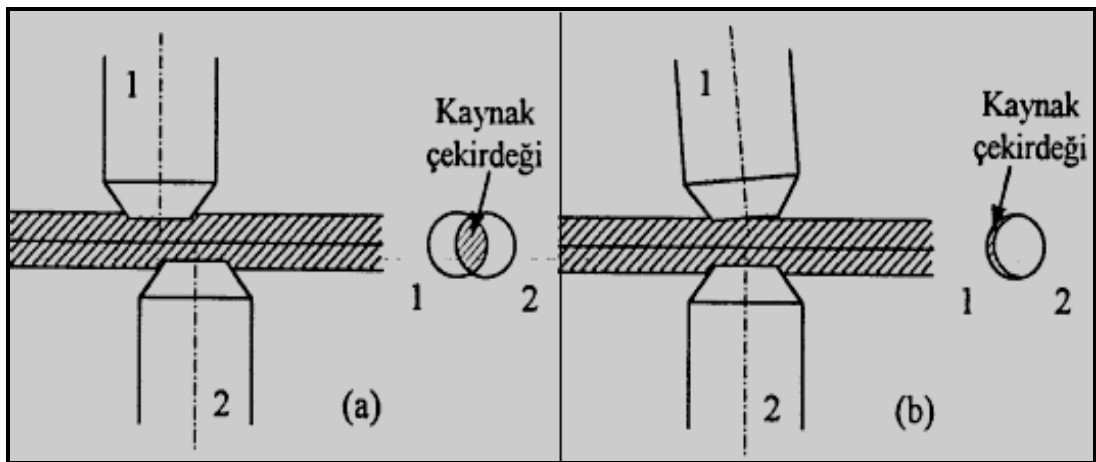
**Yağ Kaplamalarının Etkisi:** Yüzeyde mevcut bulunan ince yağ kaplamalarının, nokta kaynaklarının kalitesinde az miktarda da olsa bir etkisi vardır. Bu nedenle yüzeyde

bulunan fazla miktardaki yağ silinmeli veya yağ giderici (aseton vb) ile temizlenmelidir [20, 35].

Pas, Hadde Cürufu veya Oksidin Etkisi: Yüzeyinde fazla miktarda cüruf veya oksit kaplamaları bulunan malzemeler kaynak edildiğinde, kaynak bölgesi yüzeyinde bulunanların çoğu veya hepsi akım, yüzey dirençleri veya elektrot basıncı ne olursa olsun, kaynakların içinde kalır. Kaynak metalindeki bu inklüzyonlar, bazen belirlenmesi zor olan boşluklar veya diğer iç kusurlara neden olabilir [28].

#### 4.8.7. Elektrot ve İş Parçasının Temas Durumları

Kaynak kalitesi ve kabiliyetini etkileyen bir diğer faktör elektrotların ve iş metallerinin birbiriyle temas etme durumudur. Elektrotlar, iş metalinde kaynağın yapılacağı bölgeye dik, dolayısıyla birbirine paralel olmalıdır. Ancak iyi bir kaynak için bu koşul yeterli değildir. Birbirine paralel olan alt ve üst elektrotun aynı ekseninde olması gerekmektedir. Birbirine paralel ancak aynı eksenden geçmeyen alt ve üst elektrotlarla yapılan kasnaklarda tek bir dairesel bölge yerine iki dairenin kesişim bölgesi şeklinde gölgeli bir alan gözlenmektedir. Bunun sebebi, kaynağın, basıncın etkin olduğu bölgede gerçekleşmesidir [8, 20]. Şekil 4.8 (a)'da görülen kaynak bölgesi, gerekli alanın yaklaşık olarak üçte biri olup gerekli basıncın üç katma çıkmasına sebep olmaktadır. Şekil 4.8 (b)'de ise birbirine paralel olmayan iki ucun meydana getirdiği kaynak görülmektedir.



Şekil 4.8. Elektrotların temas durumuna göre oluşan kaynak çekirdekleri (a, b) [28].

Yukarda belirtilen durumların yanı sıra bindirme ve kenar mesafelerinin de kaynak kalitesinde önemi vardır. İyi bir kaynak elde edebilmek için nokta kaynağının kenara uzaklığı en az çekirdek çapının yarısı kadar olmalıdır.

#### **4.9. ISI KAYBI**

Kaynak işleminde ısı kaybı, akımın uygulandığı andan, kaynağın oda sıcaklığına soğumasına kadar geçen zaman aralığında değişen hızlarla devam eder. Isı kaybı iki aşamada incelenmelidir:

- Akımın uygulama zamanı sırasındaki ısı kaybı
- Akımın kesilmesinden sonraki ısı kaybı

Birinci safhadaki ısı kaybının derecesi aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Metalin bileşimi
- Parçaların kütlesi
- Kaynak süresi
- Dış soğutma aracı

Bunlardan iş parçasının bileşimi ve kütlesi kontrol edilemez. Verilen bir akım şiddeti için, üretilen ısı, elektrik iletkenliği ile ters orantılıdır. Isıl iletkenlik, bu ısının kaynak bölgesinden kayıp veya iletilme hızını tayin eder. Bu iki faktör metallerde aynı yönde paralel olarak gider. Örneğin, Cu gibi yüksek iletken bir metalde üretilen düşük miktardaki ısı yüksek bir hızla çevre metale ve elektrotlara doğru kaybolur. Eğer elektrotlar, akım kesildikten sonra iş parçaları ile temasta kalırsa, elektrot malzemesinin yüksek ısı iletimi sebebiyle, kaynak bölgesi hızla soğur [29, 30].

Elektrotları etkili bir biçimde su ile soğutulması ısı kaybını hızlandırır. Kaynak bölgesinden iş parçalarına doğru soğuma hızı, uzun kaynak zamanı kullanılarak azaltılabilir. Bu usul, çevre metale daha fazla ısı iletimine izin verir ve çevre metalin sıcaklığını artırarak kaynak bölgesi ile çevre metal arasındaki sıcaklık farkını azaltır. Sıcaklık farkı soğuma hızlarını kontrol etmede çok önemlidir. Genellikle uzun

kaynak zamanının kullanıldığı kalın levhalarda soğuma hızı düşük, kısa kaynak zamanının kullanıldığı ince levhalarda soğuma hızı büyüktür [30, 31].

Elektrotlar kaynak yerinden hemen kaldırılacak olursa, ısı, kaynak bölgesini saran metale ve atmosfere geçecektir. Bu durumda soğuma hızı bir miktar azalır, ince parçalar göz önüne alındığında, distorsiyon sebebiyle bu yöntem sakıncalı olabilir. Kalın parçalarda, mukavemet nedeniyle, daha büyük olan kaynak bölgesinin, erimiş halden itibaren soğumasına imkân vermek için ilave zaman gereklidir. Bu sebeple, ısının büyük bir kısmının çevre metale iletilmesine müsaade etmeksizin, elektrotları, kaynağın soğumasına imkân verecek kadar yeterli bir zaman yerinde tutmak uygundur [8, 20].

Kaynağı her zaman soğutmak uygun değildir. Su almaya karşı hassas malzemeler ele alındığında, elektrotları kaynak akımının kesilmesini takiben mümkün olduğu kadar çabuk kaldırmak gerekir. Böylece ısının çevre metale yayılması mümkün olur ve dik soğuma gradyanı oluşmaz [28].

#### **4.10. Mg ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ VE HUSUSİYETLERİ**

Aşağıdaki tabloda sıralanmış bütün Mg alaşımları kaynak edilebilir, ancak bunların bu kabiliyeti her alaşım için aynı derecede değildir. Tabloda bu dereceler A (mükemmel), B (iyi), C (fena değil) ve D (sınırlı) olarak kademelendirilmiştir.

Bu kademelendirme geniş ölçüde çatlama eğiliminden yoksunluk ve biraz da birleştirme verimine dayanmaktadır. En elverişli kaynak koşulları, uygun birleştirme tasarımı dâhil, altında az çok bütün Mg alaşımları için % 60 ila % 100 birleştirme verimleri elde etmek mümkündür [7, 8].



Çizelge 4.2 Mg alaşımlarının göreceli kaynak kabiliyetleri [6].

Alaşım	Derece	Alaşım	Derece
<b>Döküm alaşım</b>		ZH62A	C
AM100A	B+	ZK51A	D
AZ63A	C	ZK61A	D
AZ81A	B+		
AZ91C	B+	<b>Şekillendirilmiş alaşım</b>	<b>Derece</b>
AZ92A	B	AZ10A	A
EK30A	B	AZ31B,C	A
EK41A	B	AZ61A	B
EZ33A	A	AZ80A	B
HK31A	B+	HM31A	A
HZ32A	C	HM21A	A
K1A	A	HM31A	A
QE22A	B	ZE10A	A
ZE41A	C	ZK21A	B

Mg-Al-Zn alaşımlarında (AZ31B, AZ61B, AZ63A, AZ80A, AZ81A, AZ91C ve AZ92A) %10'a kadar Al, tane içyapısını inceltirerek kaynak kabiliyetini desteklerken %1'den fazla Zn içeriği, sıcakta gevrekleşme, dolayısıyla kaynakta çatlama eğilimini artırır. Böylece de yüksek Zn içerikli ZH62A ve ZK51A alaşımları çatlama eğilimine çok yatkın olup kaynak kabiliyeti zayıftır. Th içeren HK31A, HM21A ve HM31A, mükemmel kaynak kabiliyetini sahip olup (B+) veya (A) olarak kademelendirilmişlerdir [7, 20].

#### 4.11. KAYNAK EDİLECEK Mg ALAŞIMLARININ YÜZEYLERİNİ HAZIRLARKEN DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Bilindiği gibi Mg'da, Al gibi kaynağı güçleştiren bir refrakter (yüksek sıcaklığa dayanan) oksit oluşturur. Bu oksit yüksek sıcaklıkta yeniden kristalleşip yumaklaşır; bu da kaynak sırasında tabakanın parçalanmasını kolaylaştırır [35, 36].

