

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**PASLANMAZ ÇELİK-GALVANİZLİ ÇELİK
ÇİFTİNİN ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ
KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN
KAYNAKLI BİRLEŞTİRMENİN DAYANIM VE
MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Huriye OĞUZ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vural CEYHUN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 10.09.2018

Bornova-İZMİR

2018

Huriye Oğuz tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Paslanmaz Çelik-Galvanizli Çelik Çiftinin Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmenin Dayanım ve Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 10.09.2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

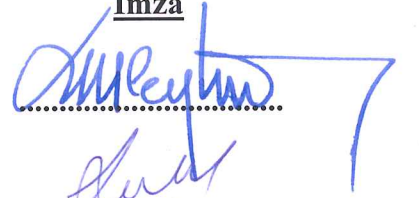
Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Prof.Dr.Vural CEYHUN

Raportör Üye : Dr.Öğr.Üyesi Ege Anıl DİLER

Üye : Doç.Dr.Uğur ÇAVDAR

İmza







EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Paslanmaz Çelik-Galvanizli Çelik Çiftinin Elektrik Nokta Direnç Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmenin Dayanım ve Mikroyapı Özellikleri Üzerine Etkisi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

10 / 09 / 2018



Huriye OĞUZ



ÖZET

PASLANMAZ ÇELİK-GALVANİZLİ ÇELİK ÇİFTİNİN ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAĞINDA KAYNAK PARAMETRELERİNİN KAYNAKLI BİRLEŞTİRMENİN DAYANIM VE MİKROYAPI ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

OĞUZ, Huriye

Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vural CEYHUN

Haziran 2018, 89 sayfa

Bu tezde mimari, mutfak gereçleri, otomotiv endüstrisi, savunma ve havacılık sanayi gibi birçok alanda kullanım yeri olan ostenitik ve ferritik paslanmaz çelik ve yine çok farklı endüstriyel alanlarda yaygın kullanımı olan galvanizli çeliğin elektrik nokta direnç kaynağı ile birleştirilme noktasının dayanım, sertlik ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

Elektrik nokta direnç kaynağında elektrotlardan geçen akım, elektroların iş parçasıyla temasını sağlayan kuvvet ve kaynak zamanı en temel önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin birbirleri ile kombinasyonları ve uygulanma miktarları kaynak kalitesini belirler. Kaynağın kalitesi birleştirilecek parçaların mekanik dayanımına doğrudan etki eder. İlgili kaynak parametrelerin ostenitik, ferritik ve galvanizli çelikler üzerinde dayanım, sertlik ve mikroyapı özellikleri incelenerek uygun kaynak parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Anahtar sözcükler: Ostenitik paslanmaz çelik, ferritik paslanmaz çelik, galvanizli çelik, elektrik nokta direnç kaynağı, kaynak akımı, kaynak süresi, çekme-makaslama dayanımı, sertlik, mikroyapı.



ABSTRACT**EFFECT OF WELDING PARAMETERS ON THE TENSILE SHEAR STRENGTH, HARDNESS AND MICROSTRUCTURE PROPERTIES IN THE ELECTRIC RESISTANCE SPOT WELDING OF FERRITIC, AUSTENITIC AND GALVANIZED STAINLESS STEEL**

OĞUZ, Huriye

MSc in Mechanical Eng.

Supervisor : Prof. Dr. Vural CEYHUN

June 2018, 89 pages

In this study, the strength, hardness and microstructure of austenitic and ferritic stainless steel, which is used in many fields such as architectural, kitchen utensils, automotive industry, defense and aviation industries, and galvanized steel, which is widely used in many different industrial fields, are investigated experimentally.

The current passing through the electrodes, the force that causes the electrons to touch the workpiece, and the welding time are the most important factors. The combination of these factors with each other and the amount of application determine the quality of the welding. The quality of the welding, directly affects the mechanical strength of the parts to be joined. It is aimed to determine the proper welding parameters by studying the strength, hardness and microstructure properties of the relevant welding parameters on austenitic, ferritic and galvanized steels.

Keywords: Austenitic stainless steel, ferritic stainless steel, galvanized steel, electric resistance welding, welding current, welding time, tensile-shear strength, hardness, microstructure



TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince her zaman yanımda olan, yol göstericiliği ve kıymetli görüşleriyle çalışmaya yön veren değerli danışman hocam Sayın Prof.Dr. Vural CEYHUN 'a, deney numunelerinin hazırlanmasında bana yardımcı olan Eneko Havalandırma AŞ Laboratuvar Sorumlusu Ramazan YAYLA 'ya, Deflab Robotik Teknolojiler Şirketi Yönetim Kurulu Başkanı Vasıf Çağlar EMİROĞLU 'na, Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Aysun BALTACI 'ya, deneyler süresince bana yardımcı olan Ege Üniversitesi Biyomekanik Laboratuvarı Sorumlusu Mak. Yük. Mühendisi Zafer YENİER 'e, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Fatih KAHRAMAN 'a ve Tahribatsız Muayene ve Kaynak Laboratuvarı Sorumlusu Arş. Gör. Coşkun YOLCU 'ya, desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiii
1 GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI	2
2.1 Nokta Direnç Kaynağı Nedir?	2
2.2 Nokta Direnç Kaynağı Metotları	2
2.2.1 Nokta kaynağı	2
2.3 Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makineleri	3
2.3.1 Pres tipi kaynak makineleri	3
2.4 Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi	4
2.5 Kaynak Sırasında Sıcaklığın Dağılımı ve Çekirdeğin Oluşumu	7
2.6 Kaynak Çevirimi	8
2.7 Kaynak Değişkenleri	10

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.7.1 Elektrotların malzemesi ve boyutunun kaynak kalitesine etkisi	10
2.7.2 Kaynak akımı	11
2.7.3 Kaynak zamanı.....	11
2.7.4 Elektrot kuvveti.....	12
2.7.5 İş parçasının malzemesi	12
2.7.6 İş parçasının yüzey durumu	12
2.7.7 Kaynaklar arasındaki mesafe	13
3 PASLANMAZ VE GALVANİZLİ ÇELİKLER	14
3.1 Paslanmaz Çeliklerin Genel Özellikleri	14
3.2 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması.....	14
3.2.1 Ferritik paslanmaz çelikler	15
3.2.2 Ostenitik paslanmaz çelikler	17
3.2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler	18
3.2.4 Dupleks (ostenitik-ferritik) paslanmaz çelikler.....	19
3.2.5 Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler	19
3.3 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	20
3.3.1 Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı	20

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.3.2 Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı.....	23
3.4 Galvanizli Çelikler.....	23
3.5 Galvanizli Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	24
4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
4.1 DeneYlerde Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri	25
4.2 DeneY Parçalarının Boyutları	25
4.3 DeneY Parçalarının Hazırlanması	26
4.4 Kaynak Makinası	26
4.5 Elektrotlar	27
4.6 DeneYlerin Yapılışı.....	28
4.6.1 Kaynak işlemleri	28
4.6.2 Çekme-makaslama deneYi	28
4.6.3 Mikroyapının incelenmesi	31
4.6.4 Vickers sertlik deneYi	31
5 DENEY SONUÇLARI.....	33
5.1 Çekme-Makaslama DeneYi Sonuçlarının İrdelenmesi	33

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1.1 Kaynak akımının etkisi	33
5.1.2 Kaynak süresinin etkisi	48
5.1.3 Vickers sertlik deneyi sonuçlarının irdelenmesi	68
5.1.4 Mikroyapı inceleme sonuçları.....	78
6. SONUÇLAR	83
7. ÖNERİLER.....	86
KAYNAKLAR DİZİNİ	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Pres tipi nokta direnç kaynağı makinesi	3
2.2 Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi.....	5
2.3 Elektrik nokta direnç kaynağında meydana gelen dirençler.....	6
2.4 Kaynak işleminde oluşan sıcaklığın parçalar üzerindeki değişimi.....	7
2.5 Direnç nokta kaynağı aşamaları	8
2.6 Direnç nokta kaynağı çevrimleri	9
3.1 Schaeffler diyagramı	15
3.2 Demir-krom denge diyagramı	16
3.3 Ferritik paslanmaz çelikler	16
3.4 Ostenitik paslanmaz çelikler.....	17
3.5 Martenzitik paslanmaz çelikler.....	18
3.6 Dupleks paslanmaz çelikler	19
3.7 Çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler.....	20
3.8 Tane sınırlarında oluşan krom karbür çökelmesi.....	21
3.9 WRC Diyagramı	22
4.1 Deney parçalarının boyutları	25

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.2 Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş örnek numune.....	26
4.3 Deneylerde kullanılan kaynak makinesi	27
4.4 Deneylerde kullanılan elektrotlar.....	27
4.5 Çekme-makaslama deney düzeneği.....	29
4.6 Kopma türleri.....	30
4.7 Vickers sertlik deneyi düzeneği.....	32
5.1 Galvanizli çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi.....	35
5.2 Galvanizli-430 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi	37
5.3 Galvanizli-304 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi	39
5.4 430 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi.....	41
5.5 430 kalite-304 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi	43
5.6 304 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi.....	45
5.7 Yüksek kaynak akım şiddetlerinde sac ara yüzeylerinde oluşan fişkırama.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.8 15-17 kA kaynak akım şiddetinde sac ara ve üst yüzeylerinde oluşan fişkıma.....	47
5.9 Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-galvaniz çelik çifti	51
5.10 Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-galvaniz çelik çifti	52
5.11 Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-430 kalite paslanmaz çelik çifti	54
5.12 Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-430 kalite paslanmaz çelik çifti	55
5.13 Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-304 kalite paslanmaz çelik çifti	57
5.14 Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-304 kalite paslanmaz çelik çifti	58
5.15 Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 430 kalite paslanmaz-430 kalite paslanmaz çelik çifti.....	60
5.16 Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 430 kalite paslanmaz-430 kalite paslanmaz çelik çifti.....	61
5.17 Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 430 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.18 Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 430 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti.....	64
5.19 Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 304 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti.....	66
5.20 Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 304 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti.....	67
5.21 Elektrik nokta direnç kaynağı yapılmış aynı kaynak süresinde maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip numunelerin esas metal ve IEB Vickers sertlik deneyi sonuçları	77
5.22 Deney parçalarının mikroyapı resimleri	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları.....	10
4.1 Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri.....	25
5.1 Numunelerin kodlama sistemi	33





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Al	Aluminyum
Cu	Bakır
Cr	Krom
Ni	Nikel
Fe	Demir
Mo	Molibden
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
Nb	Niyobyum
S	Kükürt
Se	Selenyum
Mn	Mangan
P	Fosfor
N	Azot
FeCr	Ferrokrom
kA	Kiloamper

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
kVA	Kilovoltamper
daN	Dakanewton
Hz	Hertz
s	Saniye
A	Amper
V	Volt
mm	Milimetre
kN	Kilonewton
mm/dk	Milimetre/dakika
N	Newton

Kısaltmalar

ASTM	American Society for Testing and Materials
IEB	Isı Etkisi Altındaki Bölge
TIG	Tungsten Inert Gas (Tungsten Asal Gaz Kaynağı)

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler 20. yy başında başlıca kimya endüstrisinde yüksek korozyon dayanımı gerektiren uygulamalar için üretilmiştir (Sarıtaş, 2018). Farklılık gösteren ortamlara adapte edilebilmesi ve dayanımlarının artırılması amacıyla 100'ü aşkın paslanmaz çelik tipi ortaya çıkmıştır.

Farklı kimyasal bileşimleri ile, alaşımsız çeliklere göre korozyon dayanımları farklılık göstermektedir. İçerisinde bulunan Krom sayesinde çelik paslanmaza dönüşür ve miktarın artırılması ile korozyon dayanımı artırılabilir. Üstün korozyon dayanımını yüzeye kuvvetle tutunmuş, yoğun sünek çok ince oksit tabakası sağlar. Bu ince tabaka uygun koşullar altında kendini yenileme özelliğine sahiptir (Sarıtaş, 2018).

İçeriğindeki Nikel ile süneklik ve kolay şekillenebilme özelliği elde edilmektedir. Krom miktarının artırılması ve Nikel, Molibden, Bakır, Titanyum, Azot ve Alüminyum gibi maddelerin eklenmesi ile mukavemet özellikleri de arttırılmaktadır.

Paslanmaz çelikler iyi korozyon dayanımına sahip olmaları, yüzeylerinin kolay temizlenebilir oluşu, oksitlenme problemi olmaması sebebiyle hijyenik ortamlarda rahatça kullanılabilmeleri ve iyi mukavemet özelliğe sahip olmasından dolayı sıklıkla tercih edilirler.

Galvanizli çelik, korozyona karşı metalin çinko ile kaplanmasıyla elde edilir. Çinko kullanımı ile korozyon önleyici bir tabaka oluşturulur. Kaplamanın zamanla aşınması korozyona karşı dayanımını da azaltacaktır.

Hem paslanmaz çelik hem de galvanizli çelik çok çeşitli kullanım alanına sahiptir. Paslanmaz çelikler kendi aralarında ve/veya galvanizli çeliklerle birlikte kullanıldıklarında önemli bir birleştirme tekniği olan elektrik nokta direnç kaynağı oldukça yaygın olarak kullanılır.

2. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

2.1. Nokta Direnç Kaynağı Nedir?

1877 yılında Thomson tarafında rastlantısal bir şekilde Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan elektrik nokta direnç kaynağı, günümüzde çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Elektrik direnç kaynağı, üzerinden geçen elektrik akımını nedeniyle, dirence bağlı olarak oluşan ısı ve basınç yardımıyla uygulanır. Kaynak işlemi için iki elektrot arasına malzeme yerleştirilir ve devreden geçirilen yüksek akım şiddetine bağlı olarak uygulama noktası ısınır. Aynı zamanda uygulanan basınç ile malzemeler birbirine tutturulmuş olacaktır.

Kaynak işlemi uygulamayı yapan operatörlerin bir pedala basmasıyla gerçekleşir. Bu sebeple işçilik masrafı diğer yöntemlere kıyasla daha düşüktür. Makine maliyetleri göz önüne alındığında gerekli ekipmanlar benzer yöntemlere göre daha pahalı olmaktadır.

Elektrik nokta direnç kaynağı yöntemi ile ek malzeme kullanımı olmamaktadır. Bu nedenle uygulama hızının yüksek oluşu, ek beceri gerektirmemesi ve kaynak dayanımının yüksek olması sayesinde günümüzde otomotiv, metal eşya ve uçak sanayiinde kullanılmaktadır.

2.2. Nokta Direnç Kaynağı Metotları

Direnç kaynağı yöntemleri sırasıyla nokta kaynağı, kabartılı kaynak, dikiş kaynağı ve alın kaynağıdır. Çalışmanın konusu olarak bu bölümde yalnızca nokta kaynağı incelenecektir.

2.2.1. Nokta Kaynağı

Kaynak, parçanın elektrotlar arasında yer alan bölümünde gerçekleştirilir. Kaynaklanacak kenarları üst üste bindirilmiş levhalara düzenli aralıklarla uygulanır. Birleştirmenin sağlamlığı, kaynakların boyutuna ve sayısına bağlıdır (Karamış, M.B., 2006)

2.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makineleri

Kaynak makineleri üç temel prensipte imal edilir:

- Pres Tipi Makineler
- Seyyar Makineler
- Çok Nokta Kaynak Makineleri

Çalışmamızda kullanılan kaynak makinesi pres tipi kaynak makinesidir.

2.3.1. Pres tipi kaynak makineleri

Pres tipi kaynak makinelerinde, dikey olarak doğrusal bir şekilde hareket eden ve üst elektrotu taşıyan bir kaynak kafası bulunmaktadır. Ayrıca alt elektrot dikey olarak ayarlanabilir bir kol üzerinde bulunmaktadır. Üst kafa kızaklar üzerinde hareket ederken, bu hareket ve kaynak basıncı, hava ve hidrolik silindirlere sağlanır (Aslanlar, S., 2016).

Hava silindirli makinelerde, hava bir selenoid vana vasıtasıyla silindirlere yönlendirilmektedir. Hava, bu sayede silindirdeki pistonu ve buna bağlı olan kafayı aşağıya doğru itmekte ve üst elektrot parçayı sıkıştırılmaktadır. Ek olarak, elektrotlarda elde edilen kuvvet sabit veya kontrollü olabilmektedir.



Şekil 2.1. Pres tipi nokta direnç kaynağı makinesi (Zpunta, 2018)

Bir kaynak makinesini oluşturan sistemler şunlardır:

- Elektrik devresi
- Kaynak transformatörü
- Kontrol cihazı
- Mekanik kısım

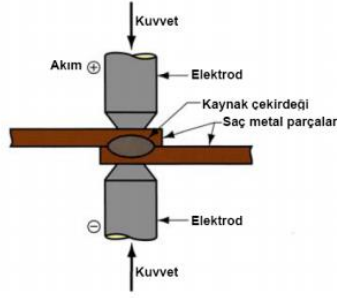
Elektrik devresi, kaynak transformatörü, primer sargı sayısı değiştirme anahtarı ve sekonder devreden oluşmakta ve sekonder devre kaynak edilen parçalara akım ileten elektrotları kapsamaktadır. Kaynak transformatörü ise yüksek gerilimdeki şebekeden alınan gücü, düşük gerilimdeki yaklaşık olan eş değer bir güce çevirmektedir (Aslanlar, S., 2016).

Kaynak makinelerinde bulunan kontrol cihazlarının üç temel fonksiyonu vardır: kaynak akımının başlatılması ve kesilmesi, kaynak makinesinin mekanik işlemler süresini ayarlanması ve sıra ile cereyan edilmesinin sağlanması ve son olarak kaynak akım şiddetinin ayarlanmasıdır.

2.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynağının Prensibi

Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi, elektrotlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir. Kaynak edilecek parçaların temas yüzeyi, kısa bir süre tatbik edilen düşük gerilim ve yüksek akım ile ısıtılarak erimiş haldeki kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Elektrik akımı kesilince, erimiş metal hızla soğur ve katılaştır.

Kaynak işlemi genellikle 1 saniyeden daha kısa bir sürede tamamlanır. Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile belirlenir. Şekil 2.2'de de görüldüğü gibi kaynak çekirdeği iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz. Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin oval şekilde olduğu görülür (Aslanlar, S., 2016).



Şekil 2.2. Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi (Durdu, 2006)

Akımın geçtiği pens ve elektrot uçlarına uygulanan basınç ile kaynak öncesinde, kaynak süresi boyunca ve kaynaktan sonra kaynaklanacak malzemelerin birbirine temasını sağlamaktadır. Kaynağı yapılacak malzemenin kalınlığı ve cinsi, akım miktarı, elektrot ucunun temas ettiği bölgenin yüzey alanı kaynağın gerçekleşebilmesi için gerekli süreyi etkilemektedir (Aslanlar, S., 2016).

I akımı, R ohmik direncinden t süresince geçtiğinde, Joule kanununa bağlı olarak J birim ısı açığa çıkar (Aslanlar, S., 2016).

$$Q = K \times I^2 \times R \times t$$

Burada;

Q: Üretilen ısı

K: Isı kaybı sabiti

I: Kaynak akımı

R: Kaynak akımının geçtiği devredeki dirençlerin toplamı

T: Kaynak akımının devrede kalma süresidir.

Dirençler toplamı şöyledir:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7$$

Bu dirençler;

- Malzeme dirençleri:

R_6, R_7 : elektrotların direnci

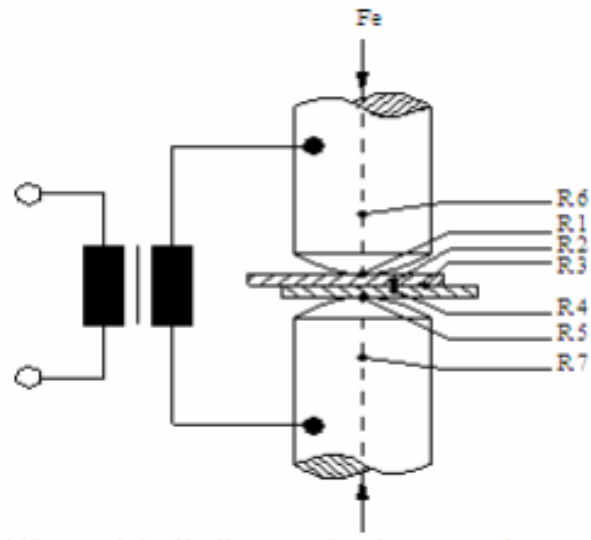
R_2, R_4 : iş parçalarının dirençleri

- Temas dirençleri:

R_1, R_5 : elektrot - malzeme temas direnci

R_3 : malzeme - malzeme temas direnci

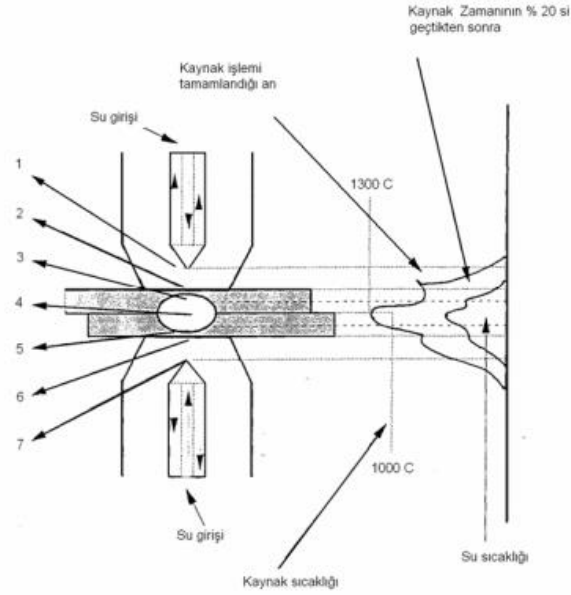
R_3 kaynak uygulaması için gerekli dirençtir ve büyüklüğüne bağlı olarak kaynak kabiliyeti artar. Yeterli olmaması kaynağın yapılamayacağı anlamına gelmektedir. Direnç sayesinde oluşan ısı, elektrotlar tarafından uygulanan basıncın bir sonucu olarak sacların tam bir temas haline getirildiği yerel bir alanda yoğunlaşır. Akım geçmeye devam ettikçe temas yüzeyinde ergime gerçekleşir ve bir kaynak banyosu oluşmaya başlar. Bu şekilde saclar arasında bağlantı boyunca yük taşıyabilen yerel bir bağ oluşturulur (Erik, M., 2010). Yukarıdaki formülden de görülebileceği gibi F kuvveti ile R_3 direnci ters orantılıdır.