Yüksek kaliteye sahip bir nokta kaynağı elde etmek için kaynak edilecek malzemelerin yüzeylerinde dikkat edilmesi gereken hususları yukarıda ifade etmiştik. Şimdi Mg alaşımları için yüksek kaliteye sahip bir nokta kaynağı elde etmek için gereken hususlardan bahsedeceğiz.

Mg alaşımları genellikle ya bir yağ kaplaması veya asitte dekape yüzey veya bir kromat (genellikle potasyum bikromat) ile kaplı yüzeyle pazarlanır. Dolayısıyla ağızlarla bunlara komşu bölgelerin, kaynaktan hemen önce oksitler ve daha önceki işlemler sırasında bulaşmış pislikleri yok etmek üzere özenle temizlenmeleri gerekir. Al veya paslanmaz çelik yünü, Al oksidi, abrazif bezi (zımpara) veya paslanmaz çelik telli motorlu fırçalar genellikle tercih edilir. Kimyasal bitirme olanaklarına sahip atölyelerde 700 gr kromik asit, 150 gr ferrik nitrat, 1,5 gr potasyum flüorür ve 3,8 lt'ye tamamlayacak kadar sudan oluşan bir temizleme banyosu kullanılır. Parçalar 21°C ile 32°C arasında tutulan banyoya yaklaşık 3 dakika süreyle daldırılıp sıcak suda kuvvetle ovulur ve havada kurutulur. Banyo küvü seramik veya paslanmaz çelikten ya da kursun, sentetik kauçuk veya vinyl esaslı bir malzemeyle kaplı olacaktır [6, 33, 36].

#### **4.12. ÖN ISITMA**

Mg alaşımları için ön ısıtma gereksinimi geniş ölçüde kesit kalınlıkları ve parçaların tespit derecesine bağlı olur. Bunların sıkıca tespit edilmiş olmaları halinde ve ince kesitlerde, özellikle yüksek Zn'lu alaşımlarda kaynak çatlağını önlemek üzere bir ön ısıtma az çok her zaman gereklidir. Bunun için en iyi yol, bir hava cereyanlı fırın kullanmaktır; bazı Mg alaşımları, SO<sub>2</sub> veya CO<sub>2</sub> atmosferinde ısıtılmayı gerektirirler ön ısıtma sıcaklığına varıldığında ısıtma işlemi bitmiş olur ama parça fırından, kaynak işleminin hemen başlaması koşuluyla çıkartılır. Kaynak işleminin parçanın hissedilir ölçüde soğuyacağı kadar uzun sürmesi halinde, işi durdurup ön ısıtmaya yeniden başlamak gerekir. Bütün genel dökme Mg alaşımları için azami ön ısıtma sıcaklıkları, aşağıdaki tabloda verilmiştir. Pratikte, ön ısıtma uygulanacaksa sıcaklık genellikle bunların altında olur [21, 28].

Çizelge 4.3. Mg döküm alaşımları için ön ısıtma sıcaklıkları ve kaynak sonrası ısıtma işlemler [6].

Alaşım	Alaşımın işlemi (a)		Max. ön ısıtma sıcaklığı (b) °C	Kaynaktan sonra ısıtma işlemi (c)
	Kaynaktan önce	İşlemden sonra		
	T4	T4	382	1/2 sa. 385 °C
AZ63A	T4-T6	T6	382	1/2 sa.385 °C + 5 sa. 220°C
	T5	T5	260	5 sa. 220 °C
AZ81A	T4	T4	400	1/2 sa. 415°C
AZ91C	T4	T4	400	1/2 sa. 415°C
	T4-T6	T6	400	1/2 sa. 415°C + 4 sa. 215°C
AZ92A	T4	T4	400	1/2 sa. 410°C
	T4-T6	T6	400	1/2 sa. 410°C + 4 sa. 260°C
AM100A	T6	T6	400	1/2sa.415°C+4 sa. 220°C
EK30A	T6	T6	260	16 sa. 204°C
EK41A	T4-T6	T6	260	16 sa. 204°C
	T5	T5	260	16 sa. 204°C
EZ33A	F-T5	T5	260	2 sa. 343°C + 5 sa. 215°C
HK31A	T4-T6	T6	260	1 sa. 315°C + 16 sa. 204°C
HZ32A	F-T5	T5	260	16 sa. 315°C
K1A	F	F	Yok	Yok
QE22A	T4-T6	T6	260	8 sa. 530°C + 8 sa. 234°C
ZE41A	F-T5	T5	315	2 sa. 330°C + 16 sa. 177°C
ZH62A	F-T5	T5	315	2sa.330°C + 16 sa. 177°C
ZK51A	F-T5	T5	315	2 sa. 330°C + 16 sa. 177°C
ZK61A	F-T5	T5	315	48 sa. 150°C
	T4-T6	T6	315	2-5sa.500°C+48sa.130°C

- (a) T4 = Eriyik ısıtma işlemi; T6 = Eriyik ısıtma işlemi ve yapay yaşlandırma T5 = Yapay yaşlandırma  
F = Dökümden çıktığı gibi. "işlem sonrası", kaynak sonrası ısıtma işleminden sonra,
- (b) Kalın ve tespit edilmemiş kesitler genellikle ön ısıtmayı gerektirmez, ince ve tespit edilmiş kesitler bunu, gösterilen maksimum sıcaklıklara kadar, gerektirebilirler
- (c) Gösterilen sıcaklıklar, müsaade edilebilen maksimumlardır. SO<sub>2</sub> veya CO<sub>2</sub> atmosferi, 370 °C' nin üstünde önerilir.

## BÖLÜM 5

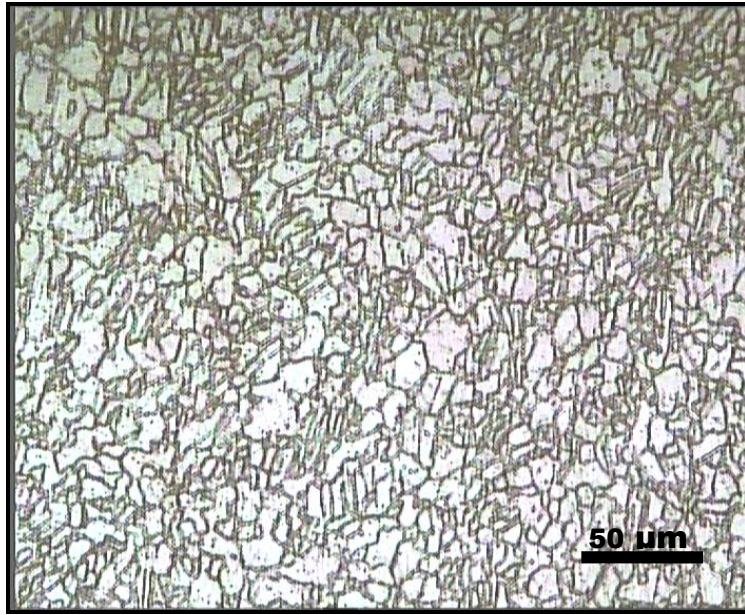
### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 5.1. MALZEME

Deneysel çalışmalarda, Çizelge 5.1’de kimyasal bileşimi (% ağırlık) ve Şekil 5.1’de mikroyapı fotoğrafı verilen ticari, soğuk haddelenmiş, 2 mm kalınlıkta AZ31 Mg alaşımı sac kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarının ticari ve endüstriyel geçerliliğini arttırmak amacıyla özellikle ticari bir kalite malzeme tercih edilmiştir.

Çizelge 5.1. AZ31 kalite Mg alaşımı sac malzemenin kimyasal bileşimi (% ağırlık).

	Mg	Al	Zn	Mn	Si≤	Fe≤	Cu≤	Ni≤	BE	Diğer
AZ31	Geriye kalan	2,5-3,5	0,7-1,3	0,2-1	0,05	0,004	0,025	0,001	5-15 PPM	0,01



Şekil 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan AZ31 Mg alaşımına ait mikroyapı fotoğrafı.

## 5.2. NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI

### 5.2.1. Kaynak Makinesi ve Donanımı

Deneysel çalışmada kullanılan nokta direnç kaynak makinesi ve donanımı Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu kaynak makinesinde birleştirme basıncı, kaynak süresi ve kaynak akımı gibi kaynak parametreleri ayarlanabilmektedir. Kaynak makinesinin genel özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. Kaynak elektrotu olarak A tipi kullanılmıştır. Malzeme cinsi olarak Cu–Cd alaşımı (nokta kaynağı için) tercih edilmiştir. Bu kaynak tekniği için de bir gerekliliktir. İletkenlik % 80 Al alaşımları, Mg alaşımları, galvanizli kaplı çelik, pirinç ve bronz kaynağı için genellikle bu cins elektrotlar önerilmektedir. Elektrot kaynak sırasında soğuma kanallarından akıtılan su yardımı ile soğutulmuştur. Suyun akış basıncı şebeke su basıncıdır.



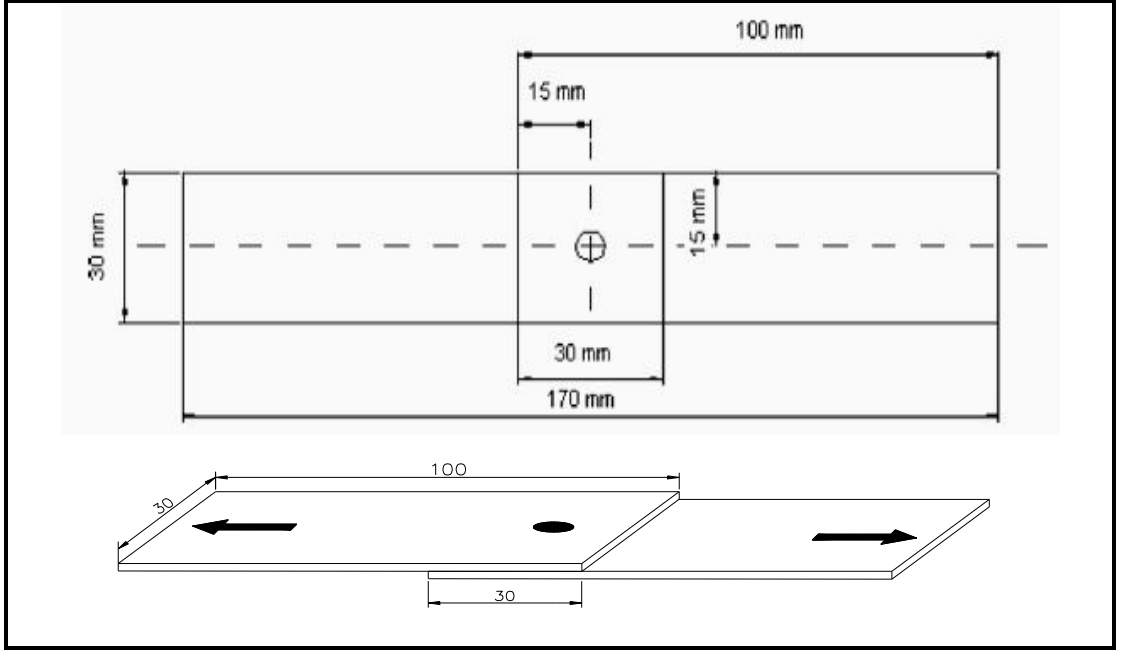
Şekil 5.2. Deneysel çalışmada kullanılan nokta direnç kaynak makinesi.

Çizelge 5.2. Nokta direnç kaynak makinesinin özellikleri.

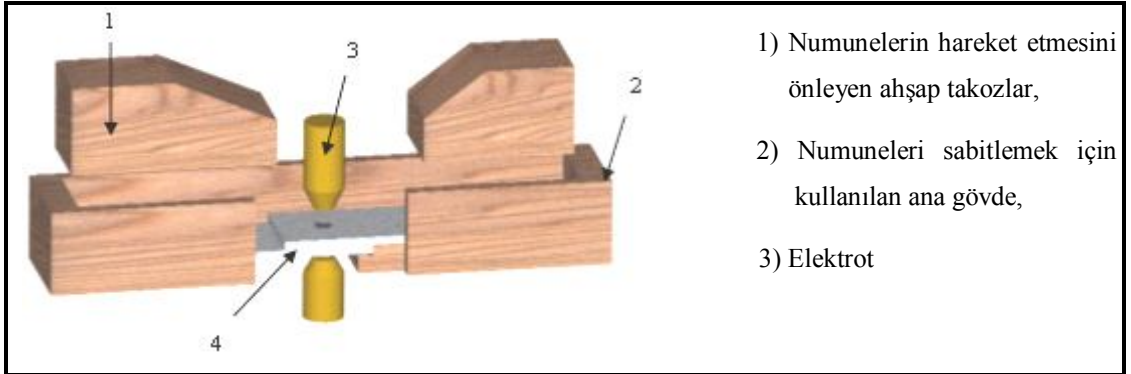
Makine Adı	Nokta Kaynak Makinesi İşlem Değerleri
Makine Gücü	120 kVA
Besleme Gerilimi	380 V (3 fazlı)
Punta Kollarını Besleyen Hava Basıncı	Max. 8 Bar
Kaynak Makinesinin Soğutma Suyu Debisi	20–25 lt/dk
Elektrotların Soğutma Suyu Debisi	4 lt/dk
Elektrot Çapı	Üst çene ve alt çene kaynak elektrot çapı 8 mm
Elektrot Malzemesi	Kesik konik uçlu ticari saflıkta Cu– Cd alaşımı elektrotlar

### 5.2.2. Kaynak İşlemleri

Birbiri üzerine bindirilerek nokta kaynağı ile birleştirilen numunelerin şematik görüntüsü Şekil 5.3'te verilmiştir. Bu numuneler DIN 50 120 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Numunelerin kesme işlemleri giyotin makas ile yapılmıştır. Bu numuneler deneysel çalışmalar için yeterli miktarda: çekme ve metalografi çalışmaları olmak üzere her ikisi için 5'er adet hazırlanmıştır. Kaynak işlemi sırasında numunelerin karşılıklı eksenlerinden kaymasını önlemek amacıyla özel bir ahşap kalıp hazırlanmıştır. Bu ahşap kalıp ve elektrotların konumları şematik olarak Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Nokta direnç kaynak numunesi çifti ve kaynak pozisyonu. (Bu numuneler aynı zamanda çekme makaslama deney numuneleridir).



Şekil 5.4. Kaynak esnasında kullanılan kalıp resmi [12].

Kaynak öncesinde numunelerin yüzeyleri 400, 800 ve 1200 mesh'lik zımpara ve sonrasında asetonla yıkanması ile oksit, kir, pas, yağ gibi kaynağı olumsuz etkileyebilecek muhtemel maddelerden temizlenmiştir. Kaynak işlemi; kaynak akımı ve kaynak basıncı sabit tutularak, değişen kaynak akım ve kaynak süresi şartlarında uygulanmıştır. Kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Elde edilen numuneler grup olarak kaynak parametreleri ile kodlanmıştır. Bu nokta direnç kaynaklı numuneler grup kodu ve kaynak zaman ve kaynak süreleri ile Çizelge 5.4'te

görülmektedir. Ayrıca, çizelge 5.3'te verilen kaynak parametreleri kullanılarak kaynak işleminin gerçekleşmesi grafiksel olarak Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

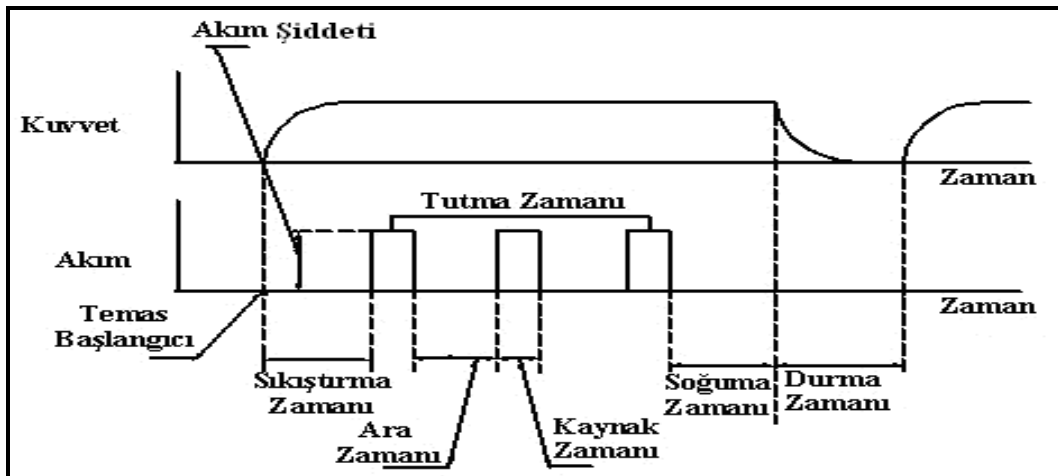
Çizelge 5.3 Kaynak makinesinin parametre kontrol sistem ayarları.

İnme Zamanı (sn)	Sıkıştırma Zamanı (sn)	Kaynak akımı (kA)	Ara Zamanı	Tutma Zamanı (sn)	Durma Zamanı (sn)	Elektrot Kuvveti (bar)	Kaynak zamanı (çevrim, 0,02sn)
1	0,6	21-23	Yok	0,6	0,2	4	5-20

Çizelge 5.4 Nokta direnç kaynaklı numuneler ve kaynak parametreleri.

Numune numarası	Kaynak parametreleri		Kısa gösterilişi (rakam olarak)
	Kaynak akımı kA	Kaynak zamanı Cycle*	
1	21	20	21-20
2	22	5	22-5
3	22	10	22-10
4	22	15	22-15
5	23	5	23-5
6	23	10	23-10
7	23	15	23-15

\*1 cycle (çevrim) = 0,02sn Numune kod ör: 21-20 (21 kA ve 20 Cycle'ı ifade eder)



Şekil 5.5. Kaynak işleminde kullanılan kaynak parametrelerinin grafiksel olarak gösterimi [12].



### 5.3. METALOGRAFI

AZ31 Mg alaşımının mikroyapı karakterizasyonu için çekme deney numunesi olarak fazladan elde edilen numuneler kullanılmıştır. Nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş AZ31 Mg alaşımına ait deney numuneleri kaynak kesitini görüntülemek amacı ile kaynak merkezlerinden kesildikten sonra yukarıda belirtilen standart işlem basamakları uygulanarak mikroyapı karakterizasyonuna hazır hale getirilmiştir.

Ana metal-ITAB-kaynak metali, profili görünecek şekilde kesilen parçalar soğuk reçine ile gömmenin ardından, sırasıyla 200–400–600–800–1000–1200–2000 mesh'lik su zımparasıyla zımparalanarak pürüzsüz yüzey elde edilmiştir. Daha sonra bu yüzeyler sırasıyla 1  m ve 0,1  m alimna pasta ile kadife keede parlatılarak dağlanmaya hazır hale getirilmiştir. Dağlama işlemi için % 4 Nitrik Asit + % 96 Methanol (% 2 Nital) zeltisi başta olmak üzere aşağıda belirtilen tüm dağlayıcılar kullanılarak yapılmıştır.