Şekil 2.3. Elektrik nokta direnç kaynağında meydana gelen dirençler (Erik, M., 2010).

2.5. Kaynak Sırasında Sıcaklığın Dağılımı ve Çekirdeğin Oluşumu

Şekil 2.4'te kaynak süresi boyunca birleşimin tüm noktalarında sıcaklık değişimi gösterilmiştir.

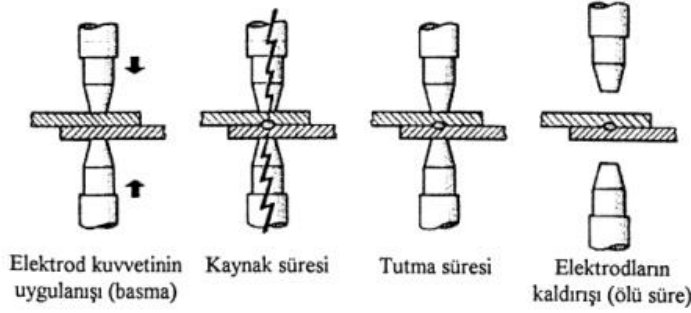


Şekil 2.4. Kaynak işleminde oluşan sıcaklığın parçalar üzerindeki dağılımı (Akyol, 2001)

Uygulanan akımla birlikte ısı bir noktada oluşmaz. Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi 7 bölgenin dirençleri doğrultusunda ısı üretilir. İstenilen ısı bölgesi 4 no'lu bölgedir. Bunun dışındaki noktalarda oluşan ısıların engellenmesi istenir. Başlangıç sıcaklığı düşey çizgiyle belirtilmiştir. En büyük direnç 4 düzleminde. 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 (Akyol, 2001).

2.6. Kaynak Çevirimi

Genel olarak nokta kaynağı, dört periyottan meydana gelir: basma, kaynak, tutma ve ölü süreleridir. Bu sürelerle ilgili olarak direnç nokta kaynağı aşamaları Şekil 2.5’te gösterilmiştir (Erik, M., 2010).



Şekil 2.5. Direnç nokta kaynağı aşamaları (Akyol, 2001).

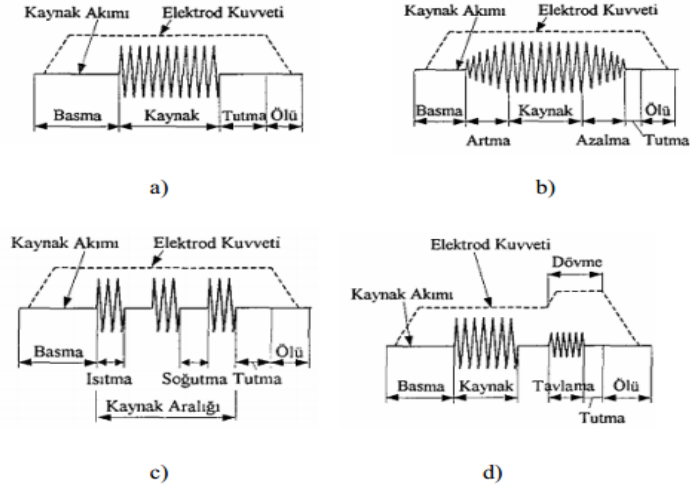
1. Basma süresi: Elektrotlar ile basıncın uygulandığı ve kaynak akımının verildiği ilk an arasındaki süredir. Bu süre üst elektrot tutucunun üst elektrotu iş parçasıyla temas haline getirmesi ve elektrot kuvvetinin tamamını uygulaması için zaman sağlar (Akyol, 2001).

2. Kaynak süresi: Kaynak akımının tatbik edildiği süredir.

3. Tutma süresi: Kaynak akımının devreden çıkmasından sonra, ergimiş kaynak metali katılaşana kadar elektrodlara uygulanan basıncın sürdürüldüğü zaman aralığıdır.

4. Ölü süre: Tutma süresinden sonra bir sonraki çevrime başlanması için geçirilen süredir.

Şekil 2.6.a tek impulsu direnç nokta kaynağı çevrimi için bu dört temel süreyi göstermektedir. Her aralık periyot olarak gösterilmektedir. 50 Hz’lik bir şebeke için bir periyot 1/50 s’dir (Erik, M., 2010).



Şekil 2.6. Direnç nokta kaynağı çevrimleri (Erik, M., 2010).

En basit kaynak çevrimi, kaynak aralığı boyunca, düzgün kaynak akımı ve elektrot kuvveti sağlamakla birlikte, eğim kontrolünün eklenmesi kaynak akımının değiştirilebilmesine olanak tanır. Şekil 2.6.b’de gösterildiği gibi, eğim kontrolüne sahip bir kaynak çevriminde akım, kaynaktan önce artmakta, kaynaktan sonra da azalmaktadır (Erik, M., 2010).

3 mm’den daha kalın sacların kaynağı için gerekli olan yüksek kaynak akımları ve uzun kaynak süreleri, elektrotların aşırı ısınmasına neden olabilir. Bu ısınma, Şekil 2.6.c’de görüldüğü gibi, akımı kaynak zamanı boyunca darbeli olarak uygulamakla minimize edilebilir (Erik, M., 2010).

Bir kaynak çevrimine eklenebilecek diğer iki eleman dövme ve sonradan tavlama (Şekil 2.6.d). Sonradan tavlama boyunca elektrot kuvveti Şekil 2.6.d’de gösterildiği gibi arttırılabilir. Bu artan kuvvet dövme kuvveti adını alır ve sonradan tavlama ve tutma süreleri boyunca uygulanır. Kaynak kuvveti çoğunlukla sonradan tavlama akımı uygulanana kadar elde edilmekte ve tavlama sonrası dövme kuvvetine çıkarılmaktadır (Erik, M., 2010).

2.7. Kaynak Değişkenleri

Kaynak kalitesini etkileyen ana değişkenler aşağıdaki gibidir.

1. Elektrotların malzemesi ve boyutları
2. Kaynak akımı
3. Kaynak zamanı
4. Elektrot kuvveti
5. İş parçasının malzemesi
6. İş parçasının yüzey durumu
7. Kaynaklı noktalar arasındaki mesafenin ısınma üzerine etkisi

2.7.1. Elektrotların malzemesi ve boyutunun kaynak kalitesine etkisi

Elektrotlar yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine ve düşük temas direncine sahip olmalıdır. Ayrıca, yüksek kaynak kuvvetlerine mukavemet gösterebilecek dayanıklılığa sahip olmalıdır (Aslanlar, S., 2016).

Aynı bileşimde ve kalınlıktaki parçalar kaynak edildiğinde, elektrotların uç çapları aynı olmalıdır. Kaynak edilecek parçaların kalınlıklarının farklı olması durumunda, elektrotun çapının uygun ısı dengesinin sağlayabilecek büyüklükte olması gerekebilmektedir (Aslanlar, S., 2016).

Elektrik nokta direnç kaynağında kullanılan en temel elektrot alaşımları ve özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Direnç kaynağında kullanılan elektrot alaşımları (Aslanlar, S., 2016).

Alaşım	Brinel Sertliği	İletkenlik (%Cu)	Yumuşama Sıcaklığı (°C)	Kullanıldığı Yer
Bakır (soğuk çekme)	95	90	150	Aluminyum
Tellür-Bakır	100	90	175	Aluminyum
Kadmiyum-Bakır	110	85	250	İnce yumuşak çelik sac
Krom-Bakır	150	80	500	Tüm çelikler
Tungsten-Bakır	200-300	30	1000	Çelik ve bakır alaşımları

Genellikle, alaşımın sertliğinin artması, elektriksel ve ısıl direncini arttırır. Elektrotların Şekil ve boyutları da kaynak yapılacak iş parçalarının tipine, Şekil ve boyutlarına göre belirlenmektedir. En çok kullanılan elektrot tipleri, kesik koni uçlu ve küresel tiplerdir (Aslanlar, S., 2016).

Bu çalışmada krom-bakır alaşımlı kesik koni uçlu elektrotlar kullanılmıştır. Kaynak sayısı artıkaa zamanla bozulan elektrot ucu mekanik zımparalama ve fırçalama yöntemi ile düzeltilmiştir.

2.7.2. Kaynak akımı

Aşağıda formülü verilen Joule yasasına göre ısıya etki eden en önemli faktör kaynak akımıdır.

$$Q = VxIx t = IxIxRxt = I^2xRxt$$

Kaynak ekirdeği büyüklüğü kaynak akımıyla birlikte artmaktadır ve kaynak akımı az olursa ısıtılan bölge yine genişlemektedir. Kaynak akımı fazla olursa ark ve çatlaklar oluşabilir (Otomotivsanayi, 2018).

2.7.3. Kaynak zamanı

Isı, kaynak zamanı ile doğru orantılı olarak hareket etmektedir. Kaynak süresinin az olması kaynaklı parçalarını birbirine tutunmamasına neden olurken, kaynak süresinin uzun olması, kaynak bölgesinin bozulmasına sebep olur ve malzeme üzerinde deformasyonlara yol açar (Otomotivsanayi, 2018).

Joule yasası formülüne göre elektrik nokta direnç kaynağında en önemli iki değişken kaynak akımı ve kaynak zamanıdır. Çalışmada bu iki değişkenin kaynak üzerinde etkisini incelenmiştir.

2.7.4. Elektrot kuvveti

Elektrot (kaynak) kuvveti, elektrot tarafından kaynak edilecek parçalara, kaynak çevrimi boyunca uygulanan kuvvettir. Genellikle, statik bir kuvvet olarak ölçülüp ifade edilir, ancak kaynak sırasında dinamik bir kuvvettir (Aslanlar, S., 2016).

Elektrot kuvvetinin az olması, parçalar arası direnci yükselteceğinden akım geçişi ile patlamalara neden olurken, çok yüksek olması temas yüzeyini arttıracığı için ısı transferini azaltacaktır.

2.7.5. İş parçasının malzemesi

Malzemenin özdirenci, ısı transferi göz önüne alındığında ısı iletkenlik ve kapasite açısından önemli bir parametredir. Düşük özdirence sahip malzemeler kullanıldığında akımın hızla geçişi düşük ısı yaratacaktır ve bu metallerin kaynağı tahmin edilene göre daha zor yapılacaktır. Ancak düşük özdirence sahip malzemeler, çok iyi elektrot malzemeleri olmaktadır.

Farklı özdirence sahip metallerde kaynak yapılmak istendiğinde, yüksek özdirence sahip malzeme özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Sert metallerin kaynağı esnasında metaller daha zor deforme olacaktır. Bu neden temas direnci artacak ve gerekli olduğu düşünülen teorik kuvvetten daha fazlası gerekecektir.

2.7.6. İş parçasının yüzey durumu

Yüzey kaplamaları çoğunlukla malzemeyi korozyon ya da diğer tepkimelerden korumak için yapılır. Bu tür kaplamalar da direnç kaynağını daha zor yapılabilir hale getirmektedir. Ayrıca, kaynaklanacak iş parçalarının temas yüzeyleri mutlaka temizlenmiş olmalıdır. Elektrotlara gelebilecek tüm pas ve oksit gibi maddelerin ortamdan uzaklaştırılması elektrot ömrünü arttıracaktır.

2.7.7. Kaynaklar arasındaki mesafe

Önceden yapılmış olan eski nokta kaynağına yakın başka bir nokta kaynağının yapılması, sistemde paralel devre oluşmasına neden olacaktır. Bu nedenle nokta kaynakları arasındaki minimum mesafe (adım) elektrot ucunun ve kaynak çekirdeğinin çapını tayin eden kaynak edilen parçaların kalınlığına bağlı olarak değişecektir.



3. PASLANMAZ VE GALVANİZLİ ÇELİKLER

3.1. Paslanmaz Çeliklerin Genel Özellikleri

%12'den fazla Krom ve aynı zamanda bir miktar Nikel içeren çeliklere genel olarak paslanmaz çelik adı verilir. En önemli özellikleri korozyon direncinin yüksek oluşudur.

Paslanmaz çelik alaşım elementleri; krom, nikel, molibden, azot, bakır, fosfor, kükürt, silisyum ve alüminyum, niyobyum ve titanyumdur (Sakarya, 2018)

Krom oranı korozyon direncini artırır ancak bu durumun olumsuz etkisi paslanmaz çeliğin kaynak edilebilirliğinin azalmasıdır. Aynı zamanda malzemenin mekanik özelliklerinde de kötüleşme görülür. Krom esas olarak krom karbür oluşumunu engellemek için kullanılır.

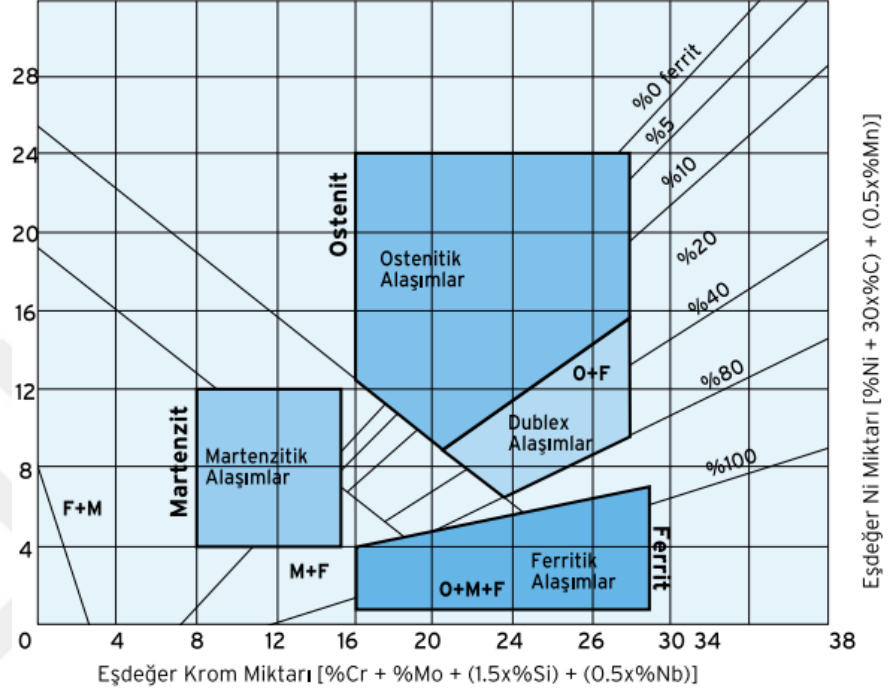
Nikel oranının %10'u geçmesi durumunda çeliğin gerilmeli korozyon dayanımı düşmekte ve bu oranının %30'a çıkmasıyla gerilmeli korozyon dayanımı tekrar eski haline dönmektedir (Sakarya, 2018).

Molibden, oksit tabakasının pasiflik özelliğini kuvvetlendirme; Azot, pullanma korozyon direncini ve mekanik özellikleri iyileştirme; Bakır, sülfirik asite karşı direnci artırma amacıyla kullanılmaktadır. Silisyum ve alüminyum, yüksek sıcaklık oksidasyon direncini arttırmak amacıyla çeliğe eklenmektedir (Sakarya, 2018). Fosfor, çeliğin akma ve çekme dayanımını arttırmakta ancak süneklik özelliklerini kötüleştirir. Kükürt, akma ve çekme mukavemetine etkisi yok denecek kadar azdır. (Ataçelik, 2018). Titanyum ve niyobyum tane küçültücü etkisinden dolayı çeliğe ilave edilir böylelikle Krom karbürün olumsuz etkisi azaltılır (Ataçelik, 2018).

3.2. Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çeliklere farklı kimyasal maddeler eklenerek, farklı mekanik özelliklerdeki alaşımlar elde edilir. Kaynaklı birleştirmenin kullanım alanına göre gerekli olan mekanik özellikler tespit edilerek paslanmaz çelik malzemesi buna göre seçilmelidir.

Genel olarak paslanmaz çelikler, ferritik, martenzitik, ostenitik, ferritik-ostenitik (dubleks) ve çökeltme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar olmak üzere 5 ana grupta toplanır. Eşdeğer krom ve nikel miktarına göre paslanmaz çeliklerin sınıflandırılması Şekil 3.1’de gösterilmiştir (Temel; Aran, 2004).



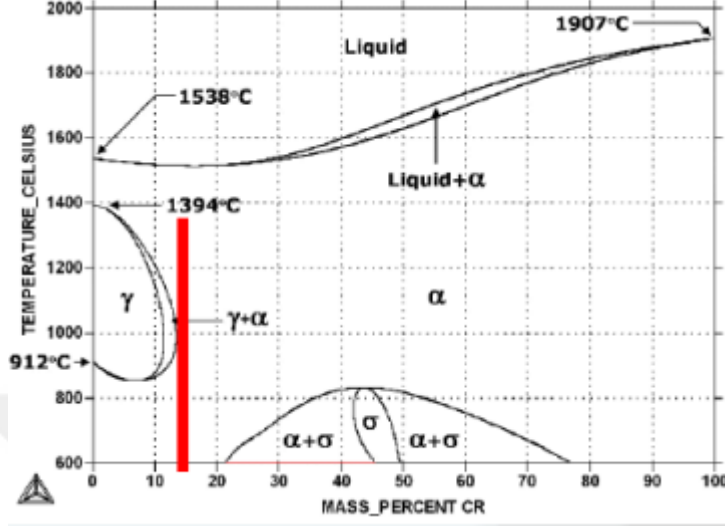
Şekil 3.1. Schaeffler diyagramı (Temel; Aran, 2004)

3.2.1. Ferritik paslanmaz çelikler

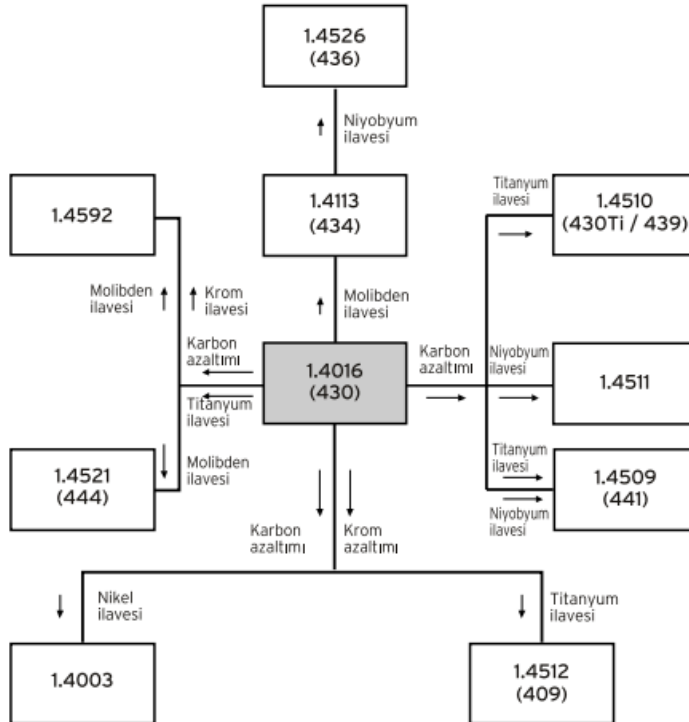
Ferritik paslanmaz çelikler düşük karbonlu ve %12 - 18 krom içeren paslanmaz çeliklerdir. Yüksek korozyon dayanımına sahiptir ve bu özelliği krom miktarı artırılarak iyileştirilebilir. Aynı zamanda korozyon özelliklerini iyileştirmek için Mo, Si, Al, Ti, Nb ilave edilirken, talaşlı işlemeyi kolaylaştırmak için ise S, Se ilave edilebilir (Sakarya, 2018).

Manyetik özelliktedirler ve kaynak edilebilme kabiliyetleri neredeyse yoktur. Ostenitik çelikler kadar kolay şekillendirilemezlerken, bunlara göre paslanmazlık özelliği daha düşük olduğu için bu özelliğinin aşırı önemli olmadığı alanlarda kullanımı daha yaygındır (Temel; Aran, 2004).

Şekil 3.2'deki Demir ve Krom denge diyagramından da görüleceği gibi ostenit fazı en çok yaklaşık %10 krom çözebilir. Bahsedilen orandan fazla krom olması ferritik yapılı paslanmaz çelikleri oluşturur (Sakarya, 2018).



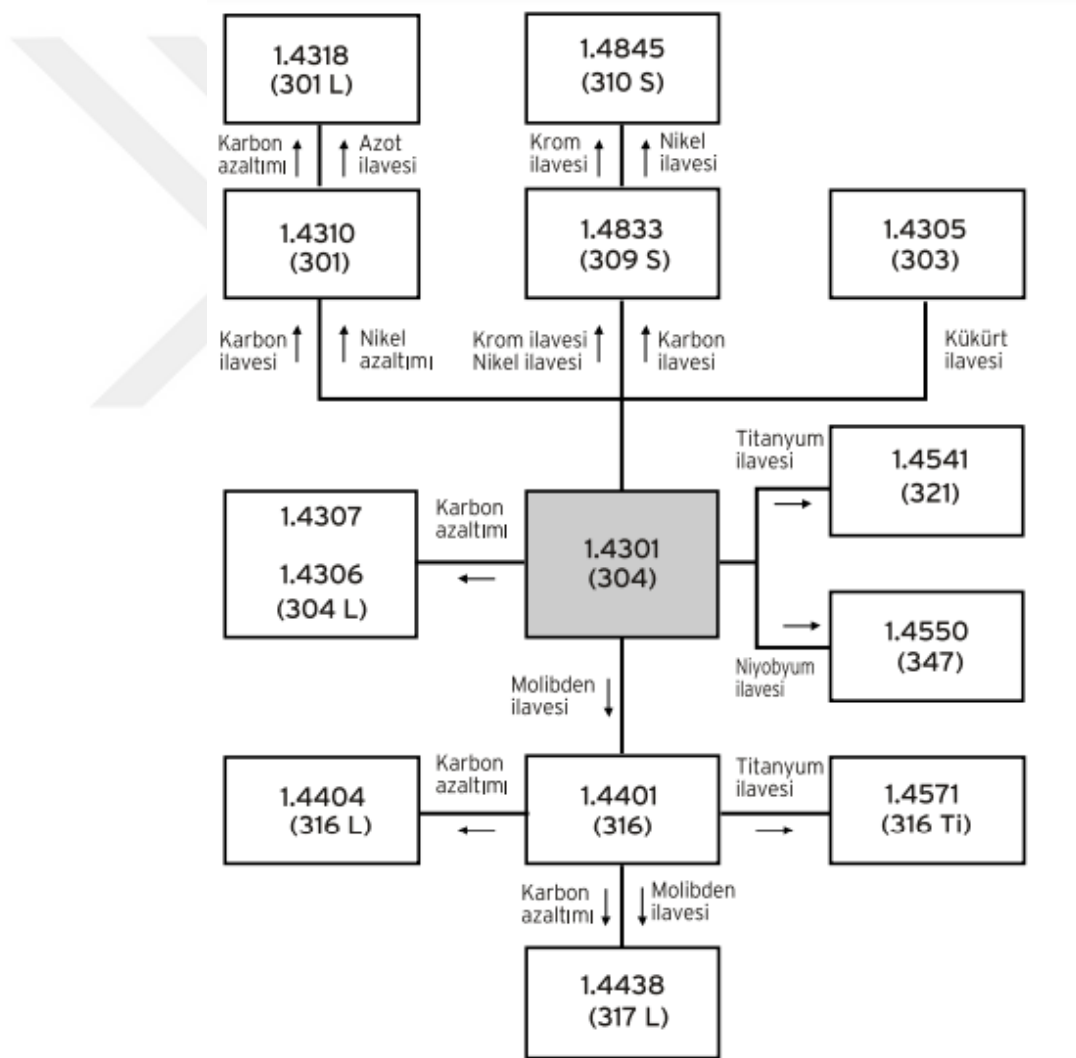
Şekil 3.2. Demir-krom denge diyagramı, σ : metallar arası FeCr bileşiği, α : ferrit, γ : östenit (Sakarya, 2018)



Şekil 3.3. Ferritik paslanmaz çelikler (Temel; Aran, 2004)

3.2.2. Ostenitik paslanmaz çelikler

Yeterince nikel bulunan paslanmaz çeliklerin iç yapısı oda sıcaklığında daha ostenitiktir. Ostenitik çeliklerin kimyasal bileşimlerinde %18 Krom ve %8 Nikel bulunmaktadır. Ostenitik paslanmaz çelikler, şekil verme, korozyon direnci ve mekanik özellikleri göz önüne alındığında en optimum alaşım olarak kabul edilerek çok yaygın kullanım alanları vardır. Hem düşük hem de yüksek sıcaklıklarda şekil verilebilirliği ve tokluğu çok iyidir. Tavlanmış halde manyetik olmayan bu alaşımların dayanımları sadece pekleşme ile artırılabilir (Temel; Aran, 2004).

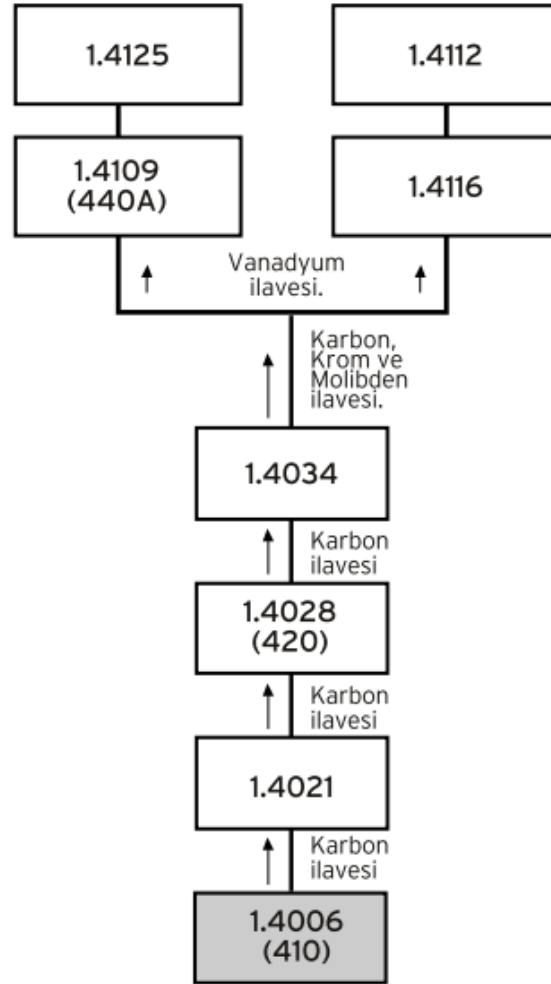


Şekil 3.4. Ostenitik paslanmaz çelikler (Temel; Aran, 2004)

3.2.3. Martenzitik paslanmaz çelikler

Karbon miktarı % 0,1 den fazla olan çeliklerin ostenitleme sıcaklığı cinsine göre 950-1050 °C arasındadır. Bu sıcaklıklar arasında bulunan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Martenzitik iç yapı ile beraber mekanik dayanım özellikleri iyileşir ve çok sert bir malzeme elde edilir (Temel; Aran, 2004).

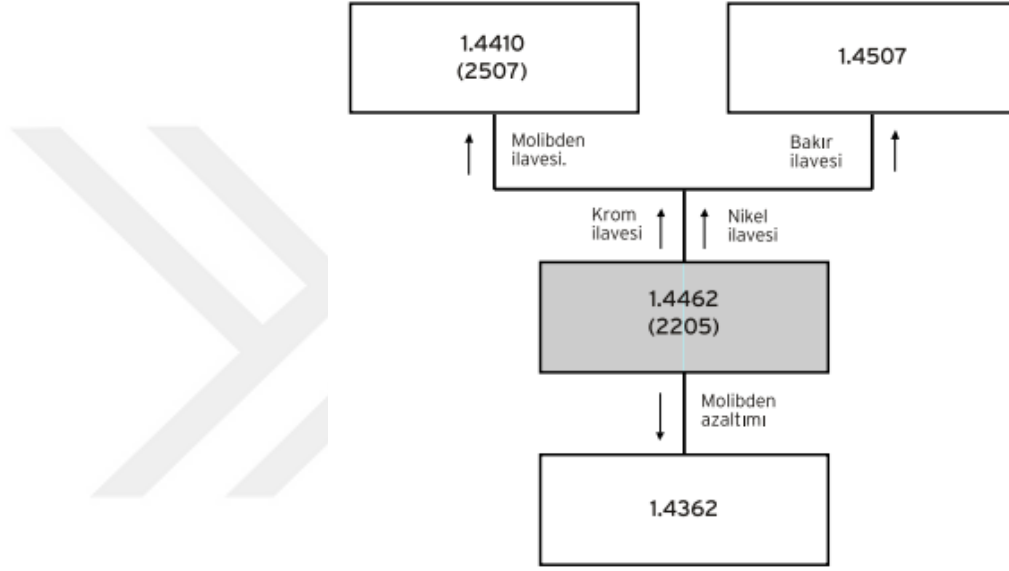
Bu tipteki çeliklerin korozyon dayanımı ortalama seviyededir. Daha yüksek bir sertlik ve dayanım için ısıl işlem uygulanmalıdır. Kaynaklanma kabiliyetleri düşük olup manyetik yapıdadırlar (Temel; Aran, 2004).



Şekil 3.5. Martenzitik paslanmaz çelikler (Temel; Aran, 2004)

3.2.4. Dupleks (ostenitik-ferritik) paslanmaz çelikler

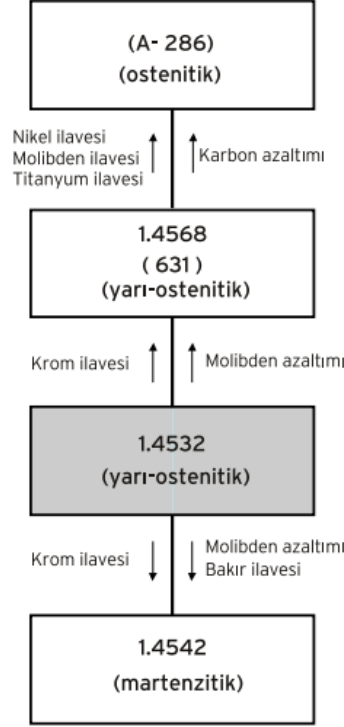
Dupleks (ostenitik-ferritik) paslanmaz çeliklerde Krom oranı %18-28 arasında iken Nikel oranı %4-8 arasındadır. Nikel oranı ostenitik yapı olmak için yetersiz olduğundan bu tip çelikler hem ostenitik hem de ferritik yapıya sahiptirler. Böylelikle çok yüksek mukavemet ve süneklik özelliklerini barındırır. Aynı zamanda çok iyi kaynak edilebilirler ve yüksek şekillendirilebilme özelliğine sahiptirler (Temel; Aran, 2004).



Şekil 3.6. Dupleks paslanmaz çelikler (Temel; Aran, 2004)

3.2.5. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler

Bu tipteki çelikler ostenitik, yarı-ostenitik veya martenzitik içyapıya sahip olabilirler. Çökelti oluşumu için Alüminyum, Titanyum, Bakır ve Nikel elementleri ile alaşımlanırlar. Böylelikle dayanımları yüksek paslanmaz çelikler elde edilebilir. Korozyon dayanımları çok yüksek olup aynı zamanda manyetik yapıdadırlar (Temel; Aran, 2004).



Şekil 3.7. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler (Temel; Aran, 2004)

Bu çalışma için, ostenitik 304 ve ferritik 430 kalite paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır.

3.3. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan ostenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti işlenecektir.

3.3.1. Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı

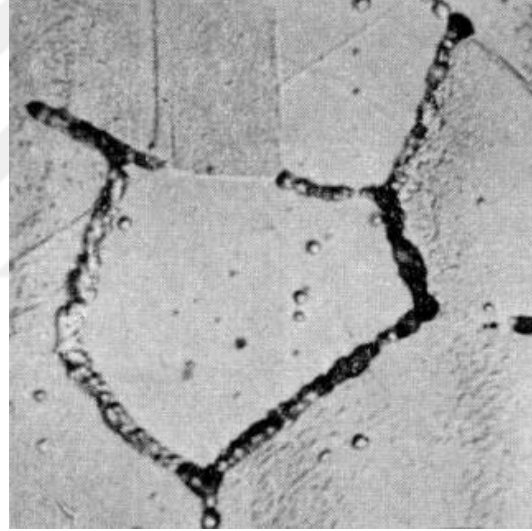
Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılabilecek temel sorunlar şöyledir; Krom karbür çökmesi, sıcak çatlak oluşumu, sigma fazı oluşumu ve delta ferrit oluşumu (Odabaş, C., 2007).

3.3.1.1. Krom karbür oluşumu

Oda sıcaklığındaki karbonun difüzyon hızı çok düşüktür. Bu sebeple, oda sıcaklığında krom karbür oluşmaz. Ancak kaynak sıcaklığı 450 °C'nin üzerine çıktığı zaman difüzyon hızının artmasıyla beraber karbon tane sınırları boyunca

birikmeye başlar. Karbon ve Krom'un çok çabuk tepkimeye girmesi sebebiyle tane sınırları boyunca kimyasal tepkime oluşarak krom karbür oluşumu meydana gelir. Krom karbür'ün kimyasal formülü $(Fe,Cr)_{23}C_6$ olduğu için krom karbür oluşumuyla malzeme içerisindeki krom oranı aşırı derecede düşer. Bu durum, malzemenin korozyon dayanımını azaltacaktır. Korozyon dayanımı azalan malzeme zamanla kullanılamaz duruma gelebilir.

Bu durumu önlemek için düşük karbonlu çelikler kullanılabilir. Aynı zamanda kaynak işleminden önce ön tav uygulaması yapılmamalıdır. Bir diğer yöntem de kaynak esnasında Bakır altlık kullanımıyla kaynak bölgesinin hızlı soğumasının sağlanmasıdır. Ayrıca çok pasolu kaynak yerine, tek pasolu kaynak tekniği tercih edilmelidir (Sakarya Üniversitesi, 2018).



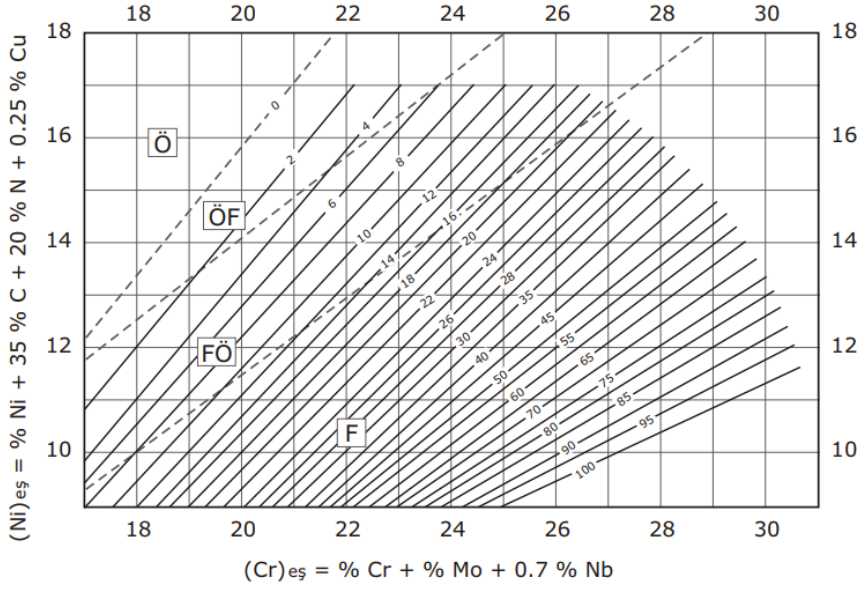
Şekil 3.8. Tane sınırlarında oluşan krom karbür çökeltmesi (Odabaş, C., 2007).

3.3.1.2. Sıcak çatlak oluşumu

Sıcak çatlak oluşumu, malzemenin kolay işlenmesini sağlayan Kükürt ve Fosfor gibi elementlerin tane sınırlarında toplanma eğilimidir. Bu iki elementin ergime sıcaklığı çok düşüktür ve bu nedenle kaynak esnasında IEB bölgesinde buluyorlarsa kaynaktan sonra uygulama bölgesi soğurken gerilme sebebiyle çatlak oluşumu gözlemlenir.

Sıcak çatlak oluşumunun engellenmesi için malzeme mikro yapısı ferrit olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bir diğer yöntem de Fosfor ve Kükürt miktarı

düşük malzeme seçimidir. Ancak bu durum, pahalı malzeme kullanımına sebep olmaktadır. Problemin engellenmesi amacıyla ferrit iç yapı miktarının en az % 4 olması önerilmektedir. Ferrit iç yapı miktarı Schaeffler diagramı kullanılarak tespit edilebilir. Günümüzde bu diagram Azot etkisinin hesaba katılmaması nedeniyle yerini Şekil 3.9.'da gösterilen WRC-DeLong diagramına bırakmıştır.



Şekil 3.9. WRC Diyagramı (Odabaş, C., 2007)

Kabul edilen bu en son diyagramda krom ve nikel eşdeğerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır (Odabaş, C., 2007).

$$(Cr)_{eş} = \%Cr + \%Mo + 0.7 \%Nb$$

$$(Ni)_{eş} = \%Ni + 35 \%C + 20 \%N + 0.25 \%Cu$$

3.3.1.3. Sigma fazı oluşumu

Sigma fazı malzeme içerisinde çok gevrek bir yapı oluşmasına sebep olmaktadır. Sigma fazı genellikle 550-950°C arasında oluşur. Sigma fazının iç yapısı incelendiğinde içerisinde yaklaşık olarak % 50 krom ve % 45 demir içerdiği tespit edilmiştir. (Sakarya Üniversitesi, 2018), (Odabaş, C., 2007).

Sigma fazı genellikle ferritik paslanmaz çeliklerde görülürken aynı zamanda Nikel oranı %10'dan az ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde de görüldüğü tespit edilmiştir (Sakarya Üniversitesi, 2018).

Sigma fazının önlenmesi amacıyla, malzeme üzerine ısıl işlem uygulamasının yapılması tavsiye edilir. 900-1100 °C sıcaklık aralığında yapılan ısıl işlem ferrit miktarını azaltacağından Sigma fazı giderilmiş olur. Aynı zaman, malzeme iç yapısı %7'den az oranda ferrit içerecek şekilde seçilirse yine bu fazın önüne geçilebilmektedir.

3.3.1.4. Delta ferrit

Delta ferrit fazı, sıcak şekillendirmeyi zorlaştırması ve çatlak oluşturma riskine sahip olması sebebiyle, paslanmaz çeliklerde arzu edilmeyen bir fazdır. Bu durum sert ve gevrek sigma fazı oluşmasını sağlayarak malzeme dayanımını azaltır ve malzemenin şekil verilebilirliğini zorlaştırır (Sakarya Üniversitesi, 2018).

3.3.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağı

Ferritik paslanmaz çelikler 950°C'nin üzerinde tane büyümesine eğilimlidir bu da tokluğu sebep olmaktadır. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağının düşük ısı girdisi ile yapılması tavsiye edilir. Aynı zamanda ferritik paslanmaz çelik kaynağında dolgu materyali ile kaynak metalinin aynı veya yakın yapıda seçilmesine özen gösterilmelidir.

3.4. Galvanizli Çelikler

Galvanizli çeliğin kaynak gereksinimleri galvanizlenmemiş çelikte olduğu gibi aynıdır. Yaygın olarak kullanılan çelikler üzerinde yapılan testler, kaynaklı veya kaynaklı çeliğin galvanizlenmesi sonucunda mekanik özelliklerinde kayda değer bir değişiklik olmadığını göstermiştir (Telepati, 2018).

Kaynak işleminde sırasında dikkat edilmesi gereken en temel özellik yüksek sıcaklıkta Çinko'nun buharlaşması ve malzemenin oksitlenmeye açık hale gelmesidir. Bu durum düşük kaynak hızı ve oluşan asit buharının ortamdan

uzaklaştırılmasıyla giderilir. Bu tip çeliklerin kaynağı için doru elektrot seçimi önemlidir.

3.5. Galvanizli eliklerin Kaynak Kabiliyeti

Galvanizli elikler en uygun elektrik nokta direnç kaynağı ile kaynak edilebilirler. Kaynak işlemi sırasında çinko kaplamanın olumsuz etkisi biliniyorsa kaynak operatörü çok ciddi bir sorunla karşılaşmaz.



4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyselerde Kullanılan Malzemelerin Genel Özellikleri

Çalışmada 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik, 430 kalite ferritik paslanmaz çelik ve galvaniz kaplama çelik kullanılmıştır.