Kullanılan dağlayıcı solüsyonlar;

- % 4 Nitrik asit
- % 10 ml asetik asit + % 4,2 pikrik asit
- 10 ml saf su + 70 ml ethanol

Keller Etching,

- 50 ml picric asit + 20 ml
- Glacial asetik asit + 10 ml
- Saf su + 10 ml methanol
- 5 gr okzalik asit + 100ml saf su

Ayrıca

- 3 gr okzalik asit + 50 ml saf su

Makro dağlama için,

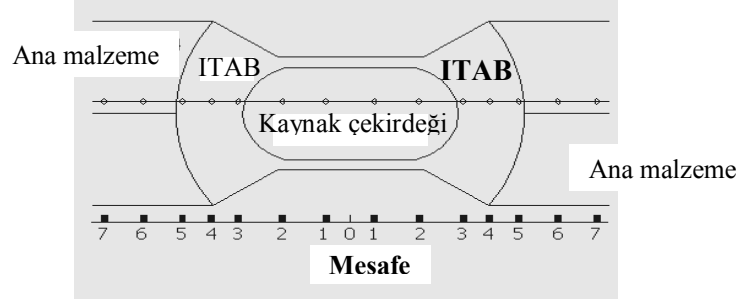
- 1 ml nitrik asit
- 19 ml saf su
- 20 ml asetik asit
- 60 ml etilen gliserol

Çözündürme işlemi sonrası alaşım için en iyi dağlama ayıracı: 10 ml HF + 96 ml H<sub>2</sub>O. Bu ayıraç ile dağlama işlemi, yapıdaki fazların daha net teşhis edilmesine ve nitel olarak tanımlanmasına ve çözündürme işleminden sonra alaşımdaki tanecik boyutunun değerlendirilmesine imkan verir. Dağlama ayıracı: 20 ml asetik asit + 80 ml H<sub>2</sub>O + 5 g NaNO<sub>2</sub> dur. Nitel ve nicel bir değerlendirme için kullanılabilcek yaşlandırma sonrası alaşım için en iyi ayıraç: 5-20 ml asetik asit, 80-95 ml H<sub>2</sub>O'dur.

Ve ayrıca paslanmaz çelik dağlayıcısı olarak da kullanılan kalling dağlama solüsyonu da kullanılmıştır. Sonuç olarak; çalışma amacına en fazla uygun görülen nital solüsyon ile hazırlanan numune fotoğrafları kullanılmıştır. Dağlanan numunelerin yüzeyi metanol ile temizlenip kurutulmuştur. Mikroyapı incelemeleri için Nikon marka Epiphot 200 modeli mikroskop kullanılmış ve görüntüleme işlemlerinde Vitec dijital metal mikroskop kamerasından faydalanılmıştır.

#### **5.4. SERTLİK ÖLÇÜMÜ**

Metalografi numuneleri kullanılarak Şekil 5.6'da gösterildiği gibi 10 farklı noktadan ve 3 farklı bölgeden (ana numune, ITAB ve kaynak çekirdeği) 3'er ölçüm yapılarak sertlik değerleri tespit edilmiştir. Mikrosertlik deneyleri, Karabük Üniversitesi T.E.F. Malzeme Laboratuvarında bulunan Shimadzu Uh 5000 kN marka sertlik cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümünde kullanılan yük miktarı 100 g'dır. Ayrıca bir genel sertlik ölçümüne ihtiyaç duyulmamıştır. Deneysel mikrosertlik ölçümleri konum ve sertlik grafiği olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Mikrosertlik değeri ölçüm noktaları.

### 5.5. ÇEKME MAKASLAMA DENEYİ

Nokta direnç kaynak makinesinde kaynağı yapılan ve ebatları Şekil 5.3’de verilmiş olan numuneler 10 ton kapasiteli Zwick marka çekme testi cihazında çekme makaslama deneyine tabi tutulmuştur.

Çekme hızının etkisinin elimine edilmesi amacıyla deney hızı 1 mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Deney sırasında, yükleme (kN) ve yer değiştirme (mm) değerleri software ile bilgisayara aktarılarak otomatik olarak kaydedilmiş, değer ve grafikleri alınmıştır. Çekme makaslama dayanımı olarak verilen bütün değerler, cihazın skalasından okunan yüklemenin boşa çıkması ile sonuçlanan maksimum çekme yükleme (kN) değerleridir. Her grup numuneden 5’er adet numune çekme makaslama deneyine tabi tutulmuş bu sonuçlardan en ortalama olanının grafiği ve ortalama değerleri de çizelgede ifade edilmiştir.

## BÖLÜM 6




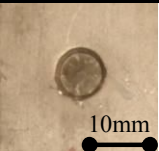




### DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

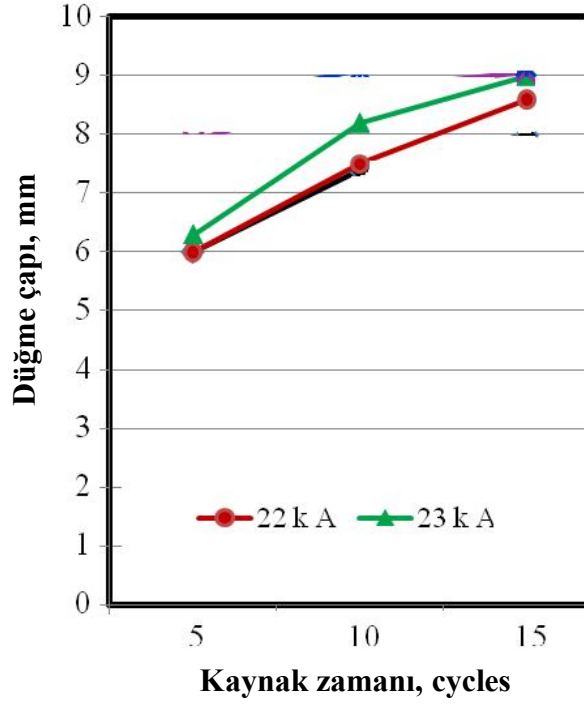
#### 6.1. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

##### 6.1.1. Düğme Çapı

Nokta direnç kaynaklarında kaynak çekirdek çapı en önemli parametrelerden bir tanesidir. AZ31 Mg alaşımına ait numunelerde görülen; kaynak akımı ve süresinin düğme çapına olan etkisi Çizelge 6.1’de ve Şekil 6.1.’de verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi kaynak akımı ve kaynak süresinin artmasına bağlı olarak düğme çapı da artmaktadır. Bu genel olarak beklenen bir durumdur. Literatürde bir çok araştırmacının [20, 37, 38] da bildirdiği gibi düğme çapının artması kaynak işlemi sırasında eşitlik (4.2) ile de ifadesini bulan ısı girdisindeki artış ile tanımlanmaktadır. Genel ifade ile ısı girdisindeki artış sağlıklı bağlantı sağlanabilen kaynak işlemlerinde düğme çapının artmasına sebep olmaktadır. Düğme çapındaki artış ise gerilme esnasındaki sabit kuvvetler altında alanın artması ile dayanımın artmasını sağlamaktadır.

Çizelge 6.1. Nokta kaynaklı numunelerin düğme fotoğrafları.

Weld current (kA)	AZ31			
	Kaynak süresi (Cycles)			
	5	10	15	20
22				
23				



Şekil 6.1. Kaynak akım ve süresiyle düğme çapının değişimi.

Geçerli bir düğme çapı her üretim şartı için ideal parametrelerin belirlenmesinde önceliklidir. Nokta direnç kaynaklı birleşmesi sağlanan malzemelerin nokta direnç kabiliyetleri farklılık gösterir. Bu farklılık malzemelerin cinsi ile mekanik ve fiziksel özelliklerinin farklılığından ileri gelmektedir. Dolayısıyla her üreticinin kendi şartları için optimum kaynak parametrelerini belirlemesi gerekmektedir. Peng ve arkadaşları [20] uygulama şartlarına bağlı olarak kaynak çekirdek çapının büyümesi ve diğer kaynak parametreleri için bir model geliştirmişlerdir. Bu modelden anlaşıldığı üzere çekirdek için en önemli etkenler basma kuvveti akım şiddeti ve kaynak süreleri ile birlikte kaynak işlemi yapılan malzemenin cinsi ile birlikte diğer karakteristikleridir. Bu ve buna benzer modeller ile kaynak tasarımı için deneysel çalışmaların yanında teorik çalışmalardan da faydalanılmaktadır. Bu çalışma için herhangi bir model veya benzetim oluşturulmamıştır.

Elde edilen düğme çapları çelik vb metaller ile Mg kıyaslandığında daha küçük olarak elde edilebildiği görülmektedir. Hayat ve diğerlerinin [11, 12] çalışmalarında çelikler için belirttikleri düğme çaplarının Mg sacları için ancak çok yüksek akım değerlerinde elde edilebildiği bu çalışma sonuçlarından görülmektedir. Ayrıca düğme elektrot kalınlığından taşmamaktadır. Halbuki çeliklerde yine Hayat ve

arkadaşlarının [11, 12] çalışmaları ile kıyaslandığında düğme çaplarının elektrot çaplarından daha büyük olarak elde edilebildiği görülmektedir.

Bu durum şu şekilde izah edilebilir; AZ31 Mg alaşımlarında görülen en bariz özelliklerden bir tanesi ısı ve elektrik iletim katsayısının çeliklerle kıyaslandığında çok yüksek olmasıdır. AZ31 Mg alaşımının bu özelliğinden dolayı, nokta kaynağı ile yapılan birleştirme işlemi esnasında ısının yoğunlaşması zor olduğundan yüksek kaynak akımı kullanılarak netice elde edilebilmiştir. Yine aynı sebeple yani yüksek iletkenlik sebebiyle ısı yoğunlaşması yeterince sağlanamadığı için düğme çapları elektrot çapından daha küçük ve/veya benzer olarak gerçekleşmiştir.

Literatürde nokta direnç kaynaklarında düğme çap artışı genel olarak ifade edilmiştir. Kaynak parametrelerinin etkisini gösteren çalışmalardan bir tanesi Peng, J. H. and Hu (1999)'ya aittir. Bu araştırmacılar çalışmalarında 3,5 mm kalınlığındaki malzemeye 2 ila 24 çevrim arasında değişen sürelerde kaynak yapmış ve artan sürelerle ısı girdisinin arttığını ve buna paralel olarak kaynak düğme çaplarının büyüdüğünü deneysel olarak göstermişlerdir [20]. Hayat ve diğerleri [11, 12], Hasan Başoğlu ve diğerleri ve Vural ve diğerleri [15]'da çelikler için benzer sonuçlar bildirmişlerdir [15]. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden bir tanesi şu olmalıdır; daha büyük düğme çapı elde etmek her zaman bir çare değil belki, bir sorun belki bir kusur oluşturabilir. Açacak olursak, kaynak akım ve kaynak sürelerinin artışına bağlı olarak artan ısı girdisi ile artan sadece düğme çapı değil aynı zamanda elektrot batma derinliği de artmaktadır. Aynı zamanda Kaynak akımı ve kaynak süresi değerlerinin arttırılmasında sınırlayıcı faktörlerden bir tanesi kaynak sırasında yanma ve sıçrama ile oluşumu ile ortaya çıkan olumsuzluklardır. Bu çalışmada literatür ışığında belirlenen kaynak parametreleri değerlendirildiğinde; sonuçta sağlıklı sağlanan bilen bağlantı, mikroyapı ve mekanik sonuçlar ile oldukça isabetli olarak kabul edilebilir. Kusur oluşturabilecek kaynak parametresi kullanımından kaçınılmıştır. Burada esasında ilke düşük akım yüksek süre veya yüksek akım düşük süre gibi bir orantıdır. Bu çalışma da pratiğe uygun olarak kolaylaştırıcı ve hızlandırıcı olarak yüksek akım düşük süre tercih edilmiştir. Tabi daha yüksek akım değeri de tercih edilebilir. Fakat kaynak kusurlarından kaçınmak için özel tedbirler gerektirecektir

Nokta direnç kaynaklı birleşmesi sağlanan malzemelerin nokta direnç kabiliyetleri farklılık gösterebilir. Bu farklılık malzemelerin mekanik, fiziksel özelliklerinin farklılığından ileri gelmektedir. Bu çalışma tarzına yakın çalışmalardan bir tanesinde yine çelikler yapılan bir çalışmada, Justin ve arkadaşları [40], uygulama şartlarına bağlı olarak kaynak çekirdek çapının büyümesi ve diğer kaynak parametreleri için bir model geliştirmişlerdir. Bu modelden anlaşılacağı üzere çekirdek için en önemli etkenler basma kuvveti akım şiddeti ve kaynak süreleri ile birlikte kaynak işlemi yapılan malzemenin karakteristikleridir.

AZ31 Magnezyum alaşımının ısı iletim katsayısı çok yüksektir. Bu nedenle kaynaklı birleştirme esnasında ısının yoğunlaşması zor olduğundan çelik malzemelere göre (7-9 kA) oldukça yüksek kaynak akımı kullanılarak (15-25 kA) kaynaklı birleştirmeler sağlanabilmektedir. Bu çalışmada 22-23 kA ve farklı kaynak süreleri kullanılmıştır. Sun ve diğerleri [20, 37, 38]'ında belirttiği gibi 23 kA üzerindeki birleştirmelerde sıcak yırtılma riski artmaktadır. Bununla birlikte bu çalışmada herhangi bir olumsuzluk tespit edilmemiştir. Bunun en önemli sebeplerinden bir tanesi de kaynak süresinin kısa tutulması olabilir.

Görüldüğü gibi nokta direnç kaynak akımı ve kaynak süresinin artmasına bağlı olarak AZ31 Mg alaşımı numunelerinin düğme çapı da artmıştır. Bu artan kaynak akımı ve kaynak süresi ısı girdisindeki artışın bir sonucudur ve genel olarak oldukça iyi bilinmektedir [39].

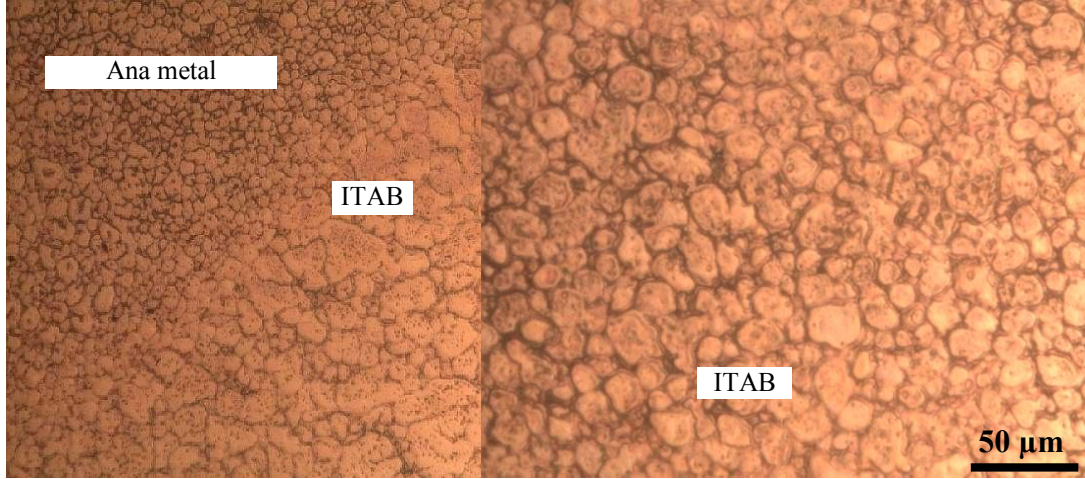
Uygulamalarda, birleştirilen numunelerin malzeme cinsi ve kaynak parametrelerinin değişimine göre düğme çaplarında farklılıklar görülmektedir. Nihai olarak elde edilebilecek kaynak düğme çapı kaynak elektrot çapı ile sınırlıdır. Fakat çoğu zaman gerçekleşen düğme çapı kullanılan elektrot çapından oldukça küçüktür.

Düğme çapı birleştirilen malzemenin ısı iletim katsayısı ile ters orantılı, uygulanan baskı ve kaynak akımı ve kaynak süresi ile ise doğru orantılıdır. Tabidir ki düğme çapının artması kaynak dayanımını da arttırmaktadır. Dolayısıyla mümkün olduğunca büyük sağlanabilirse dayanım açısından iyidir. Bununla birlikte yukarıda da ifade edildiği gibi daha büyük düğme çapı için gerekli olan fazla ısı girdisi çoğu

malzemenin nokta direnç kaynağından görsel ve metalürjik problemler (tane irileşmesi, splashing vb.) sebep olabilir. Sonuç olarak her malzeme için ihtiyaçlara göre optimum özellikleri ekonomik ve teknolojik şartlarda sağlayacak kaynak parametreleri, mikroyapı-mekanik özellikler, düğme çapı ilişkileri ve parçanın arzu edilen servis performanslarına göre belirlenmelidir. Bu çalışmada sabit kaynak basıncı ve uygulanan farklı kaynak akımı ve kaynak süresi şartlarında elde edilen bütün birleştirmelerde yeterli kaynaklı birleşme sağlanmış, görsel olarak uygun kaynak profili elde edilmiş ve fiziksel belirgin kusur gözlenmemiştir. Dolayısıyla sağlıklı kaynaklı birleştirmeler elde edildiği kabul edilebilir.

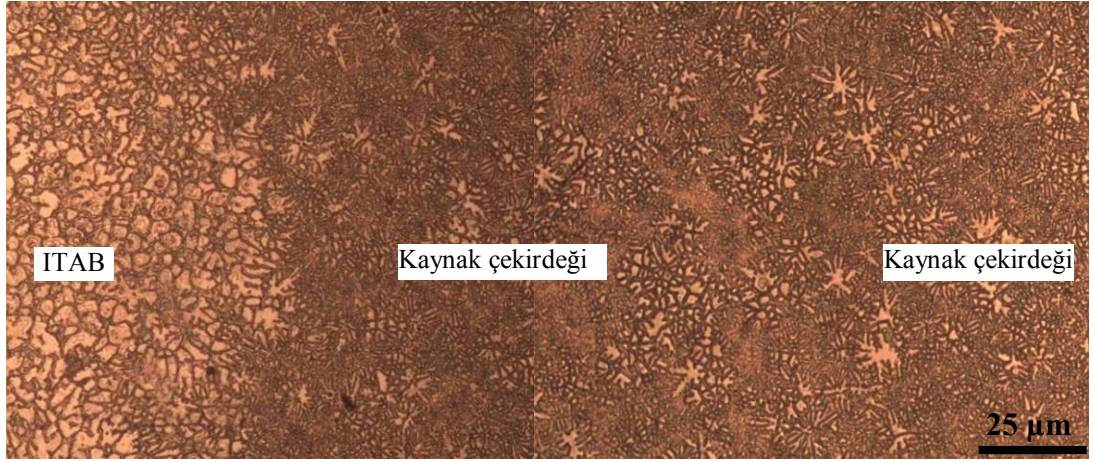
### 6.1.2. Mikroyapı

Elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş olan AZ31 kodlu Mg alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.2’de verilmiştir. Ayrıca bu mikroyapı fotoğraflarında ana metalin, ITAB’ın ve kaynak çekirdeğinin fotoğrafları da gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Kaynak profiline göre mikroyapı fotoğrafları [12].





Şekil.6.2. (Devam Ediyor).

Şekil 6.2’de görüldüğü gibi direnç nokta kaynaklı bağlantı numunelerinde dört farklı bölge göze çarpmaktadır. Bunlar genel olarak kaynak bölgesinde görebileceğimiz Ana metal-ITAB-geçiş bölgesi-Kaynak çekirdeği ve ya metali bölgeleridir. Şekilde görüldüğü gibi kaynak çekirdeği ve ITAB ana malzemeye göre genel olarak kaba yapılıdır. Aynı zamanda homojen-hücreyel-dentritik bir morfolojiye sahiptir. Geçiş bölgesinde yapı biraz daha incelmektedir. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi AZ31 Mg alaşımı mikroyapısının ana yapı  $\alpha$ -Mg ve tane sınırlarında parçalanmış küçük intermetalik  $\alpha$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> faz parçacıklarından çevrili olduğu tespit edilmiştir. ITAB eşeksenel tanelere sahiptir ve hızlı soğumanın etkisi ile  $\alpha$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> daha belirgindir.

AZ31 magnezyum alaşımının tane boyutu 5  $\mu$ m ila 15  $\mu$ m arasında değişmektedir. Ortalama tane boyutu ise 10  $\mu$ m olarak belirlenmiştir. İntermetalığının denge kuralları dışında belirgin olarak oluşmadığı görülmektedir. Geçiş bölgesi (GB)’da kısmen ve kısa bir aralıkta sütunsal tane oluşmuştur. Düğme ise ağırlıklı olarak ince-eşeksenel-dentritik görünümündedir.