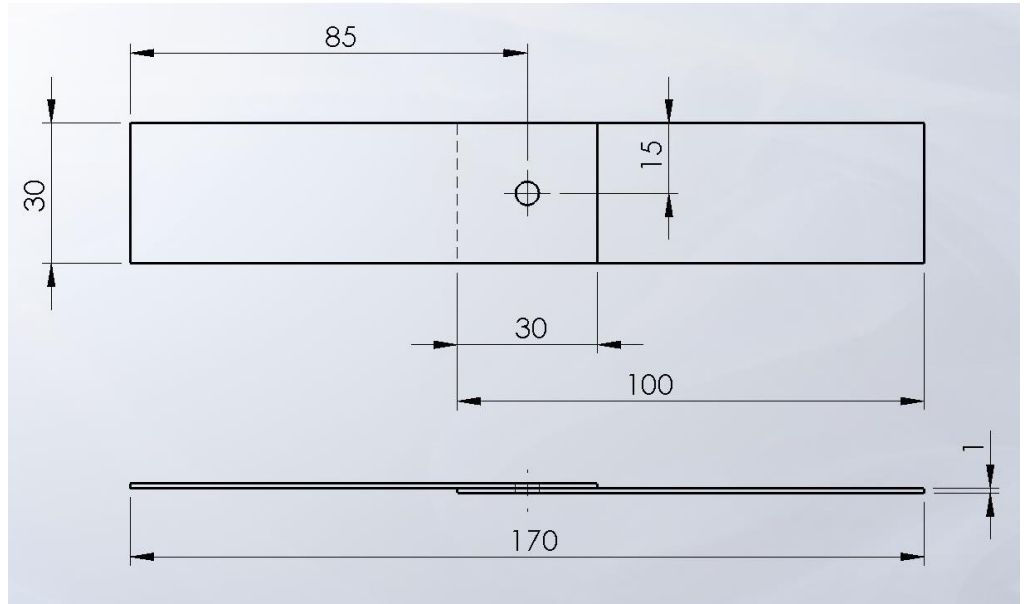
Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyselerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri

	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%N	%Ti	%Cu	%Al
430 Kalite Paslanmaz	0.038	0.25	0.21	0.027	0.001	16.34	0.5	0.045	0.039	0	0.12	0
304 Kalite Paslanmaz	0.053	1.025	0.403	0.031	0.005	18.13	8.1	0.12	0.395	0	0.239	0
Galvaniz	0.043	0.203	0.01	0.005	0.009	0	0	0	0	0.002	0	0.046

4.2. Deney Parçalarının Boyutları

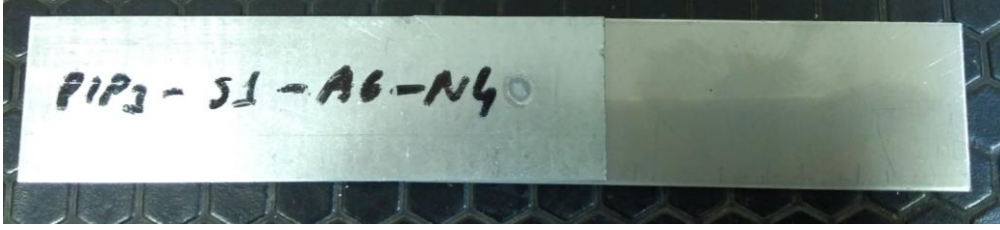
Deneyselerde 1 mm kalınlığında saclar kullanılmıştır. Deney parçalarının boyutları mm cinsinden Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney parçalarının boyutları

Deney parçalarının boyutları, yapılacak deneyler gözönünde tutularak, kaynak bölgesinin en uygun şekilde incelenmesi ve bu incelemeyi yaparken minimum malzeme kullanılması esas alınarak belirlenmiştir.

Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş örnek numune Şekil 4.2’te verilmiştir.



Şekil 4.2. Direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş örnek numune

4.3. Deney Parçalarının Hazırlanması

Deney parçaları Şekil 4.2.’de gösterilen boyutlarda lazer punch makinasında kesildikten sonra yüzeylerindeki kir, yağ vb yabancı maddeler alkollü temiz bir bez yardımıyla temizlenmiştir.

4.4. Kaynak Makinası

Deney numunelerin nokta direnç kaynağı, 20 kVA gücünde Tecna marka TE-90 kontrol ünitesine sahip kaynak akımı ve kaynak süresi değişkenlerinin ayarlanabildiği, tek kollu ve pnömatik basma donanımlı makinayla gerçekleştirilmiştir.

Deneyle sırasında sıkıştırma ve tutma süresi sabit 25 periyot olarak alınmıştır. Aynı zamanda elektrot kuvveti makinanın çıkabileceği maksimum kuvvet olan 2.4 kN değerinde sabitlenmiştir.

Değişken değerler olan kaynak süresi ve kaynak akımı kontrol ünitesinden ayarlanmış ve kontrol ünitesi ekranından bu değerler okunup kayıt altına alınmıştır.

Şekil 4.3.'te deneyler sırasında kullanılan Tecna marka kaynak makinesi gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan kaynak makinesi

4.5. Elektrotlar

Deneylerde kesik koni uçlu, uç çapı 5 mm olan elektrotlar kullanılmıştır.

Deneyler sırasında kullanılan elektrotlar Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan elektrotlar

4.6. Deneylerin Yapılışı

4.6.1. Kaynak işlemleri

Deney parçaları Şekil 4.1’de gösterilen boyutlarda kesilip temizlendikten sonra sırasıyla 430 kalite paslanmaz çelik, 304 kalite paslanmaz çelik ve galvanizli çelik çiftlerine ait saclar hem kendi aralarında hem de birbirileri ile 30 mm’lik kısımları üst üste bindirilerek orta noktalarından kaynatılmıştır.

Elektrot kuvveti 2.4 kN olarak sabit tutulmuştur ve bu değerin sabit tutulduğu kaynak makinasına ait elektronik ekrandan gözlemlenmiştir.

Kaynak süreleri sırasıyla 5, 15 ve 25 periyot olarak değiştirilmiştir.

Sıkıştırma ve tutma süreleri 25 periyot olarak sabit tutulmuştur.

Kaynak akım şiddeti 7 kA değerinden başlatılarak 17 kA değerine kadar 1 kA aralıklarla arttırılmıştır.

Yukarıda anlatıldığı gibi önceden belirlenen sabit değerler ve değişkenler gözönüne alınarak her deney koşulunda 4 çift parça kaynatılmıştır. İlk 3 çift numuneye çekme makaslama deneyi uygulanmıştır. Uygulanan çekme makaslama deneyleri incelenmiş ve mikroyapısı incelenecek numunelere karar verilmiştir. 4.çift numunelerin ise elektron mikroskopu ile kaynak bölgesi tane sınırları incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. 4.çift numuneler mikroyapıları incelendikten sonra, Vickers sertlik deneyine tabi tutulmuştur. Vickers sertlik deneyi ve elektron mikroskopu ile mikroyapı inceleme, çekme-makaslama deneyi sonrası belirlenen 18 numuneye uygulanmıştır.

Toplamda 594 numune çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuş, 18 numunenin sertlik ölçümü yapılmış ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir.

4.6.2. Çekme-makaslama deneyi

Elektrik noktra direnç kaynağı ile birleştirilen numuneler, 100 kN kapasiteye sahip Shimadzu marka universal çekme makinasında çekme-

makaslama deneyine tabi tutulmuştur. Çekme-Makaslama deneyleri Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Biyomekanik Laboratuvarı 'nda uygulanmıştır.

Deneyler sırasında çekme hızı 10 mm/dk olarak bütün parçalarda sabit tutulmuştur.

Çekme-makaslama deneyi grafiklerinde sonuçları değerlendirmek için kullanılan değerler maksimum çekme-makaslama dayanımı ve maksimum yerdeğiştirmedir.

Çekme-makaslama deneyi sırasında kullanılan çekme makinası Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Çekme-makaslama deney düzeneği

Çekme-makaslama deneyi sırasında dört farklı tip kopma gözlemlenmiştir. Bunlar; ayrılma kopması, düğmeleme şeklinde kopma, yırtılma şeklinde kopma ve kaynak dikişiyile birlikte malzemenin yırtılması şeklinde tanımlanmaktadır. Farklı numunelere ait farklı kopma tipleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kopma türleri: a) Ayrılma kopması, b) Düğmeleme şeklinde kopma, c) Yırılma şeklinde kopma, d) Kaynak dikişiyile birlikte malzemenin yırtılması

4.6.3. Mikroyapının incelenmesi

Çekme-makaslama deneyi sonrasında incelenen numuneler arasından mikroyapısı incelenecek olan 18 adet kaynak çifti belirlendi. Seçilen numuneler daha rahat inceleme yapılabilmesi için kaynak çekirdeğinin ortasından kesilmiş ve soğuk kalıplama yöntemiyle polyestere gömülmüştür. Numuneler daha sonra, sırasıyla 800-1000-1200-2000 Mesh 'lik kaba ve ince zımparalama işleminden geçirilmiş ve parlatma diskinde 0,5 µm çaplı elmas solüsyonuyla parlatma işlemi yapılmıştır.

Parlatma işleminden sonra kaynak bölgesindeki tane yapısını incelemek amacıyla numunelerin dağlama işlemine geçilmiştir. En önce galvanizli çelik malzemelerin dağlaması yapılmıştır. Bunun için Nital2 ayraç (% 2 nitrik asit içeren etil alkol çözeltisi) kullanılmıştır.

Galvanizli çelik numunelerin tane yapısı incelendikten sonra 304 kalite ve 430 kalite paslanmaz çelik numunelerin tane yapısının incelenmesi için Vilella ayraç (100 ml etanol, 5 ml hidroklorik asit, 1 gr pikrik asit) kullanılmıştır.

Dağlama işleminden sonra numuneler, Canon marka ışık metal mikroskobu yardımıyla 5x, 10x ve 20x büyütmelemlerle Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Tahribatsız Muayene ve Kaynak Laboratuvarı 'nda incelenmiş ve fotoğraflanmıştır.

4.6.4. Vickers sertlik deneyi

Kaynaklı numunelerin esas metalindeki, kaynak metalindeki ve IEB bölgesindeki sertlik ölçümleri 0.5 mm aralıklarla yapıp sertlik dayanımları belirlenmiştir. Deneyler Ege Üniversitesi Biyomekanik Laboratuvarı 'nda uygulanmıştır. Deneylerden önce özel solüsyon yardımıyla numune yüzeyleri parlatma diskinde parlatılmıştır.

Şekil 4.7'de ölçüm sırasında kullanılan Shimadzu marka Vickers sertlik cihazı görülmektedir.



Şekil 4.7. Vickers sertlik deneyi düzeneği

5. DENEY SONUÇLARI

5.1. Çekme-Makaslama Deneyi Sonuçlarının İrdelenmesi

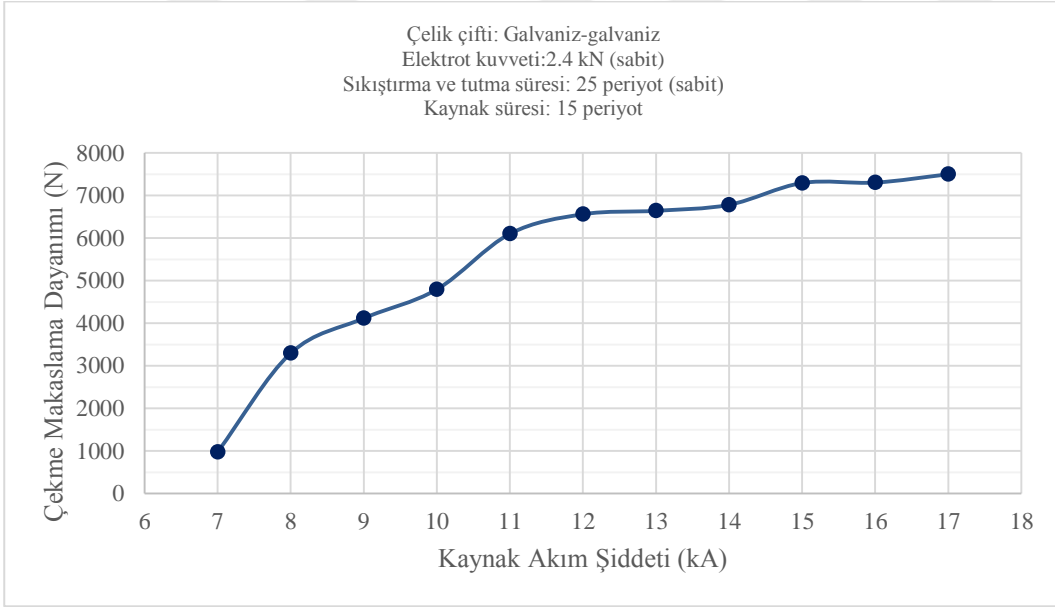
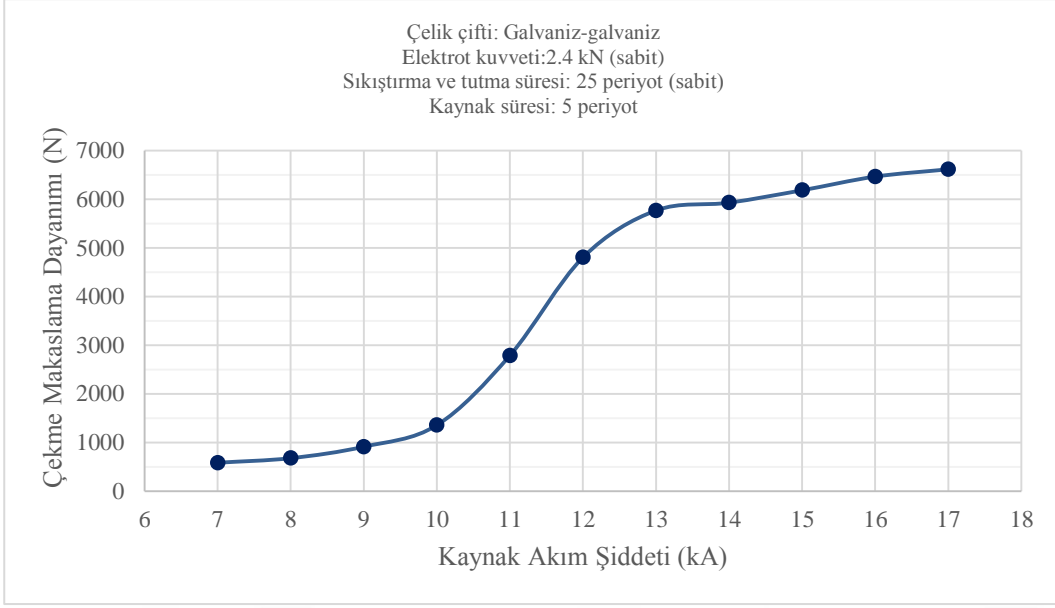
5.1.1. Kaynak akımının etkisi

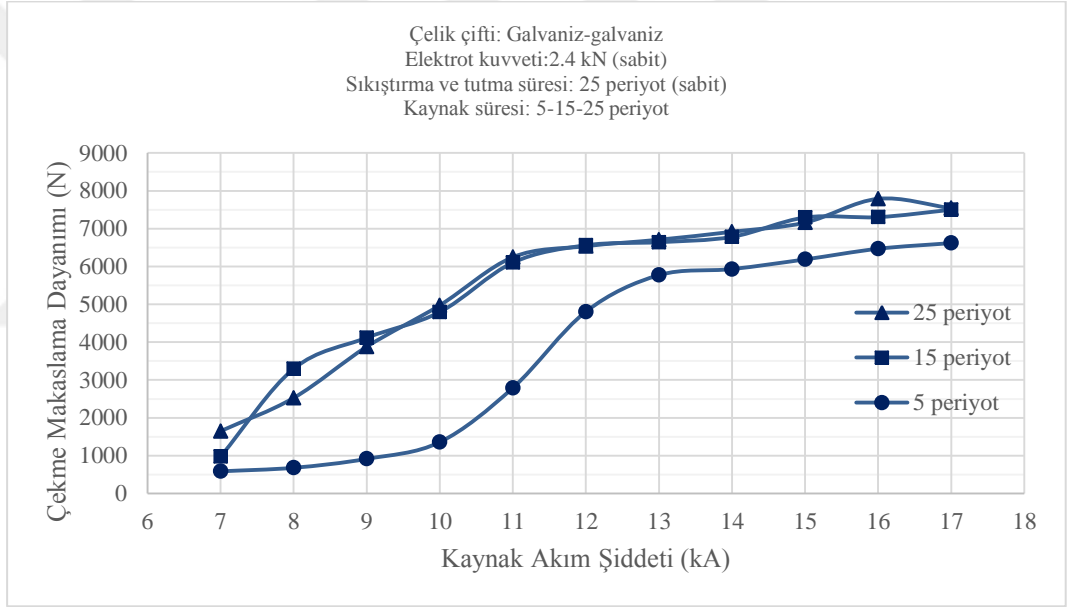
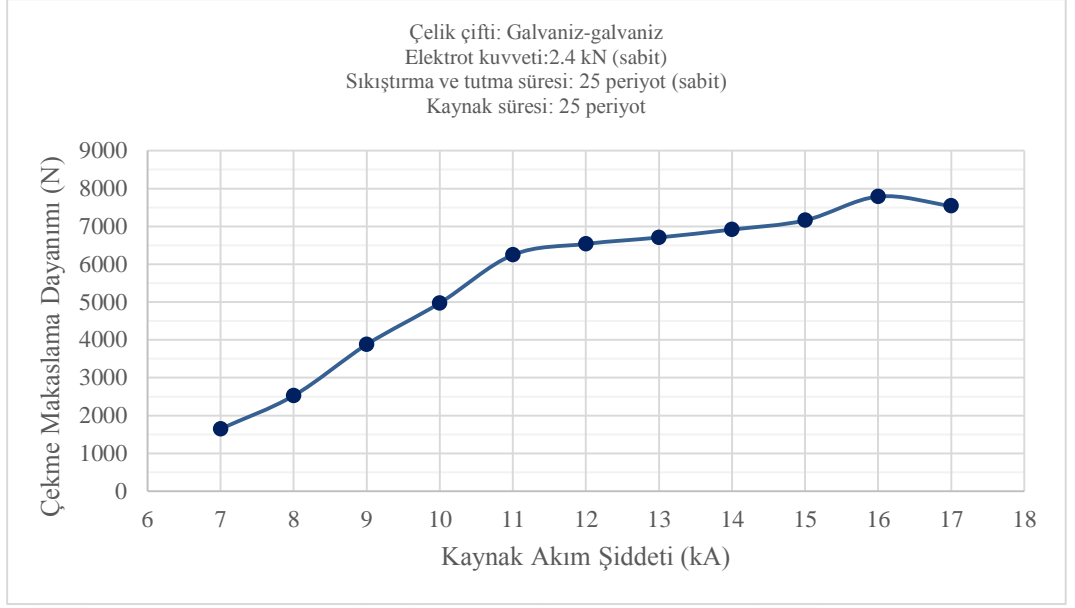
Deneylerde kullanılan 430 kalite paslanmaz çelik, 304 kalite paslanmaz çelik ve galvanizli çelik numunelerinin kaynak bağlantısında kaynak akımının etkisi Şekil 5.1-5.6'da verilen grafiklerde gösterilmiştir.

Numunelerin daha rahat takip edilip kayıt altına tutulabilmesi adına değişken değerler için kodlama sistemi kullanılmıştır. İlgili kodlama sistemi Çizelge 5.1'de verilmiştir.

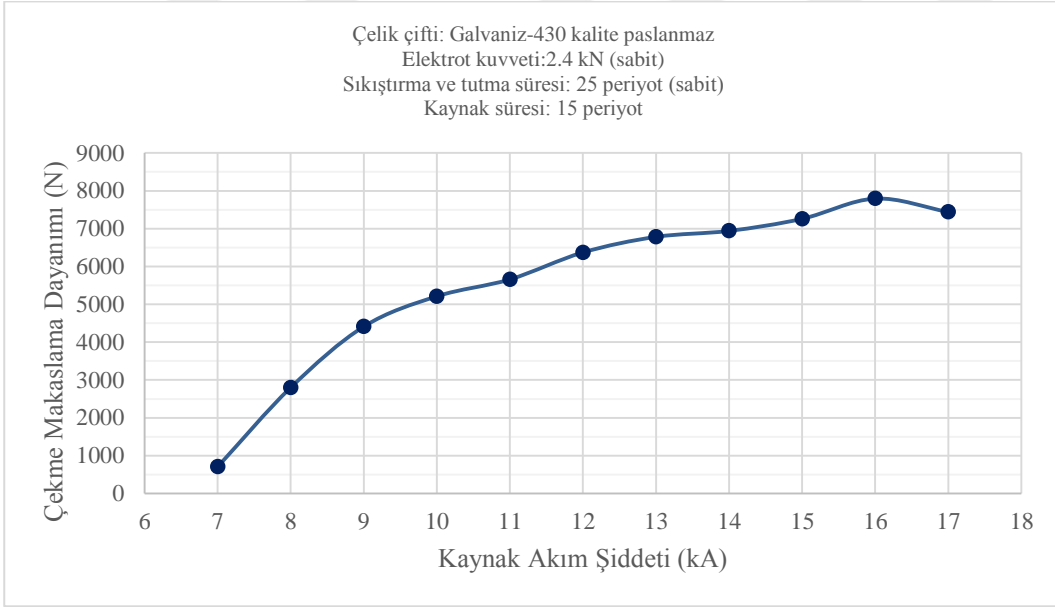
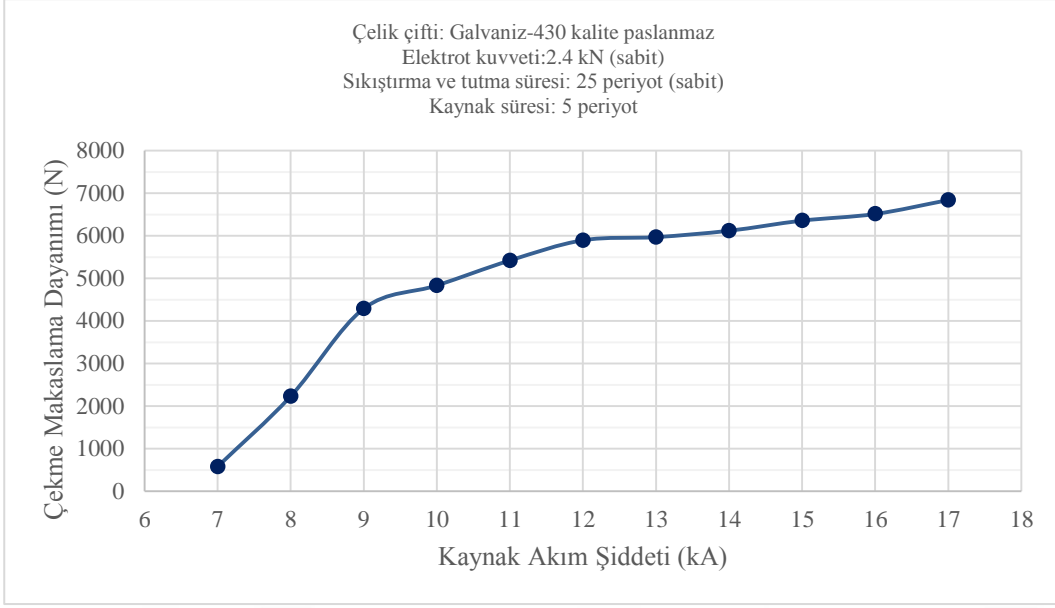
Çizelge 5.1. Numunelerin kodlama sistemi