Sun ve diğerleri [36, 37] geçiş bölgesinde önemli miktarda sütunsal yapı bildirmiştir. Bununla birlikte bu çalışmada sütunsal yapı yukarıda da belirtildiği gibi çok dar bir aralıkta oluşmuştur. Dolayısıyla düğmeden ITAB’a geçiş oldukça ani olarak değerlendirilebilir. Sun ve diğerleri [37, 38] dentritik yapı oluşumunu katılaşmadaki değişim ile açıklamışlardır. Mg ‘un yüksek ısıl iletkenliği sebebiyle düğme kenarındaki sıvı sıcaklığı çok hızlı düşer ve sıvı kaynak akımı durdurulduktan sonra

süper alt soğuma durumundadır. Bu durum geçiş bölgesinde özellikle hücresel dentritik tane oluşumunu destekler. Katılaşmanın devamında, katı/sıvı ara yüzeyindeki Al ve Zn atomları eriyik konsantrasyonu sıvı içerisinde artar ve sıvı içerisindeki sıcaklık gradyanı düşme eğilimindedir. ITAB'da ısı etkisi ile tane yapısı irileşir.

Sonuç olarak; AZ31 alaşımı ana metal ve kaynak bölgesi mikroyapısı bileşenlerinin  $\alpha$ -Mg ve süreksiz  $Mg_1Al_{12}$  intermetalik fazıyla çevrili olduğu tespit edilmiştir. Ortalama tane boyutu ise 10  $\mu m$  olarak ölçülmüştür. Ana metalin tane boyutu inceyken ITAB ve kaynak çekirdeğinin mikroyapısı daha kaba yapıda olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kaynak bölgesinde az da olsa elektrot basıncının da etkisi ile meydana gelmiş olan deformasyona uğramış bölgeler de tespit edilmiştir.

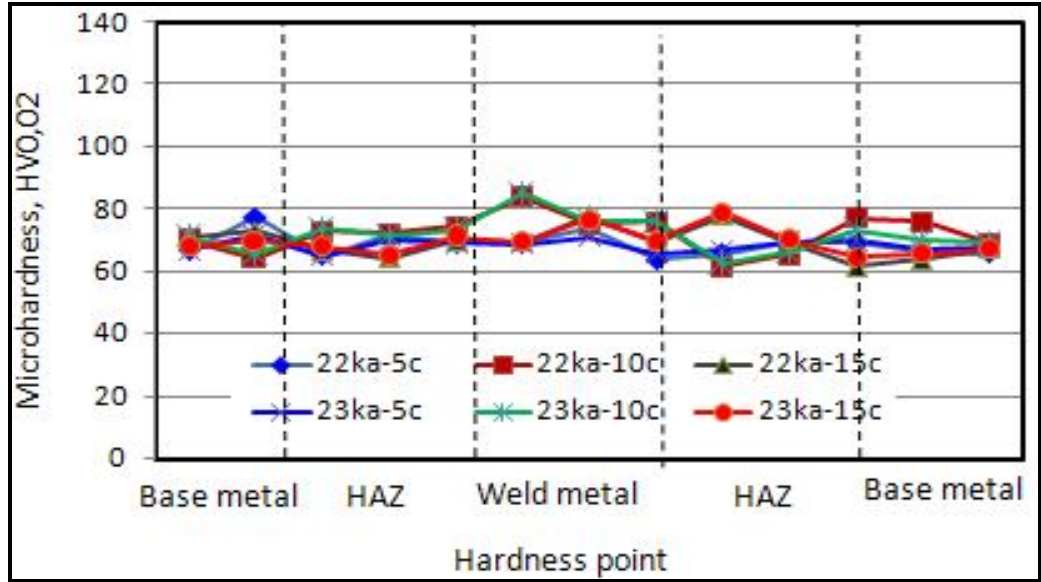
### 6.1.3. Sertlik

AZ31 Mg alaşımının direnç nokta kaynağında, üst üste bindirme yöntemi ile birleştirilmiş olan numunelerinin mikrosertlik değerleri Şekil 6.3'de gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü üzere, yapılan çalışmaların sonuçları göstermiştir ki; AZ31 Mg alaşımlarının üst üste bindirme yöntemi ile elde edilen birleştirme numunelerinin sertlikleri literatürde [12, 13] görüldüğü gibi genel metallerin üst üste bindirme yöntemi ile elde edilen birleştirme numunelerinin direnç nokta kaynağında birleştirmelerine benzerlik göstermiyor. ITAB, kaynak metali ve base metalin sertlikleri arasında tanımlanabilir bir fark gözlenmemektedir. Elde edilen bu sonuçlar çok heyecan vericidir. Çünkü normalde mikroyapının değişmesiyle sertlik profilinin de değişeceği beklenmektedir ve burada açıkça farklılık görülmektedir. Bu sonuçlar onu açıklayabilir.

Yukarıda tanımlanan sertlik profili açıklaması; Kaynak bölgesinde görülen ana malzemeye bağlı olarak sertlik, ısıtma, bu tanecik boyutuna bağlı soğutma ve mikroyapı faktörleri, çökelme morfolojisine bağlıdır. Genel ısı transferine bağlı olarak gerçekleşen kaynak bölgesinde ortaya çıkan sütunsal taneciklerinin kabalaşmasının sertleşmede çok etkili olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca malzeme cinsine bağlı olarak kaynak sonrası hızlı soğuma ile sertleşme mekanizması devreye

giriyoorsa buda sertliği arttırmaktadır. Halbuki Mg için bu değindiğimiz hususlardan farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Birincisi kullanılan sac malzeme soğuk şekil değiştirmiş bir malzemedir kaynak sonrası yeniden kristalleşme ve tane yapısında kabalaşma olur. Bu sertlik artmamasının en büyük sebeplerindendir. Ayrıca intermetalik faz morfolojisi de dağılarak düzensizleşir buda sertlik artışı beklentisini yok etmektedir.

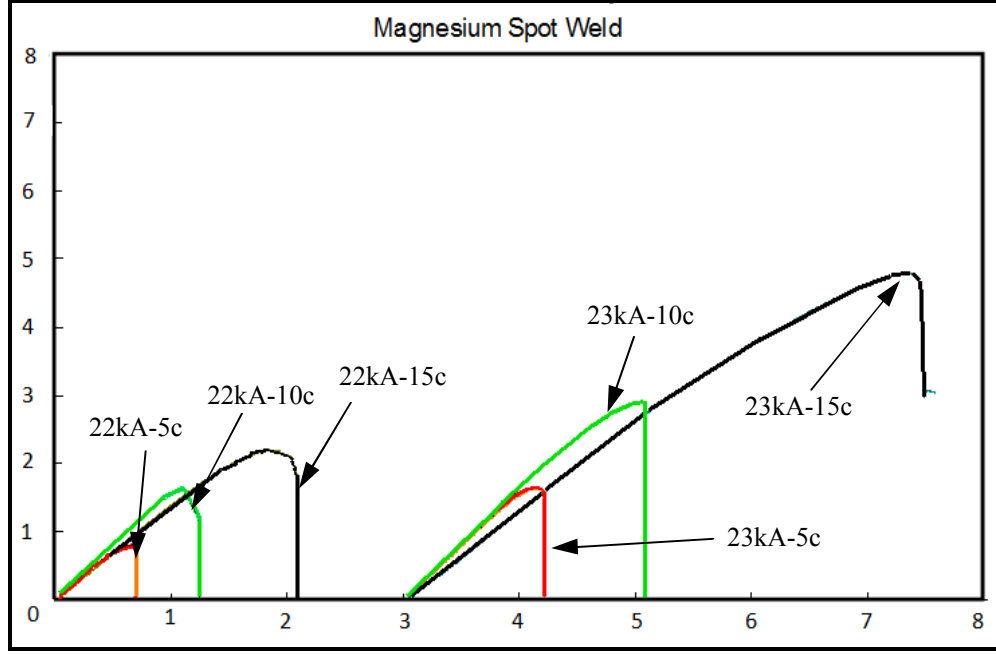
Bu çalışmada kaynağın maksimum mikrosertliği 82HV ve base metalin sertliği de 75HV ölçülmüştür.



Şekil 6.3 Kaynak süresi ve kaynak akımının değişimi ile mikrosertlik değişimi

#### 6.1.4. Çekme Makaslama Özellikleri

Direnç nokta kaynağı ile farklı kaynak akımı ve kaynak sürelerinde birleştirilmiş olan AZ31 Mg alaşımının çekme makaslama değerleri Şekil 6.4 ve çekme makaslama deneyi ortalama değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.4. AZ31 Mg alaşımının birleştirilmesinde kaynak süresi ve akımının değişimiyle çekme makaslama mukavemetinin değişimi [33].

Çizelge 6.2. Çekme makaslama deneyi ortalama değerleri.

Numuneler	ÇMDK (kN)	Yer değiştirme (mm)
22kA-5ç	0,8	0,75
22kA-10ç	1,6	1,3
22kA-15ç	2,1	2,1
23kA-5ç	1,5	4,2
23kA-10ç	2,9	5,1
23kA-15ç	4,8	7,6

Örn: 22kA-5ç'de 0,8 kN yük altında 0,8 mm yer değiştirdi.

Çekme makaslama deneyi sonucunda, artan kaynak akımıyla birlikte çekme makaslama dayanımına ait değerlerinde arttığı gözlenmiştir. 23 kA-15 cycle parametre değerinde çekme dayanımı  $4800 \text{ N/mm}^2$  a kadar çıkmıştır.