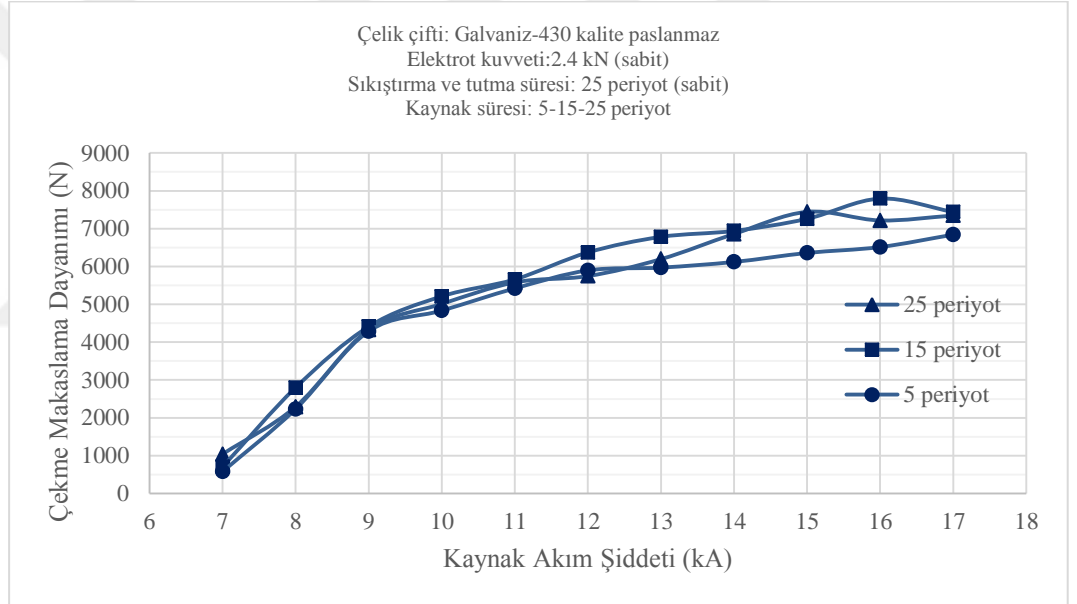
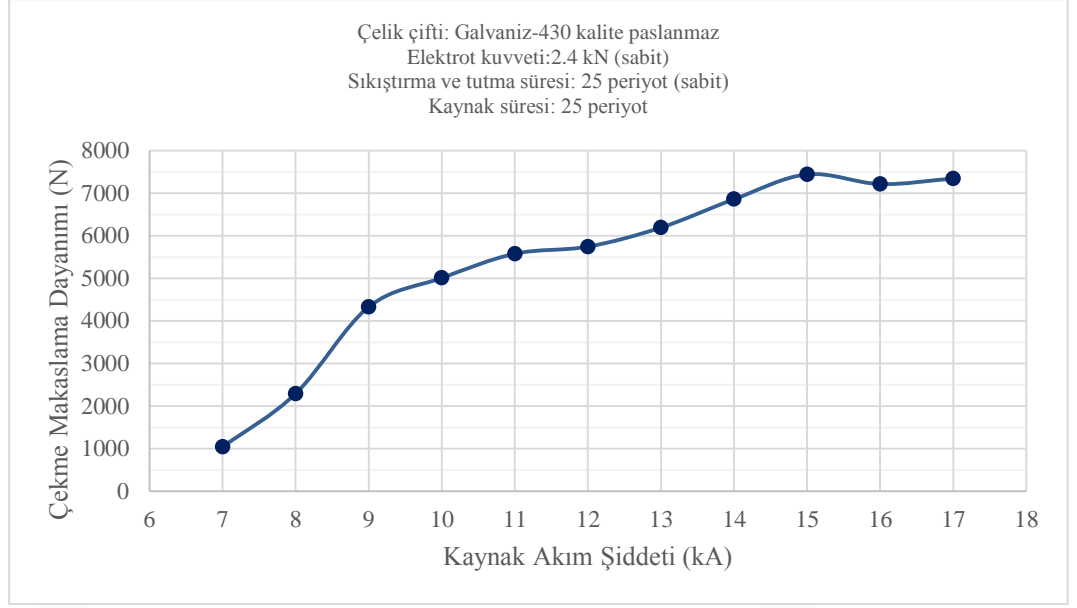
KODLAMA			
MALZEME	P1	GALVANİZ	
	P2	430 PASLANMAZ	
	P3	304 PASLANMAZ	
KAYNAK SÜRESİ	S1	5 PERİYOT	
	S2	15 PERİYOT	
	S3	25 PERİYOT	
KAYNAK AKIMI	A1	7 kA	35%
	A2	8 kA	40%
	A3	9 kA	45%
	A4	10 kA	50%
	A5	11 kA	55%
	A6	12 kA	60%
	A7	13 kA	65%
	A8	14 kA	70%
	A9	15 kA	75%
	A10	16 kA	80%
	A11	17 kA	85%
NUMUNE SAYISI	N1	NUMUNE 1	
	N2	NUMUNE 2	
	N3	NUMUNE 3	
	N4	NUMUNE 4	



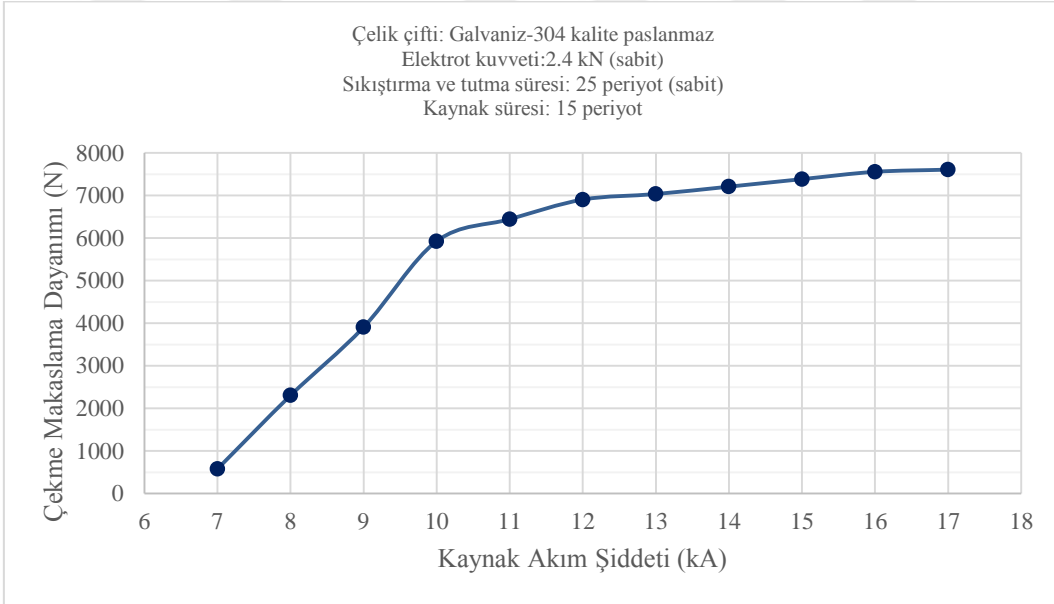
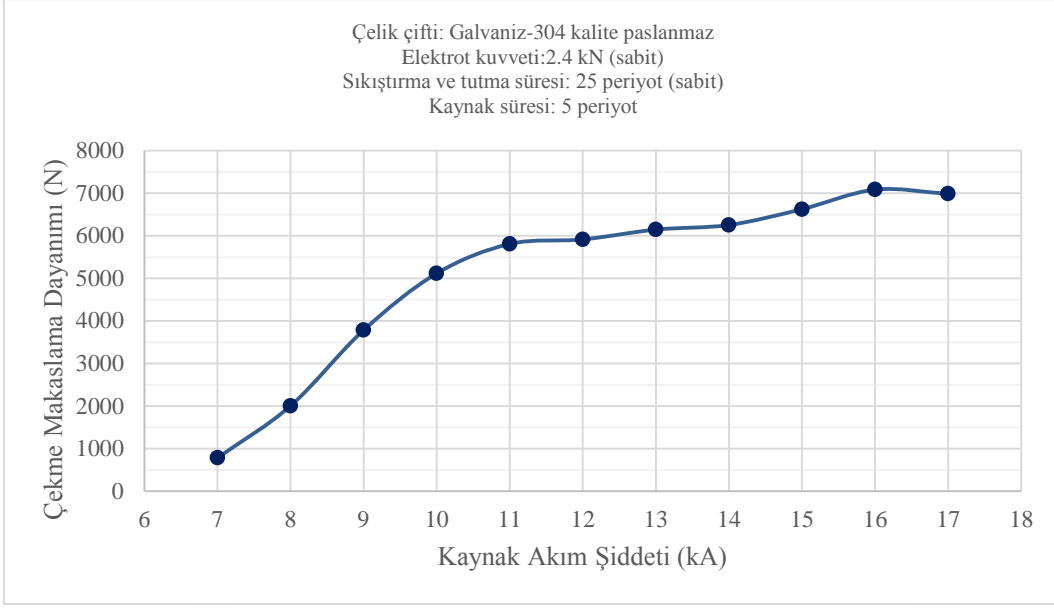


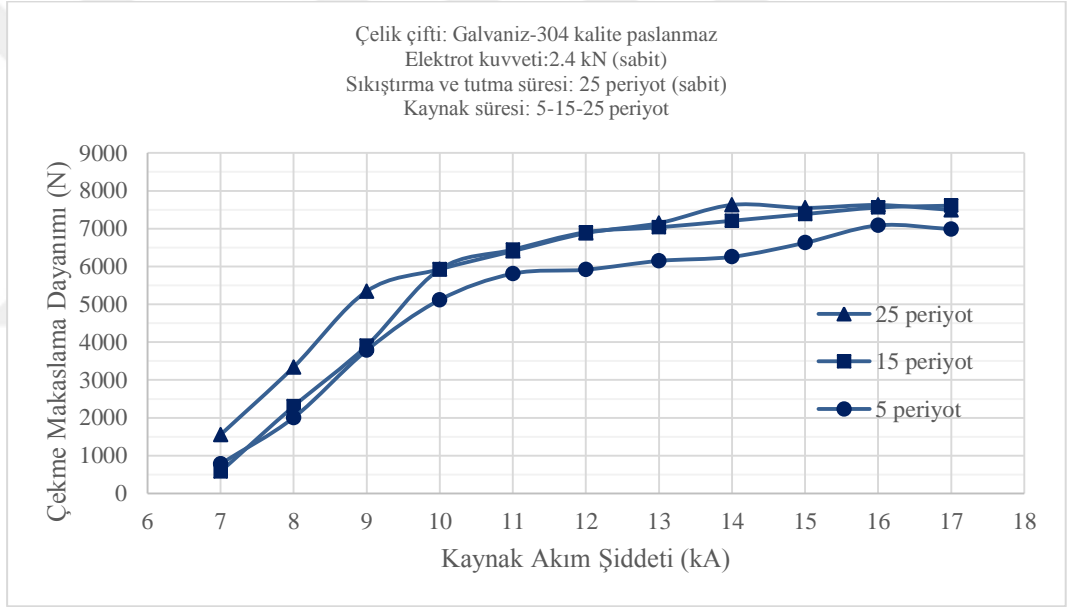
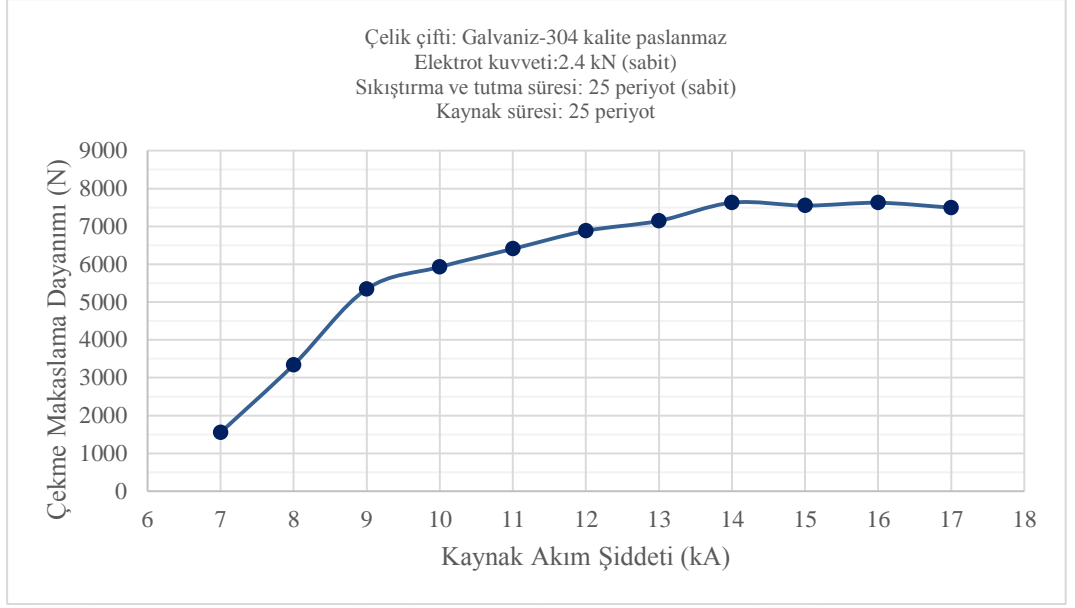
Şekil 5.1. Galvanizli çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi



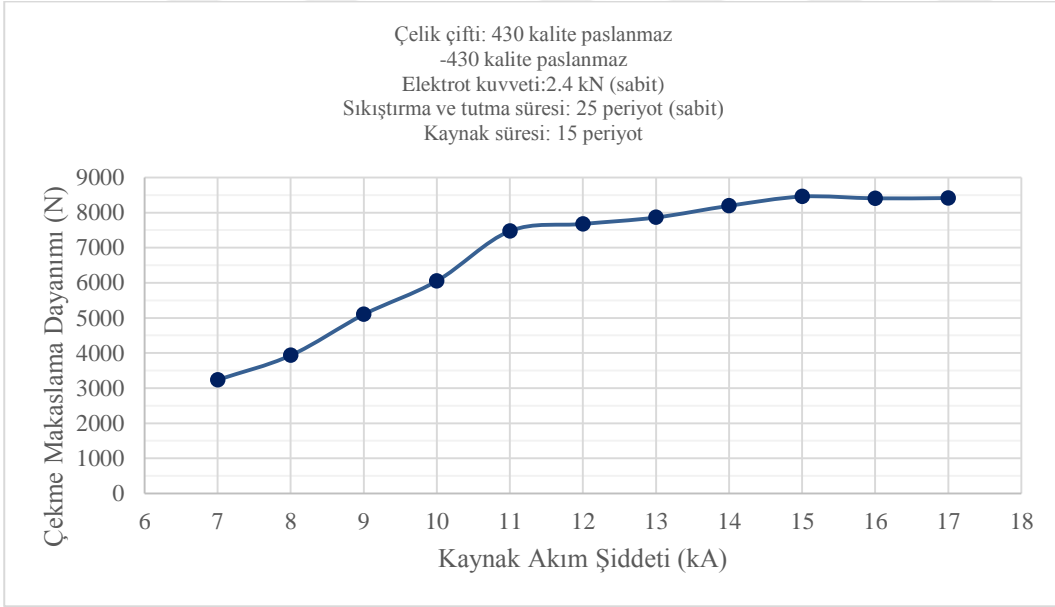
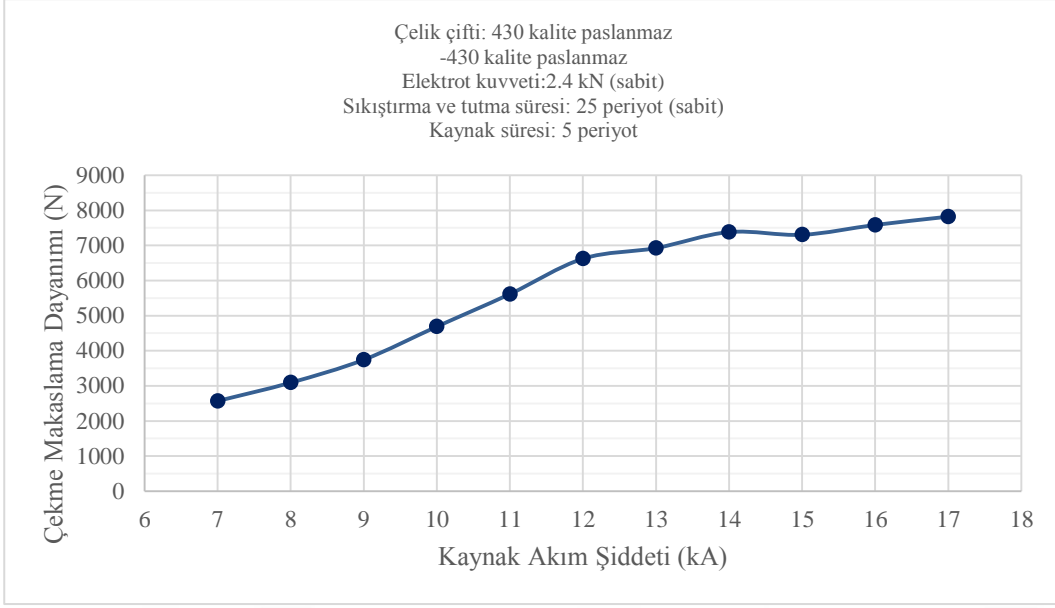


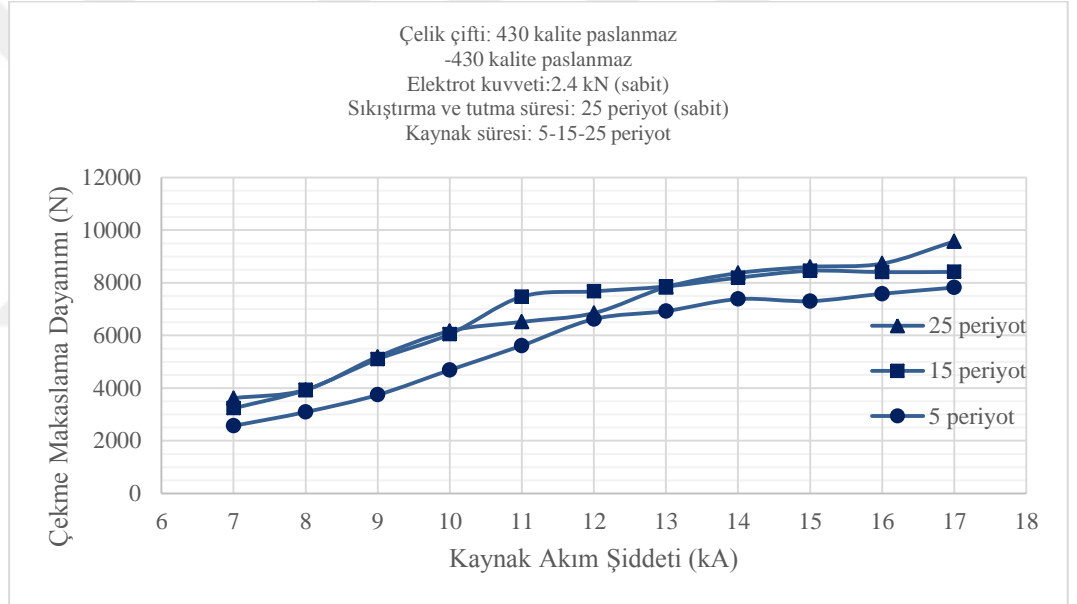
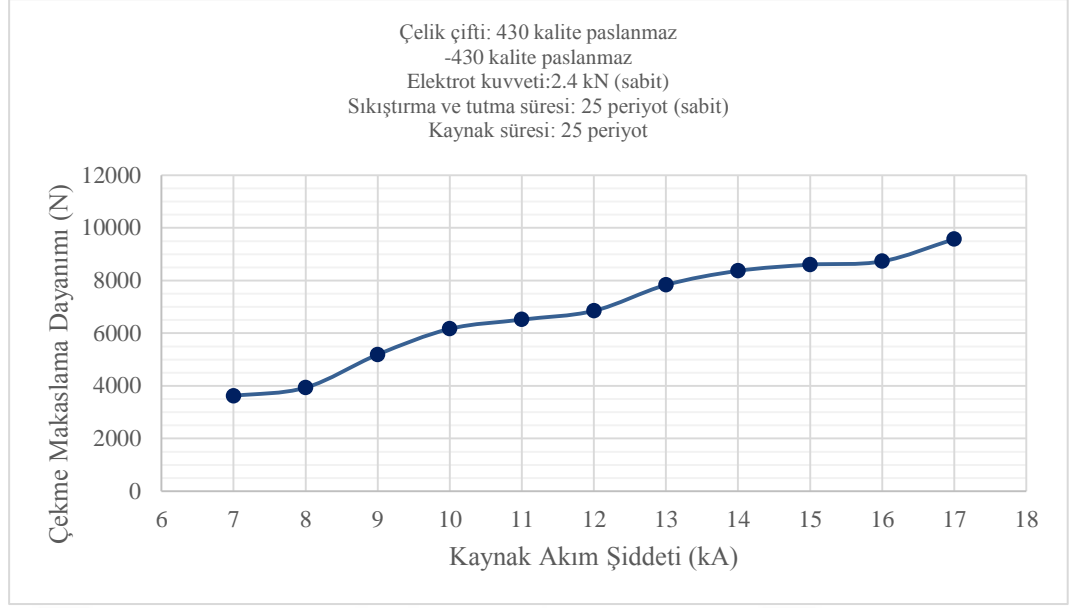
Şekil 5.2. Galvanizli-430 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi



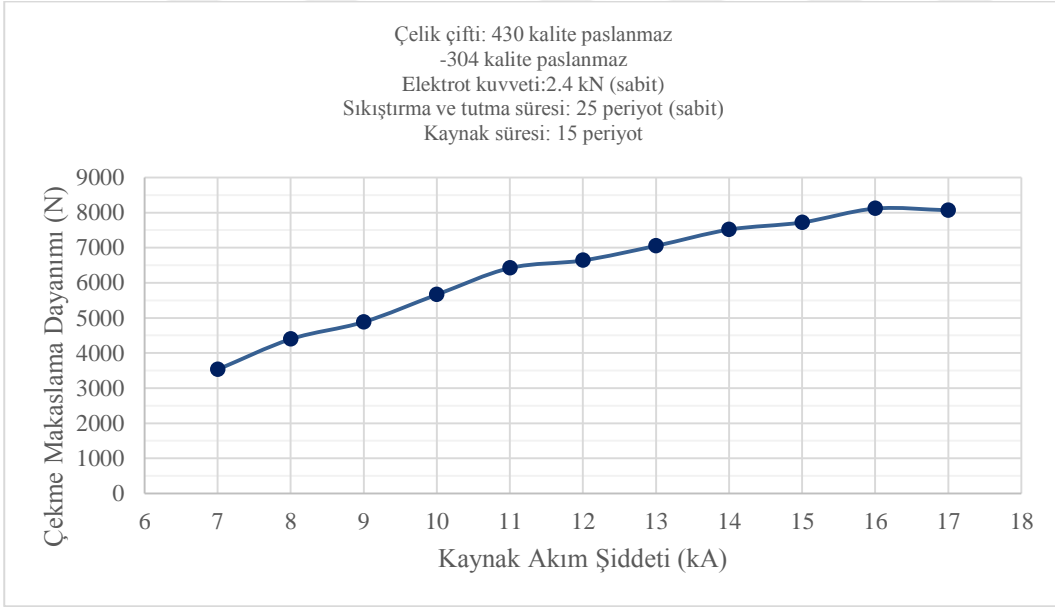
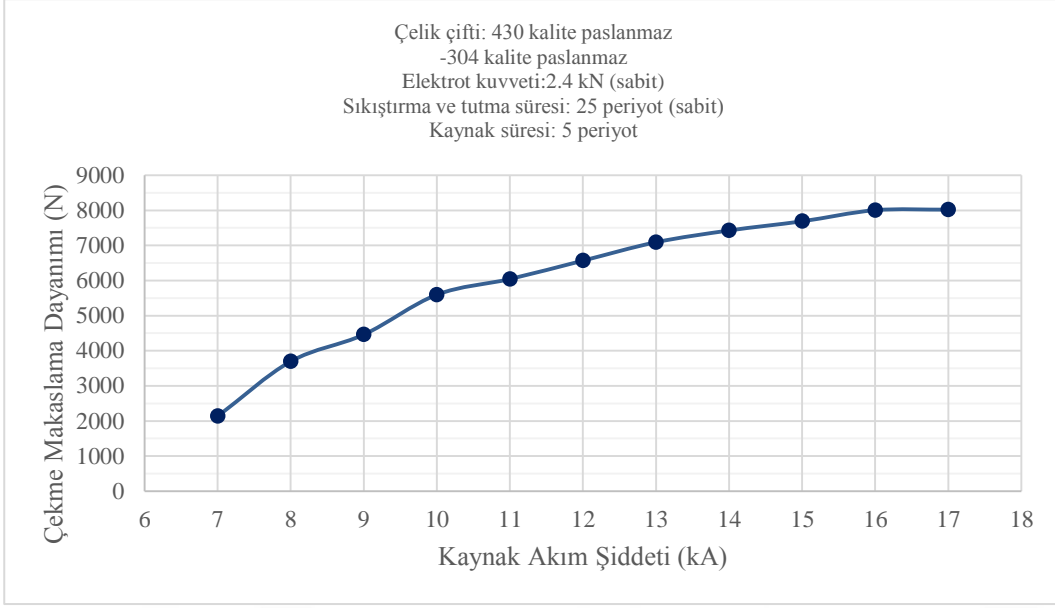


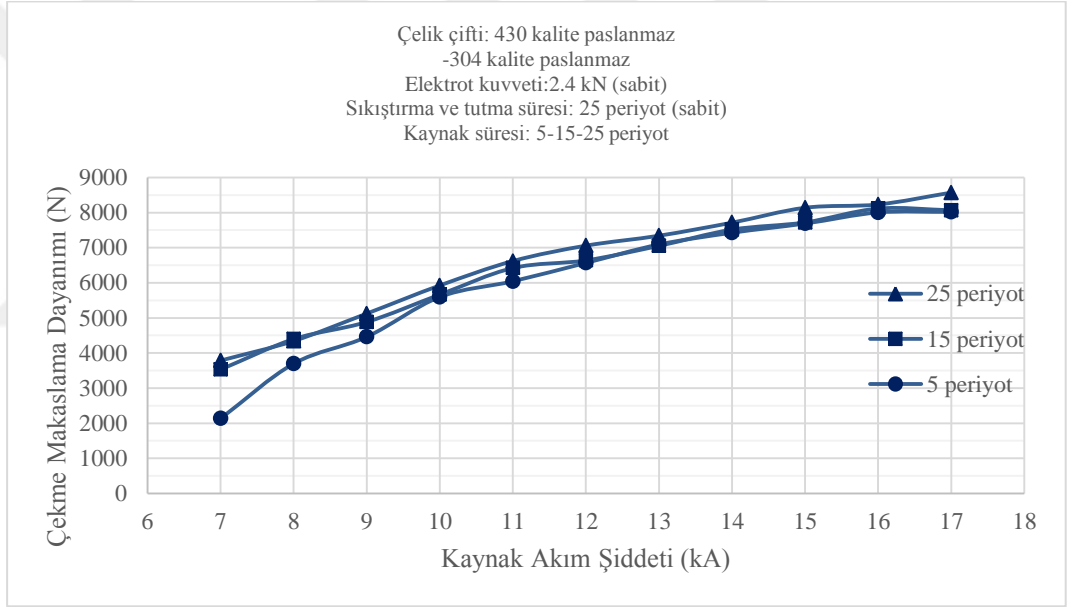
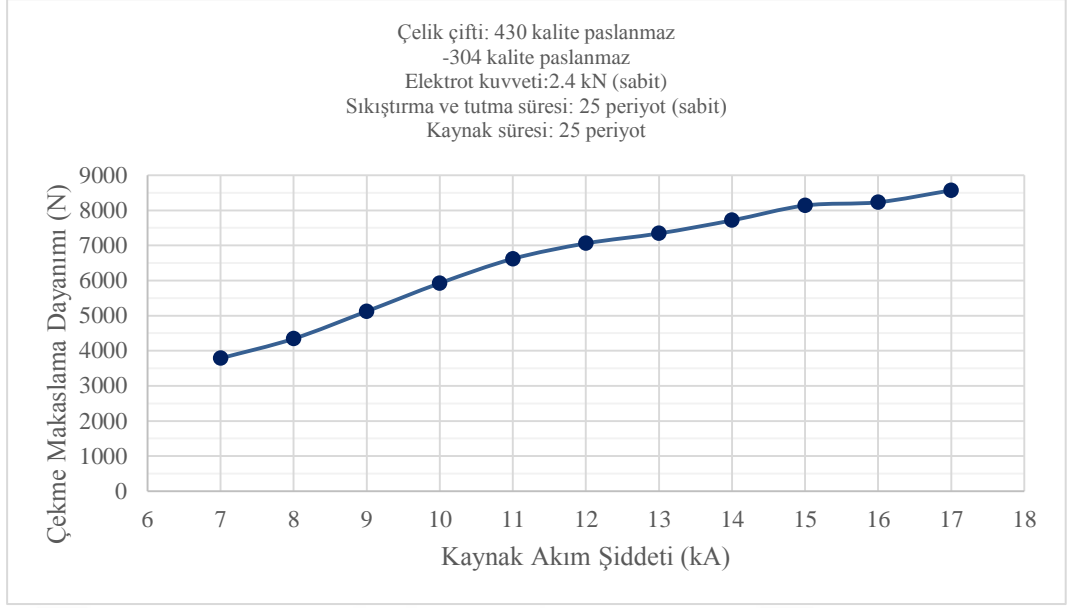
Şekil 5.3. Galvanizli-304 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi



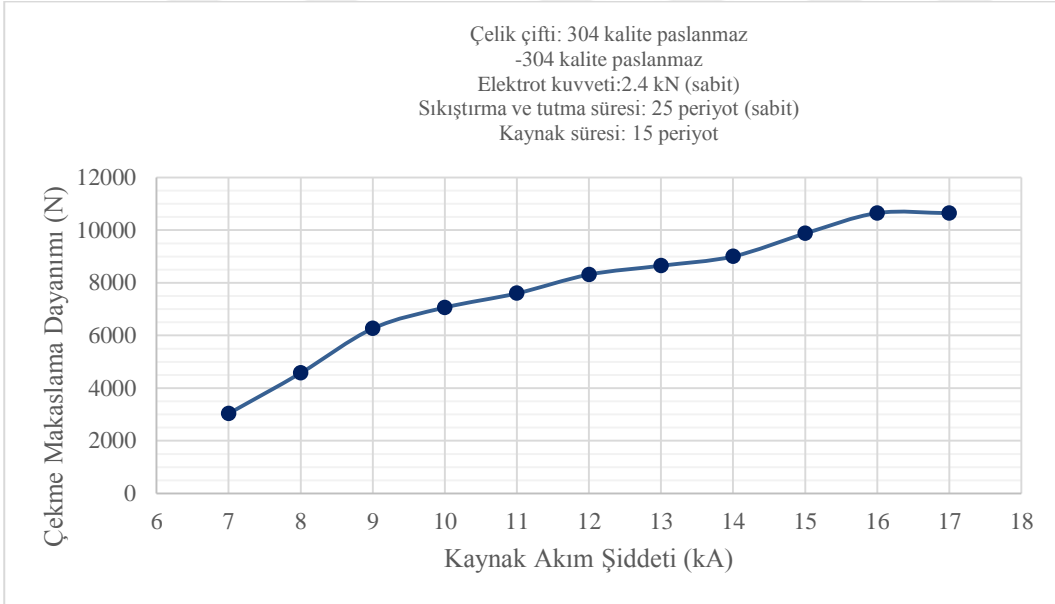
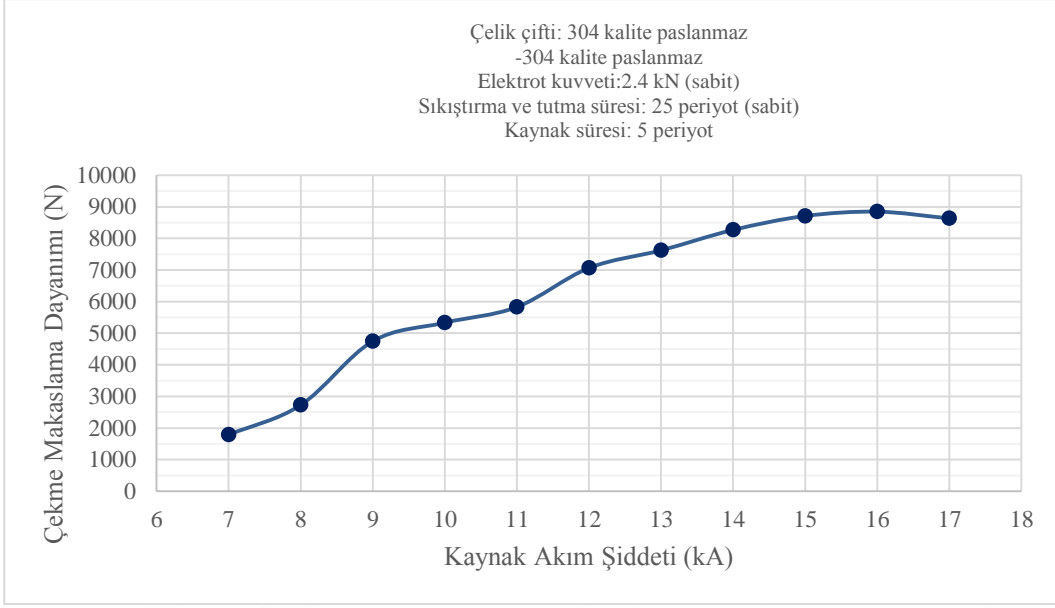


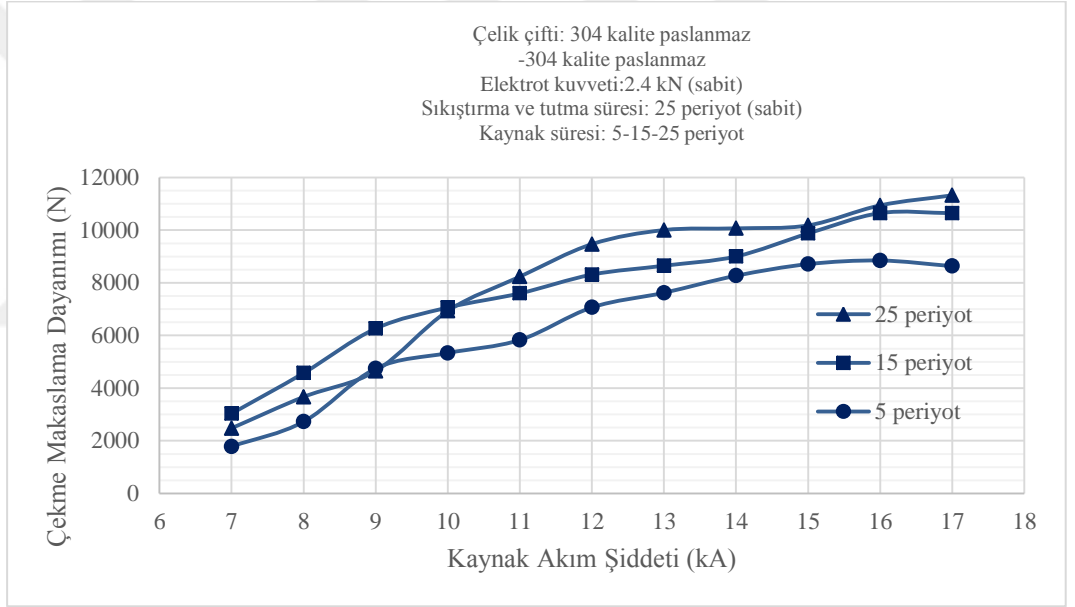
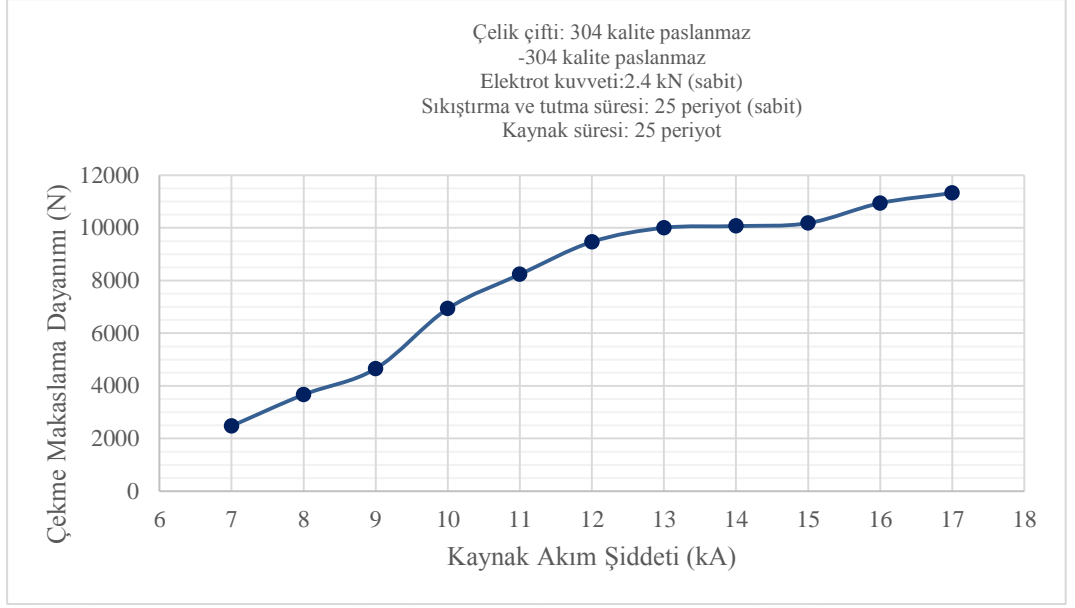
Şekil 5.4. 430 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi





Şekil 5.5. 430 kalite-304 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi



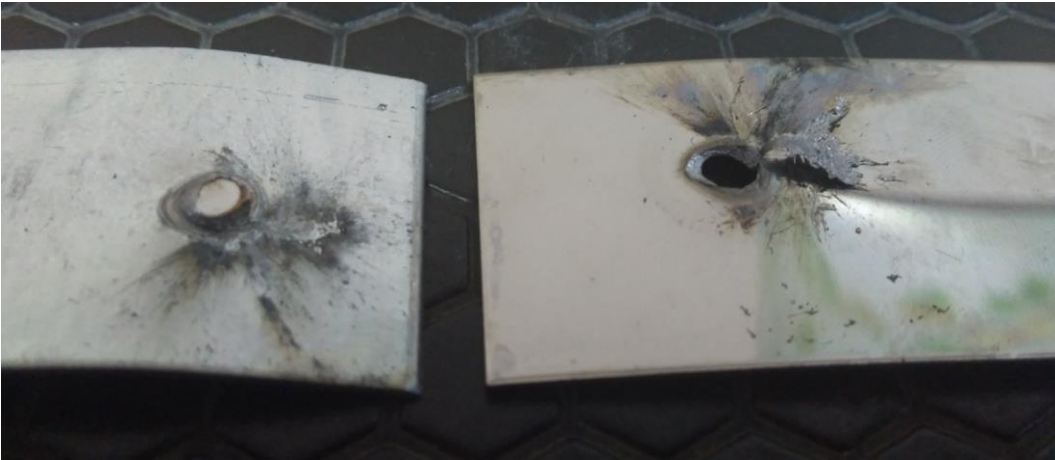


Şekil 5.6. 304 kalite paslanmaz çelik çiftinin farklı kaynak sürelerinde kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama dayanımı üzerine etkisi

Çekme-makaslama deneyine tabi tutulan numuneler fiziksel olarak incelendiğinde, düşük akım şiddetinde çekirdek kesitinin küçük ve daha az sağlam olması sebebiyle ayrılma kopması meydana gelmiştir. Akım şiddeti arttıkça ortalama 9-10 kA akım arasında numuneler düğme şeklinde kopmuştur. Akım şiddetinin 11-12 kA değerine ulaştığı noktalarda bazı numunelerde yırtılma şeklinde kopma meydana gelmiştir ancak çoğu numune 9-12 kA arasında düğmelenme şeklinde kopmuştur. Daha yüksek akım şiddetlerinde (13-17 kA) ise malzemenin tipine bağlı olarak kaynak dikişiyle birlikte malzemenin yırtılması şeklinde kopma gözlemlenmiştir. Kaynak süresi sabitken, her bir kaynak süresinde maksimum çekme-makaslama dayanımı 15-17 kA kaynak akım şiddetinde görülmüştür. Bu sonuçlardan da görülebileceği gibi numune tipine bağlı olarak ortalama 10-12 kA akım şiddeti değerinde malzeme düğmeleme şeklinde koptuğu için bu akım şiddeti elektrik nokta direnç kaynağı için yeterlidir denilebilir. Aksi halde akım şiddeti arttıkça malzeme yırtılma şeklinde koptuğu için malzeme üzerinde geri dönüşü olmayan hasar oluşmaktadır.

Kaynak akımı arttırıldıkça yüksek kaynak sürelerinde kaynak ısı girdisi arttığından kaynak çekirdeği kesiti büyümekte ve daha yüksek çekme-makaslama dayanımı elde edilmektedir.

12-15 kA kaynak akım şiddeti değerleri aralığında sac yüzeylerinde fişkırmalar oluşması, bağlantının çekme-makaslama dayanımında düşmelere yol açabilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Yüksek kaynak akım şiddetlerinde sac ara yüzeylerinde oluşan fişkırmalar

15-17 kA kaynak akım şiddetleri arasında hem sacların üst yüzeylerinde hem de saclar arasında fişkirma oluşmaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. 15-17 kA kaynak akım şiddetinde sac ara ve üst yüzeylerinde oluşan fişkirma

5 periyot kaynak süresinde numunelerin çekme-makaslama dayanımları incelendiğinde, en yüksek çekme makaslama dayanımının 16-17 kA kaynak akım şiddetinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. En düşük çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti galvanizli-galvanizli çelik çiftinin kaynağıdır, bu değer yaklaşık 6600 N'dur. 430 kalite paslanmaz çeliğin hem kendi ile hem de galvanizli çelik ile kaynağının dayanımı ise bu değerden daha yüksek olup galvanizli çelik-430 kalite paslanmaz çelik kaynağının maksimum çekme-makaslama dayanımı yaklaşık 6800 N iken bu değer 430 kalite paslanmaz çelik çiftinin birlikte kaynağında 7800 N'a ulaşmaktadır. 304 kalite paslanmaz çelik kullanımının çekme-makaslama dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. 304 kalite paslanmaz çelik-galvanizli çelik çifti kaynağının maksimum çekme-makaslama dayanımı 7000 N civarındadır. 430 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti kaynağında maksimum çekme-makaslama değeri 8200 N ulaşırken 304 kalite paslanmaz çelik çiftinin birlikte kaynağında bu değer 8800 N'a ulaşmaktadır.