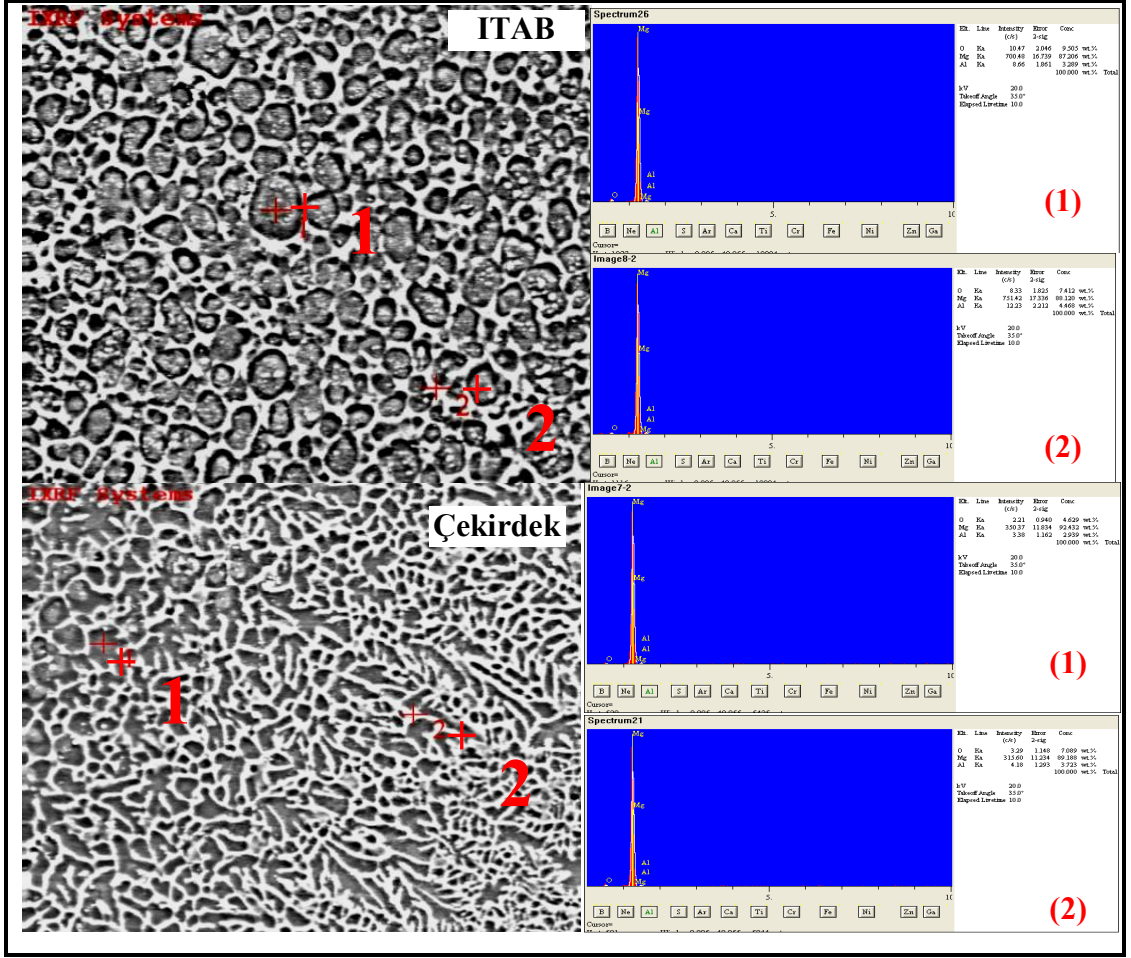
Şekil 6.4'de görüldüğü gibi kaynak akımı ve kaynak süresinin artması ile çekme makaslama mukavemeti ve yer değiştirme miktarının oldukça arttığı gözlenmektedir.

Özellikle 23 kA 15 cycle gibi yüksek akım değerinde elde edilen yüksek dayanım ve yer değiştirme (4800 N, % 7,6 yer değiştirme mm.) oldukça dikkat çekicidir. Sun ve arkadaşları [37, 38] daha düşük dayanım ve yer değiştirme değerleri bildirmişlerdir.

Elde edilen dayanım-yer değiştirme değerleri tabidir ki önceki bölümlerde izah edildiği gibi düğme ve mikroyapısının bir sonucudur. Kaynak süresi ve kaynak akımındaki artışa bağlı olarak gerçekleşen kaynak düğme çapı artışının bir sonucu olarak artan alan artışı ile dayanım ve yer değiştirme değerleri artmaktadır. Bu sonuçlar uygulanan kaynak süresi ve kaynak akımı değerlerinin isabetli olduğunun da bir kanıtıdır.

#### **6.1.5. Birleştirmelerin SEM ve EDX Analizleri**

AZ31 Mg alaşımının ITAB ve kaynak çekirdeğinin SEM çalışması ve EDX analizi Şekil 6.5’de verilmiştir. SEM ve EDX sonuçları, ITAB’da tespit edilen değerlerle çekirdek arasındaki değerler arasında farklılık olduğunu göstermektedir. AZ31 Mg alaşımında önem arz eden elementlerden Mg ve Al ITAB bölgesinde (1) % 88,33 ve 3,35 (2) 88,12 ve 4,46 oranındadır. Kaynak çekirdeğinde ise (1) % 93,43 ve 1,5 (2) 92,42 ve 2,94 oranında belirlenmiştir.



Şekil 6.5. ITAB ve kaynak çekirdeğinin SEM çalışması ve EDX analizi [12].

Direnç nokta kaynağı ile kaynak edilen malzemelerin diğer kaynak yöntemlerine nazaran ısıdan etkilenmemesi dolayısıyla mekanik özelliklerdeki kayıp minimumdur. Yöntem katı hal kaynağı olduğu için çatlak ve gözenek oluşumu gibi ergitme kaynaklarında karşılaşılan problemler minimum değerdedir. Alaşım elementi yanması kaynak çekirdeğinde, ergime ve buharlaşmadan dolayı az olduğundan alaşım elementi kaybı da azdır ve bunun neticesi olarak alaşım bileşimi yaklaşık olarak korunmuş olur.

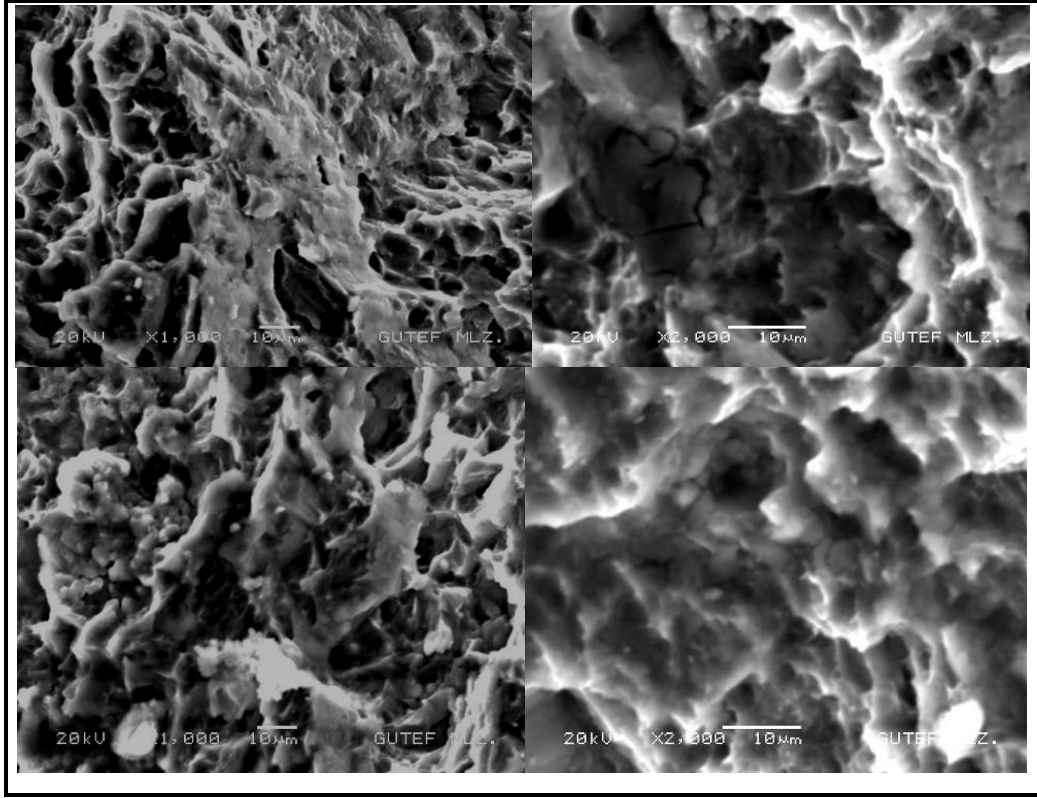
### 6.1.6. Kırılma Şekilleri

Şekil. 6.6'da kaynaklı numunelerin çekme makaslama deneyi sonucunda meydana gelen kopma türleri görülmektedir.



Şekil 6.6. Kaynaklı numunelerin kopma şekilleri.

Direnç nokta kaynağıyla birleştirilmiş AZ31 Mg alaşımının kaynak bölgesinden kırılmış yüzeyleri incelendiğinde direnç nokta kaynaklı numunelerin kopma türleri iki şekilde olmuştur. Birincisinde; kaynak merkezinden kopma ve ayrılma ve ikincisinde de; kaynak merkezinden yırtılma ve kısmi düğmeleme meydana gelmiştir. Şekil.6.7'de AZ31 Mg alaşımlarına ait kopmuş numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM çalışması görülmektedir.



Şekil 6.7. AZ31 Mg alaşımının çekme makaslama testinden sonra kırılma yüzeylerinin SEM mikroyapısı [12].

Düşük kaynak akımı değerinde (22 kA) tam bir birleşmenin olmaması bağlantının kaynak merkezinden ayrılma şeklinde kopmasına neden olmuştur. Artan kaynak akımı ile ergiyen bölge artarak daha geniş ve daha derin bir alanda birleşmeyi sağlamaktadır. Kaynaklı bağlantılarda 23 kA kaynak akımı tam bir birleşmenin olduğu minimum kaynak akımı olduğu görülmüştür. 23 kA'den sonra bağlantılar kısmi düğmeleme şeklinde kopmaya başlamıştır.