15 periyot kaynak süresinde numunelerin çekme-makaslama dayanımları incelendiğinde, en yüksek çekme makaslama dayanımının 15-17 kA kaynak akım şiddetinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. En düşük çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti galvanizli-galvanizli çelik çiftinin kaynağıdır, bu

değer yaklaşık 7400 N'dur. 430 kalite paslanmaz çeliğin hem kendi ile hem de galvanizli çelik ile kaynağının dayanımı ise bu değerden daha yüksek olup galvanizli çelik-430 kalite paslanmaz çelik kaynağının maksimum çekme-makaslama dayanımı yaklaşık 7700 N iken bu değer 430 kalite paslanmaz çelik çiftinin birlikte kaynağında 8400 N'a ulaşmaktadır. 304 kalite paslanmaz çelik kullanımının çekme-makaslama dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. 304 kalite paslanmaz çelik-galvanizli çelik çifti kaynağının maksimum çekme-makaslama dayanımı 7600 N civarındadır. 430 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti kaynağında maksimum çekme-makaslama değeri 8100 N ulaşırken 304 kalite paslanmaz çelik çiftinin birlikte kaynağında bu değer 10500 N'a ulaşmaktadır.

25 periyot kaynak süresinde numunelerin çekme-makaslama dayanımları incelendiğinde, en yüksek çekme makaslama dayanımının 14-17 kA kaynak akım şiddetinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. En düşük çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti galvanizli-galvanizli çelik çiftinin kaynağıdır, bu değer yaklaşık 7800 N'dur. Galvanizli çelik-430 kalite paslanmaz çelik kaynağının maksimum çekme-makaslama dayanımı yaklaşık 7400 N iken bu değer 430 kalite paslanmaz çelik çiftinin birlikte kaynağında 9500 N'a ulaşmaktadır. 304 kalite paslanmaz çelik kullanımının çekme-makaslama dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. 304 kalite paslanmaz çelik-galvanizli çelik çifti kaynağının maksimum çekme-makaslama dayanımı 7600 N civarındadır. 430 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti kaynağında maksimum çekme-makaslama değeri 8500 N ulaşırken 304 kalite paslanmaz çelik çiftinin birlikte kaynağında bu değer 11000 N'a ulaşmaktadır.

Görülüyor ki, çekme makaslama dayanımının en düşük değeri 5 periyot kaynak süresinde, en yüksek değeri ise 25 periyot kaynak süresinde elde edilmiştir. 15 periyot kaynak süresi ile elde edilen değerler bu iki değer arasında kalmıştır.

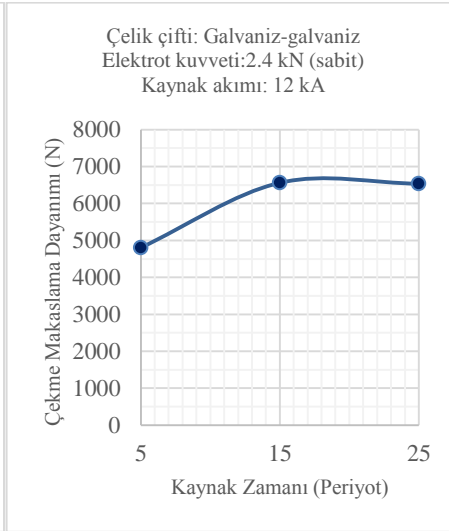
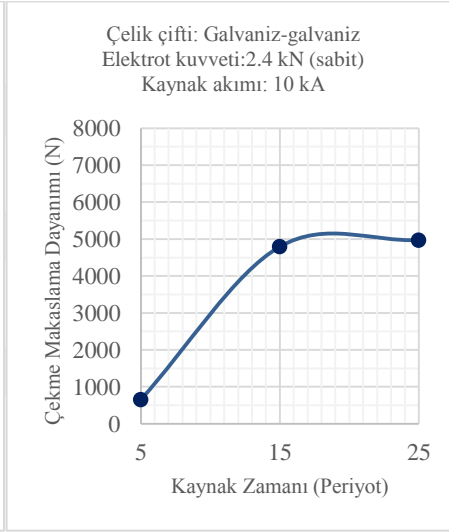
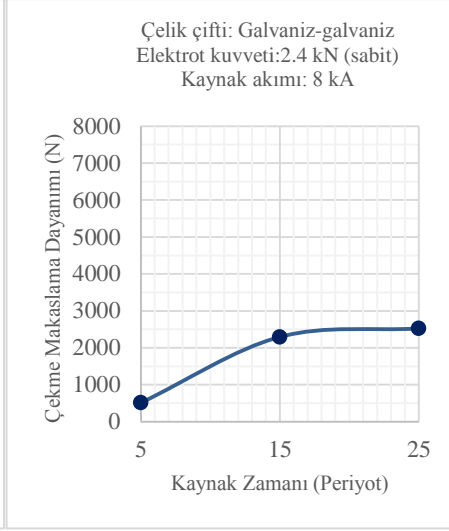
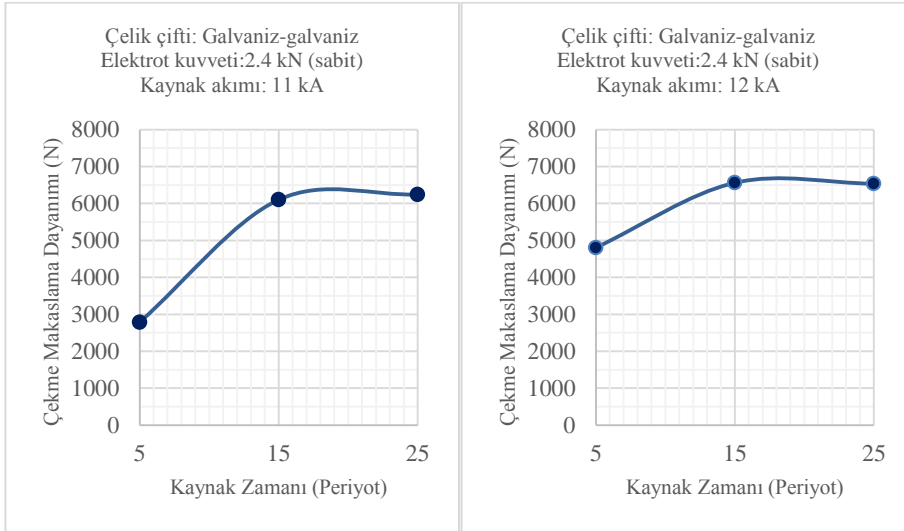
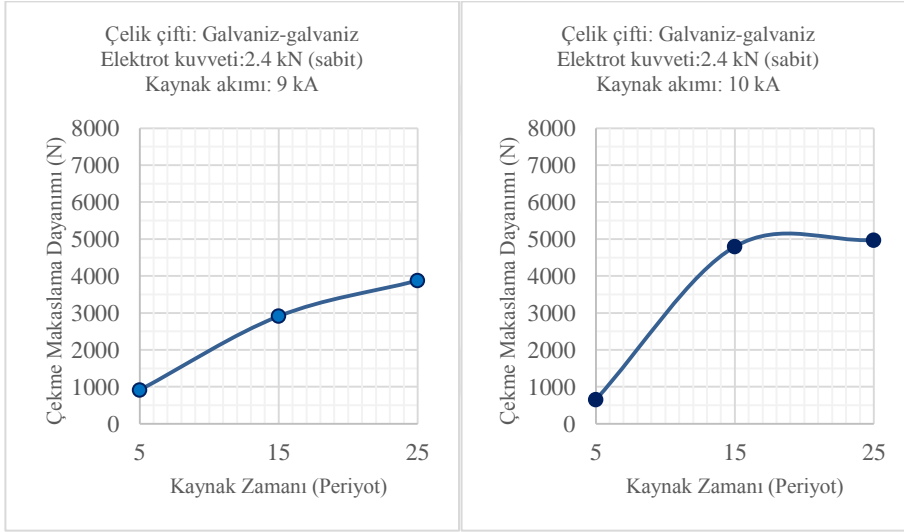
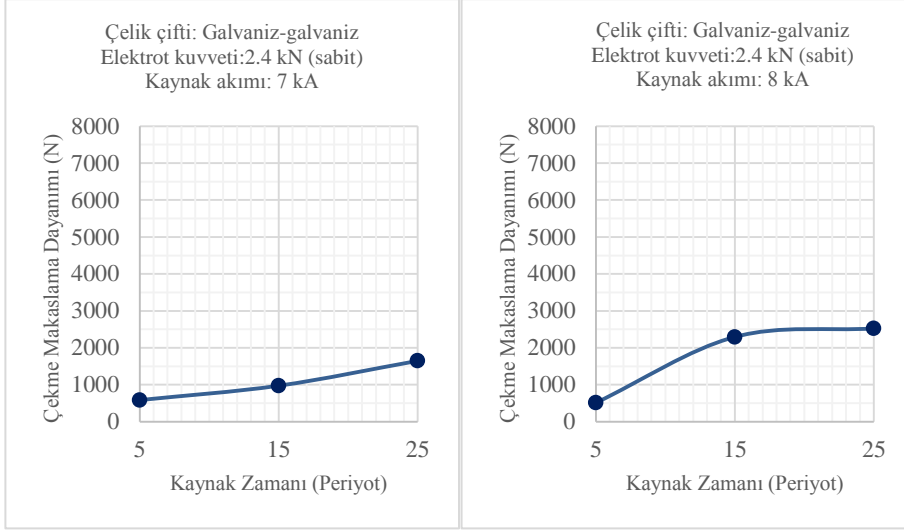
5.1.2. Kaynak süresinin etkisi

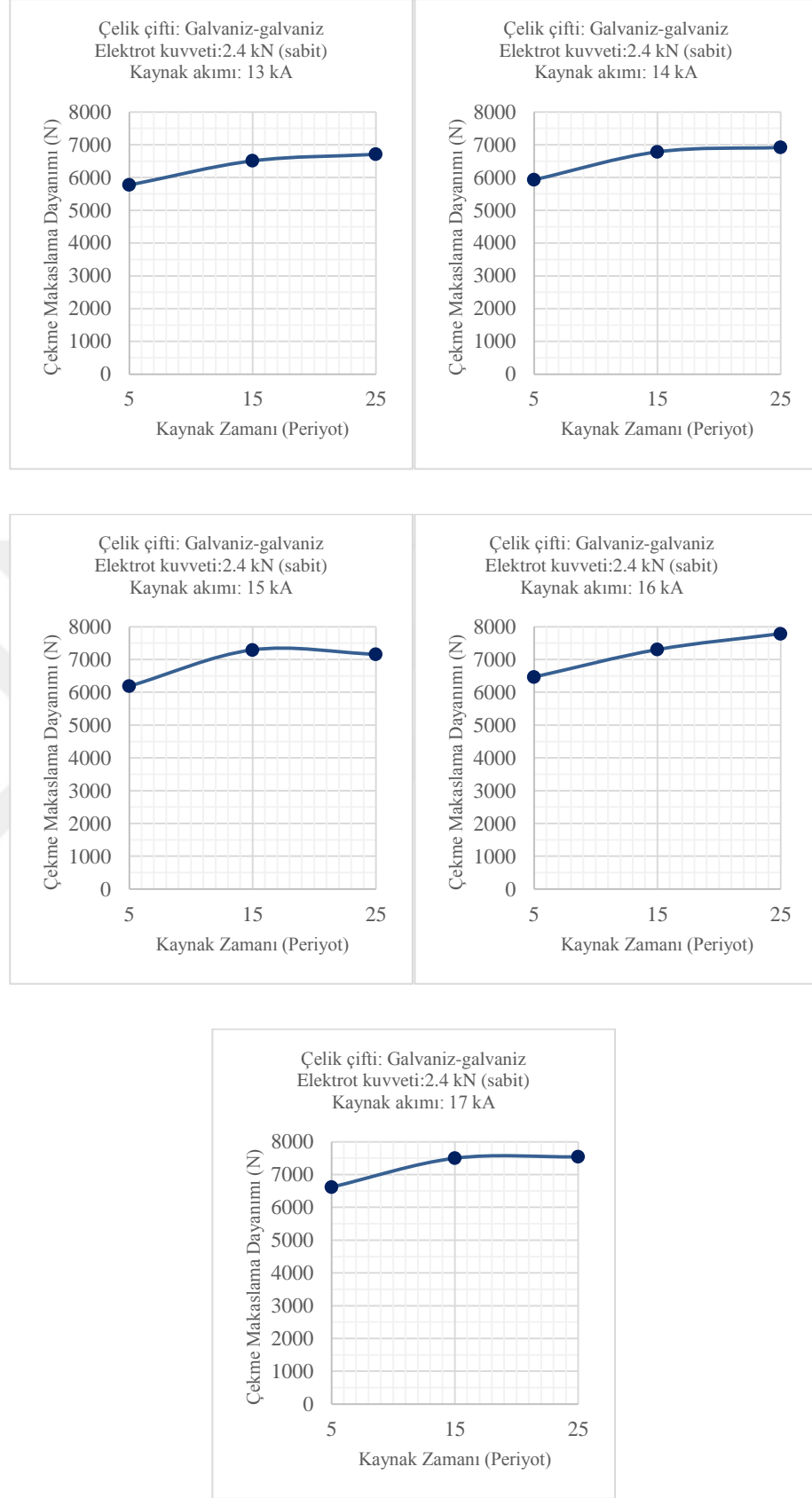
Deneylerde kullanılan 430 kalite paslanmaz çelik, 304 kalite paslanmaz çelik ve galvanizli çelik numunelerinin kaynak bağlantısında kaynak süresinin etkisi Şekil 5.9-5.20'de verilen grafiklerde gösterilmiştir.

İlgili grafiklerden de anlaşılacağı gibi kaynak süresinin artmasıyla kaynak bölgesine olan ısı girdisi de artmaktadır. Bu durum bağlantının çekme-makaslama dayanımının da artmasına yol açmaktadır. Kaynak süresi arttıkça dayanımın da arttığı çok net bir biçimde gözlemlenmektedir.

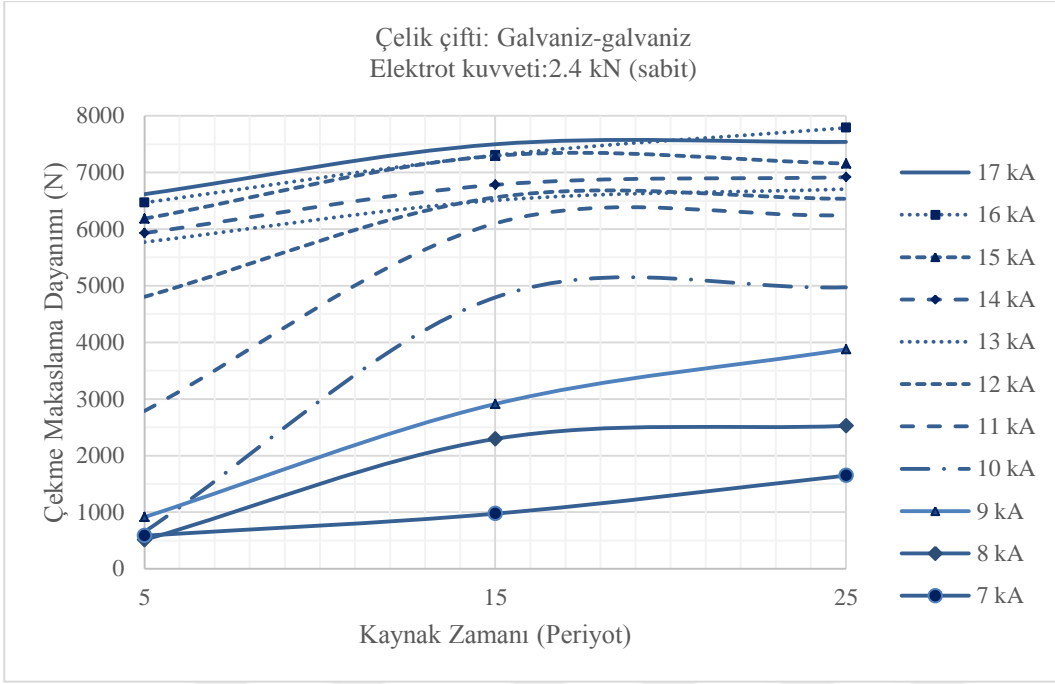
Grafiklerden de görülebileceği gibi 15 periyot kaynak süresindeki çekme-makaslama dayanımı 5 periyotta elde edilen değerden daha yüksekken, 25 periyot kaynak süresindeki değerle arasında çok fark gözlemlenmemiştir. Bunun sonucunda ilgili elektrot kuvveti, tutma ve sıkıştırma süresinde numuneler için 15 periyot kaynak süresi yeterlidir denilebilir.

Yine diyagramlardan da anlaşılacağı gibi en yüksek çekme-makaslama dayanımı 304 kalite ostenitik paslanmaz çeliğe ait iken bunu 430 kalite ferritik paslanmaz çelik ve galvanizli çelik takip etmektedir.

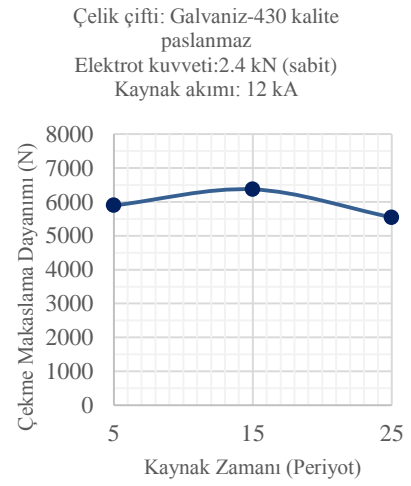
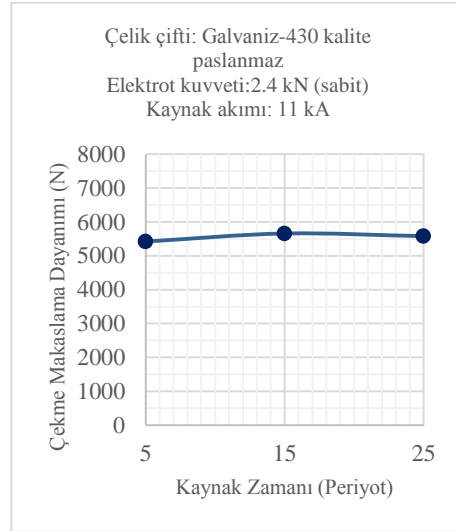
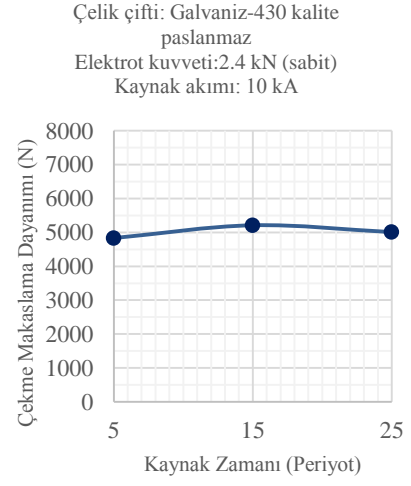
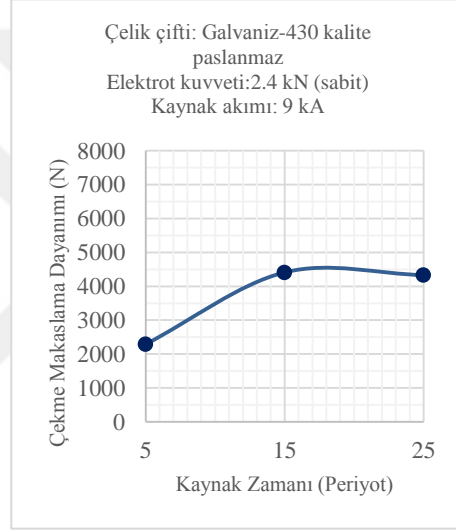
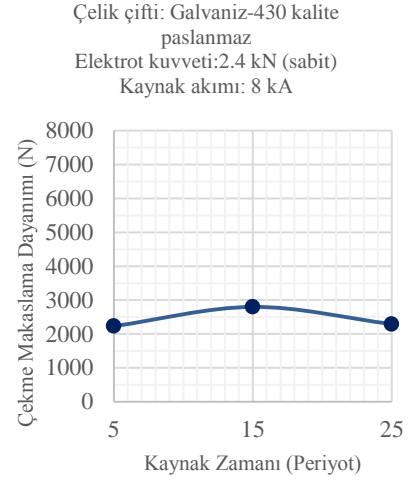
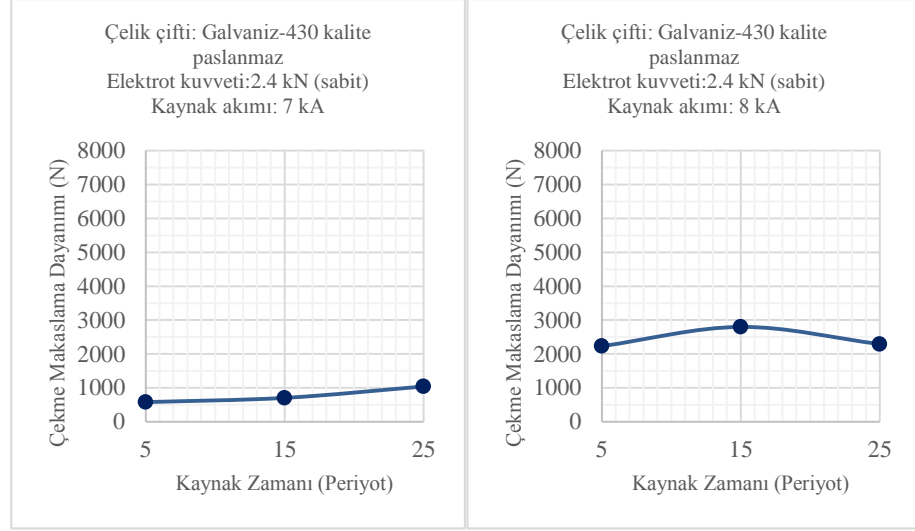