Nokta kaynağıyla birleştirilmiş AZ31 magnezyum alaşımının kaynak bölgesinden kırılmış yüzeyleri incelendiğinde Şekil. 6.7'de görüldüğü gibi genel olarak çukurcuk ağırlıklı kırık yüzeyler söz konusu olsa da SDH (sıkı düzen hekzagonal)'in bir sonucu olarak keskin kenarlar ve sivriltirle kısmen cleavage kırılma görülmektedir. Kaynak akımı ve kaynak süresinin artmasına bağlı olarak cleavage kırılma eğilimi artmaktadır. Bu muhtemelen kısmen tane irileşmesinin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Kaynak bölgesinde alaşım elementi azalması da artan kaynak parametrelerine bağlı olarak cleavage eğilimini arttırmaktadır.



## SONUÇLAR

- Kaynak akımı ve süresinin artışıyla düğme çapı artmıştır. Bu sonuç artan ısı girdisine bağlanmaktadır. Ayrıca çekme makaslama dayanımının da arttığı belirlenmiştir.
- Mikroyapı fotoğraflarında base metalin ince tane boyutuna sahip olduğu, ITAB ve kaynak çekirdeğinde ise yapının kabalaştığı tespit edilmiştir.
- Mikrosertlik değerlerini esas metalde düşük değerde iken ITAB ve kaynak çekirdeğinde arttığı gözlenmiştir.
- Kaynak çekirdeği ve ITAB’da yapılan EDX analizi sonucunda farklılık olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kaynaklı numunelerde iki tür kopma görülmüştür. Birincisi; kaynak merkezinden kopma ve ayrılma ve ikincisi de; kaynak merkezinden yırtılma ve kısmi düğmeleme meydana geldiği gözlenmiştir.
- Bu çalışmada kullanılan kaynak parametreleri yüksek TLBC gibi iyi sonuçlar vermiştir. Kaynak içerisinde sıcak çatlaklar veya ITAB da gözlenmemiştir. Dolayısıyla 2 mm kalınlığındaki AZ31 sacı için tavsiye edilebilir.
- Artan kaynak zamanı ve akımı ile birlikte artan ısı girişi sebebiyle düğme boyutu ve dolayısıyla da gerilme yük taşıma kapasitesi artmıştır.
- ITAB ve kaynak merkezinde bazı elemental farklılıklar tespit edilmiş olsa da dikkate alınmamıştır.
- ITAB’ın, kaynak metalinin ve taban metalinin sertlikleri arasında tanımlanabilir bir fark gözlemlenmemiştir.

## KAYNAKLAR

1. Zeytin, H.K. “Magnezyum alaşımları: Otomotiv endüstrisinde uygulaması ve geleceği”, *Marmara Araştırma Merkezi*, Kocaeli (1999).
2. Neumann, A.W., David, R. and Spelt, J. “ASM specialty handbook magnesium and magnesium alloys”, *ASM International Handbook Committee*, United States of America (1999).
3. Friedrich, H.E. and Mordike, B.L. “Magnesium technology”, *Metallurgy, Design Data, Applications*, Berlin (2006).
4. Mordike, B.L. and Ebert, T. “Magnesium: properties–applications–potential”, *Mater Sci*, England, 302: 37-45 (2001).
5. Atalay, O. “Magnezyum ve alaşımlarının konstrüksiyon malzemesi olarak otomotivde kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006).
6. İnternet: “Oerlikon kaynak elektrotları ve sanayi tic. yat. işl. a.ř.” <http://www.oerlikon.com.tr/2009/04/corrosion-between-anodized-magnesium-and.html>, (2009).
7. Oğuz, B. “Demir dışı metallerin kaynağı kitabı”, *Oerlikon yayını* (1990).
8. Gardner, N. and Kearns, W. H. “Welding handbook”, *American Welding Society*, 5(4) (1984).
9. Qiu, R. F., Satonaka, S. and Iwamoto, C. “Mechanical properties and microstructures of magnesium alloy AZ31B joint fabricated by resistance spot welding with cover plates”, *Science And Technology Of Welding And Joining*, 14(8): 691-697 (2009).
10. İnternet: “International magnesium association website (IMA)” <http://www.intlmag.org/mechanical.html>, (2010).
11. Hayat, F., Demir, B., Aslanlar, S. ve Acarer, M. “Tensile shear stress and microstructure of low-carbon dual-phase Mn -Ni steels after spot resistance welding”, *Metal Science and Heat Treatment*, 49: 9-10 (2007).

12. Hayat, F., Demir, B., Aslanlar, S. ve Acarer, M. "Effect of weld time and weld current on the mechanical properties of resistance spot welded", IF (DIN EN 10130-1999) steel", *Kovova Mmater*, 47: 1-7 (2009).
13. Demir, B., Acarer, M. ve Hayat, F. "Resistance spot welding of AZ31 magnesium alloy", *Resistance spot welding processing of commercial AZ31 magnesium alloy*, (2010)
14. Oğur, A. ve Anık, S. "Direnç nokta kaynak elektrodu ömrünün deneysel analizi", *İTÜ Makine Fakültesi, SAÜ Müh. Fakültesi Makine Müh. Bölümü*, Sakarya, 1-6 (2000).
15. Vural, M., Anık, S. ve Anık, E.S. "1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı, cilt 1", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 186-195 (1993).
16. Joseph, R. "ASM handbook (2) properties and selection: nonferrous alloys and special purpose materials", *ASM International Handbook Committee*, United States of America, (1996).
17. Erdem, V.E. ve Arısoy, C.F. "Otomotiv endüstrisinde çelikten vazgeçilebilir mi?" *Metal Dünyası*, 125: 72-81 (2003).
18. Friedrich, H. and Schumann, S. "Research for a new age of magnesium in the automotive industry", *Journal of Materials Processing Technology*, 117: 276-281 (2001).
19. Gaines, L., Cuenca, R., Stodolsk, F. and Wu, S. "Potential automotive uses of wrought magnesium alloys", *Automotive Technology Development*, Michigan, 1-7 (1996).
20. Peng, J. H. and Hu, S. J. "Controls of resistance spot welding", *Proceedings Of The American Control Conference*, San Diego, 187-191 (1999).
21. İnternet: "Gedik kaynak san. tic. yat. işl. a.ş." <http://www.gedikwelding.com/TR/TechnicalSupport.php?CatId=25>, (2010).
22. İnternet: "Yıldız kaynak makinaları san. tic. yat. tur. işl. a.ş." <http://www.yildizkaynak.com.tr/index2.html>, (2010).
23. Smith, W. F. "Malzeme bilimi ve mühendisliği" *Literatür yayıncılık*, (2001).
24. Brandes, E. A. and Brook, G. B. "Smithells light metals handbook" *ARCS, FIM DMet(Sheff)*, London, (1998).
25. Okamoto, H. "ASM handbook (3), alloy phase diagrams", *ASM International Handbook Committee*, United States of America, (1996).

26. Frost, H. J. and Ashby, M. F. “Deformation-mechanisms maps. The plasticity and creep of metals and ceramics, chapter 2” *Pergamon Press*, Oxford, England, (1982).
27. Eker, A. A. “Otomotiv sektöründe magnezyum ve alaşımları” *Y.T.Ü. Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Anabilim Dalı*, İstanbul, (2008).
28. Anık, S. “Kaynak teknolojisi el kitabı”, *Güriş Makine ve Montaj Sanayi A. Ş.*, 175-193 (1983).
29. Eryürek, B. İ. “Elektrik direnç nokta kaynağında temas direnci etüdü”, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Mühendislik - Mimarlık Fakültesi*, İstanbul, 35-47 (1976).
30. Serway, R. A. and Beichner, R. J. “Welding handbook”, *American Welding Society*, Miami, 9(8) (2002).
31. Chen, B. L. “Theory of welding metallurgy”, *Tsinghua University Press*, Beijing, 373 (1991).
32. Sharma, P., Ghosh, P. K. and Nath, S. K. “Fatigue behavior of resistance spot welded”, *Department of Industrial Engineering, University of Roorkee*, 518-525 (1993).
33. Coelho, R. S., Kostka, A., Pinto, H., Riekehr, S., Kocak, M. and Pyzalla A. R. “Microstructure and mechanical properties of magnesium alloy AZ31B laser beam welds”, *Materials Science and Engineering*, 485: 20-30 (2008).
34. Liu, L. and Dong, C. “Gas tungsten-arc filler welding of AZ31 magnesium alloy”, *Materials Letters*, 60: 2194–2197 (2006).
35. Fukumoto, S., Lum, I., Biro, E., Boomer, D. R. and Zhou, Y. “Effects of electrode degradation on electrode life in resistance spot welding of aluminum alloy 5182”, Davis, I. R., *Welding Journal*, 82: 307 (2003).
36. Harvey, P. D. “ASM metal handbook properties and selection”, *Irons, Steels And High Performance Alloys, 10<sup>th</sup> Edition*, 10 (1996).
37. Sun, D. Q., Lang, B., Li, G. Z. and Zhu, B. Q. “Electrode degradation in resistance spot welding of magnesium alloy” *ISIJ International*, 49(11): 1744–1748 (2009).
38. Sun, D. Q., Lang, B., Xuan, Z. Z. and Qin, X. F. “Hot cracking of resistance spot welded magnesium alloy” *ISIJ International*, 48(1): 77–82 (2008).

39. Wang, Y. R., Mo, Z. H. and Feng, J. C. "Effect of welding time on microstructure and tensile shear load in resistance spot welded joints of AZ31 Mg alloy" *Science And Technology Of Welding And Joining*, Japan, 12(8): 671-676 (2007).
40. Shriver, J., Peng, H. and Hu, S. J. "Resistance spot welding": A neural network approach to modeling." *Proceedings International Mechanical Engineering Conference and Exposition*, Chicago, 2573-2577 (1999).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Polat USLU 1984 yılında Giresun'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Giresun Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nden mezun oldu. 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'nde başlamış olduğu öğrenimini Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'nde 2008 yılında iyi derece ile tamamladı. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2011 yılında başarıyla tamamladı.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Kemal Güneş Cad.  
Köşem Apt. K:5  
Merkez / KARABÜK  
Tel: (505) 696 2197  
E-posta: p\_uslu@hotmail.com