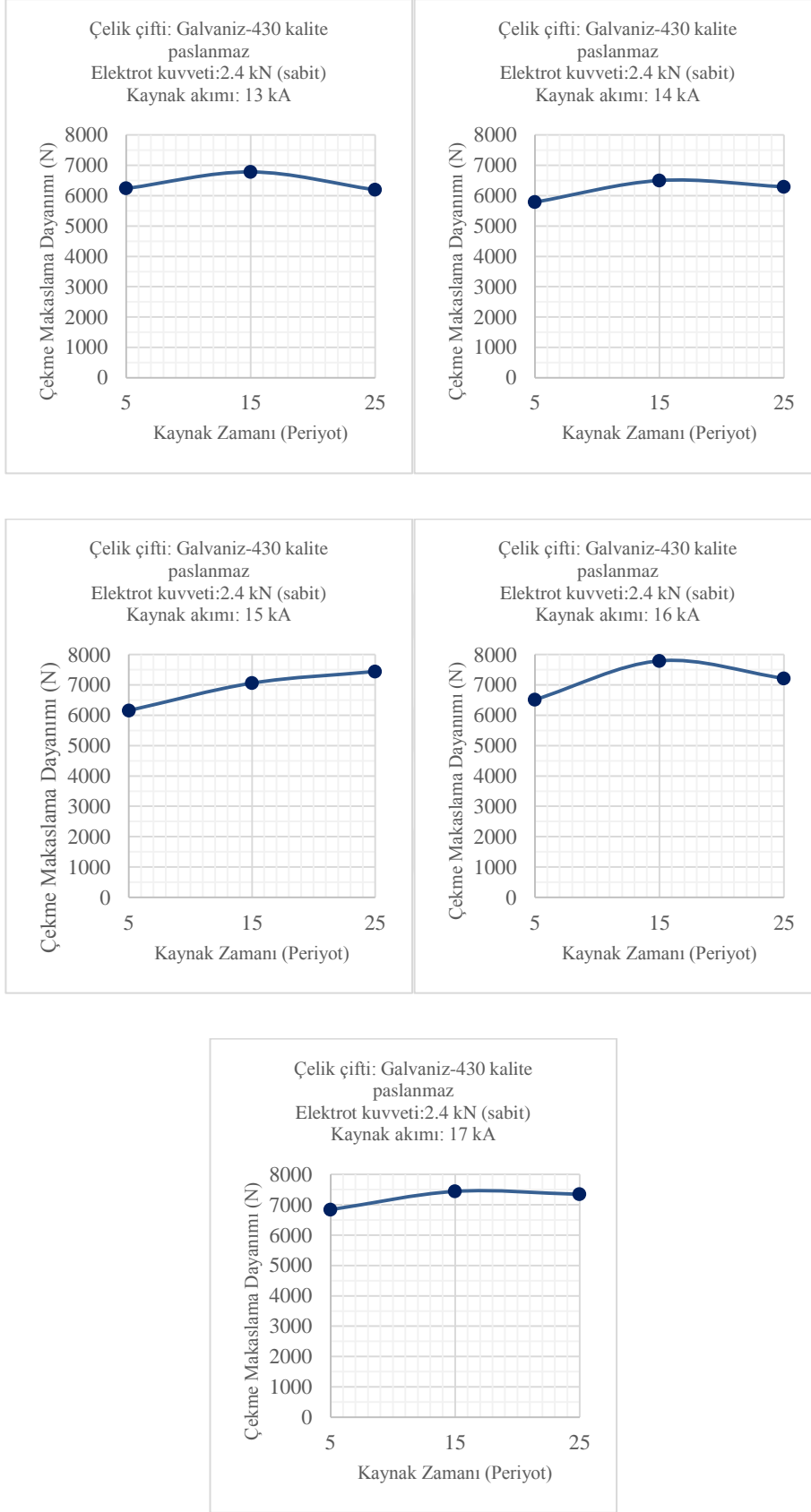


Şekil 5.9. Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-galvaniz çelik çifti

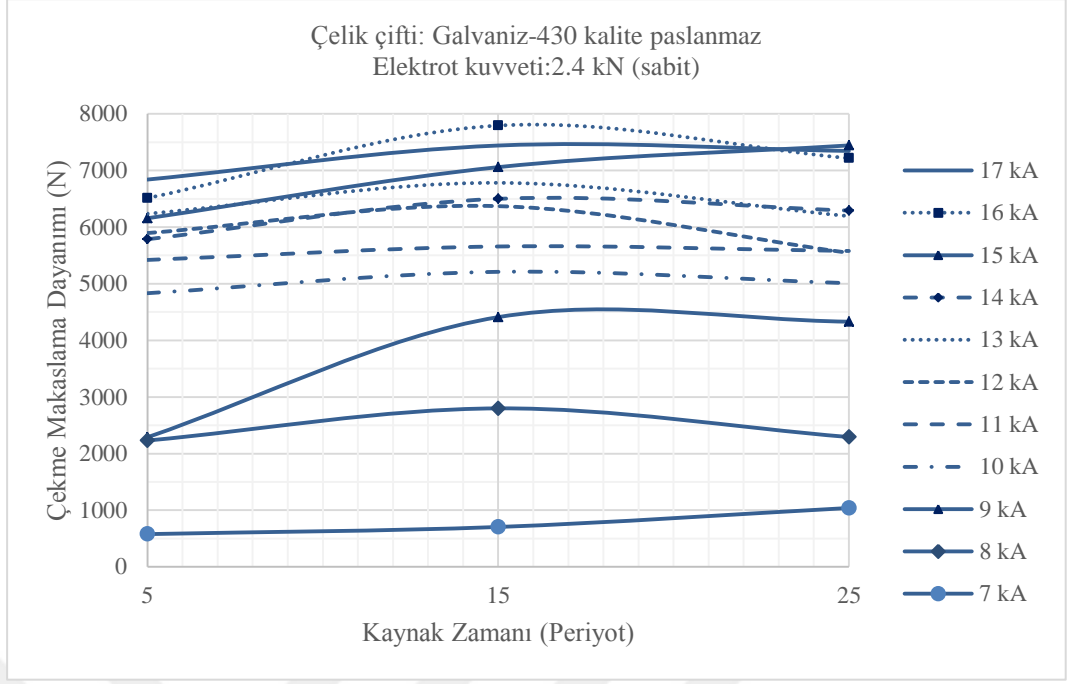


Şekil 5.10. Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-galvaniz çelik çifti

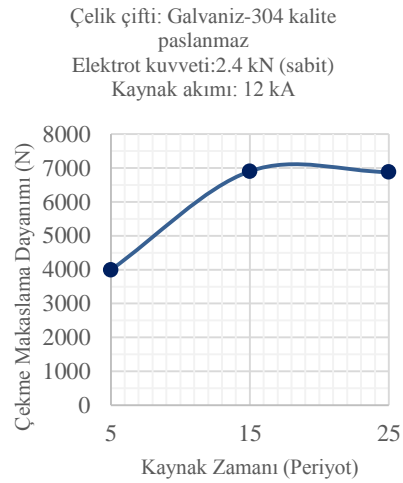
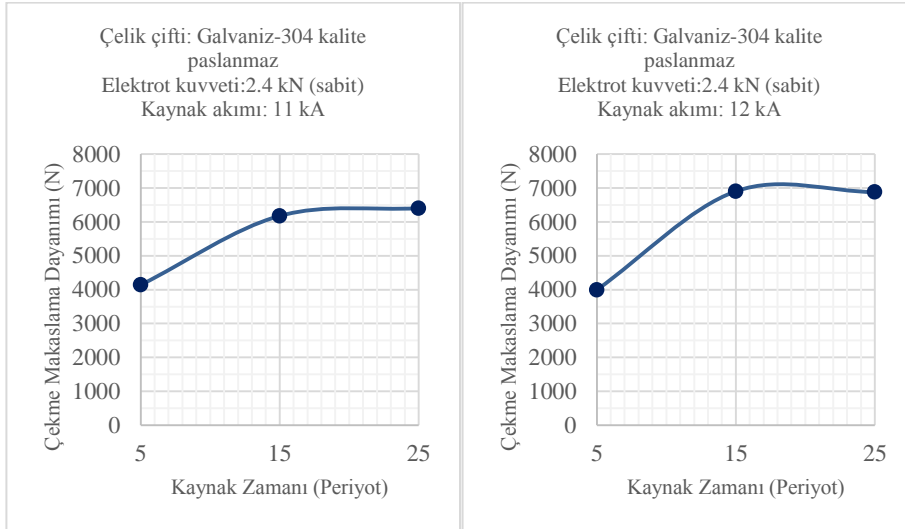
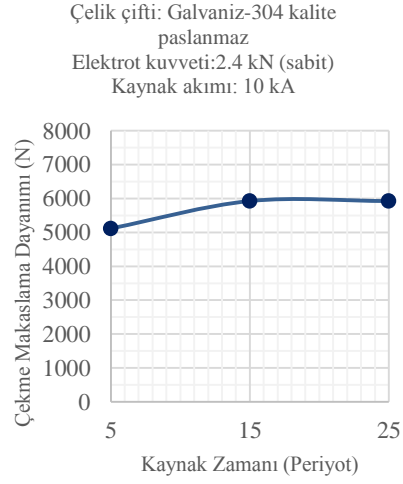
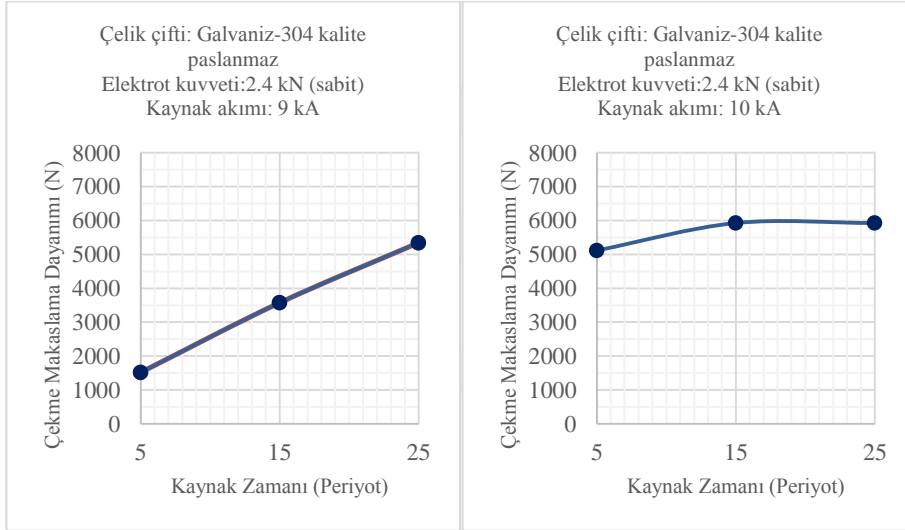
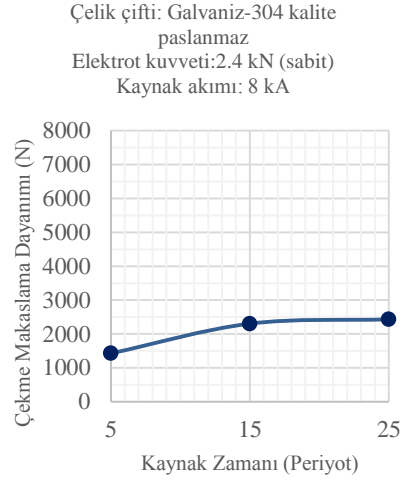
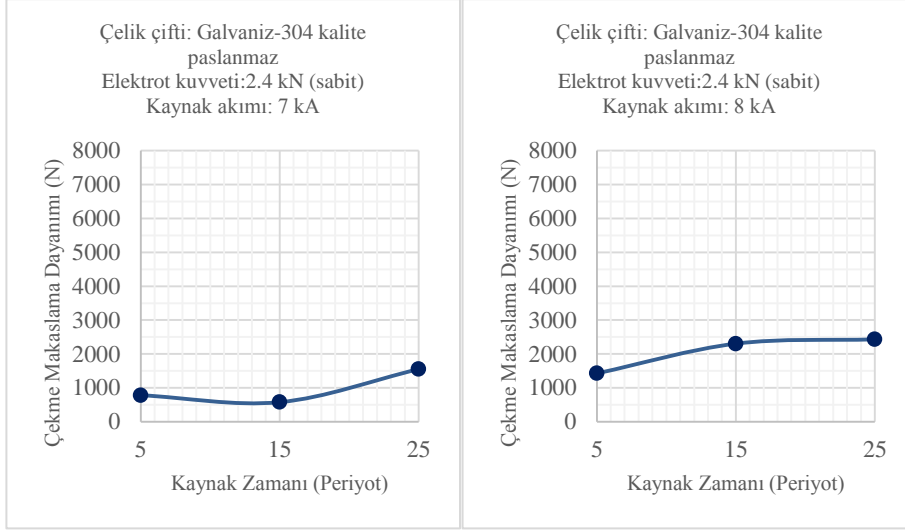


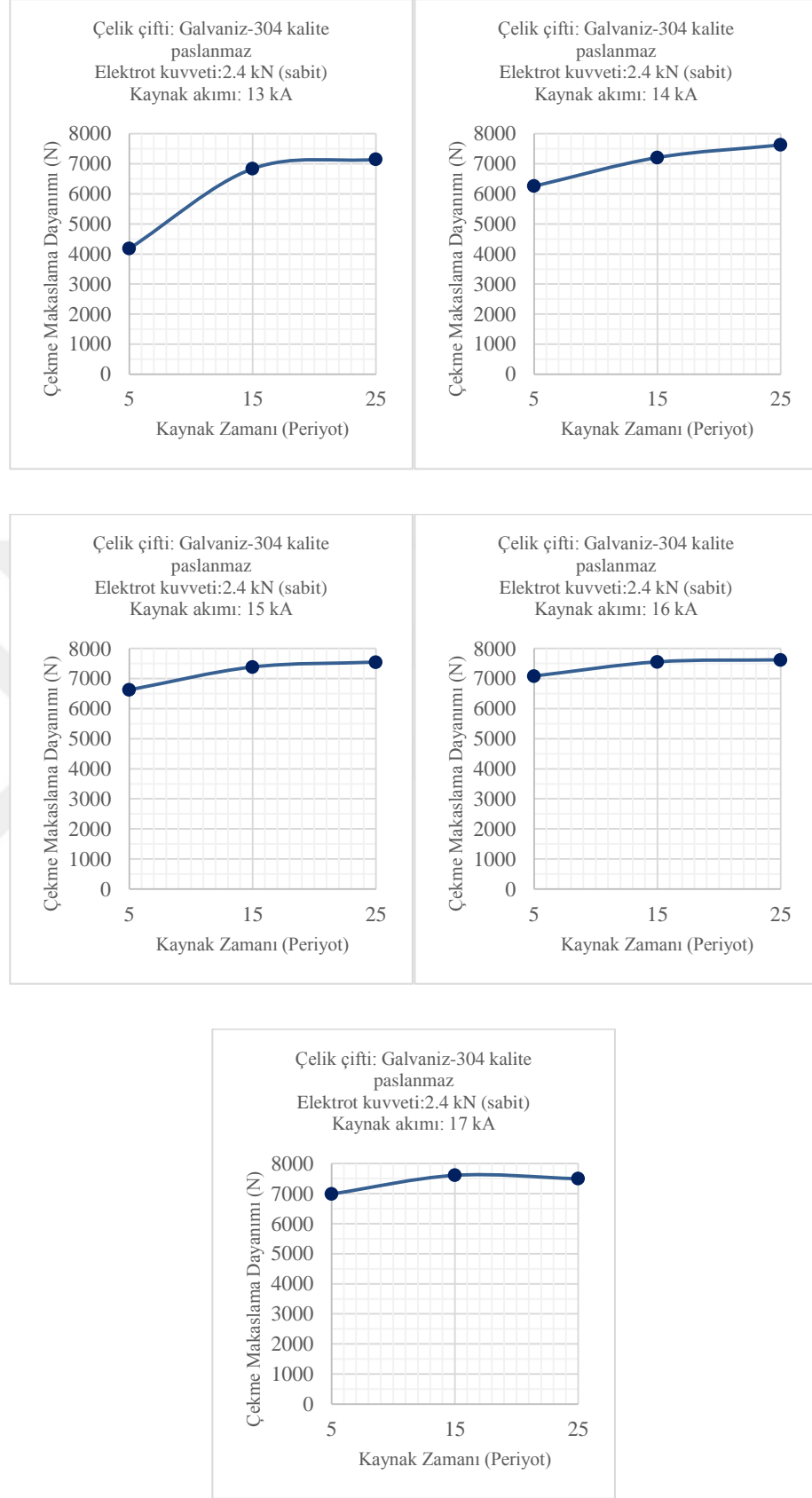


Şekil 5.11. Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-430 kalite paslanmaz çelik çifti

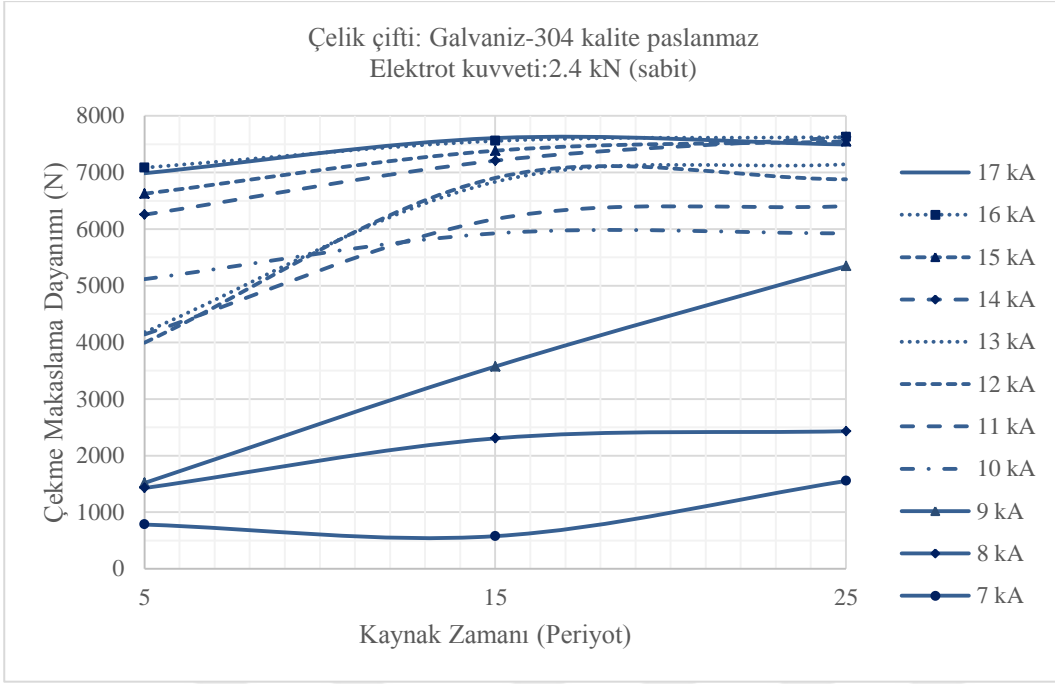


Şekil 5.12. Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-430 kalite paslanmaz çelik çifti

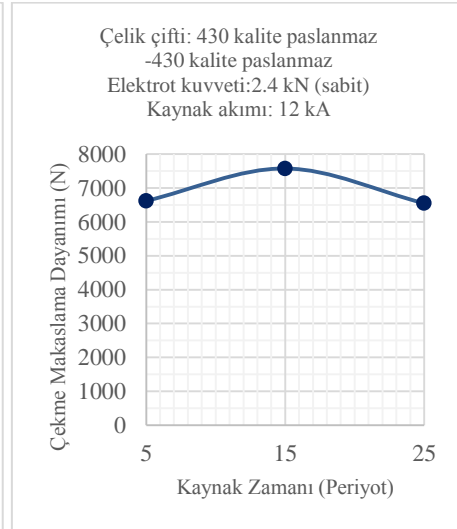
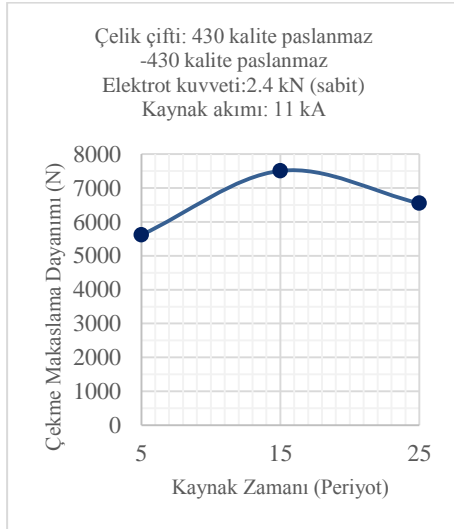
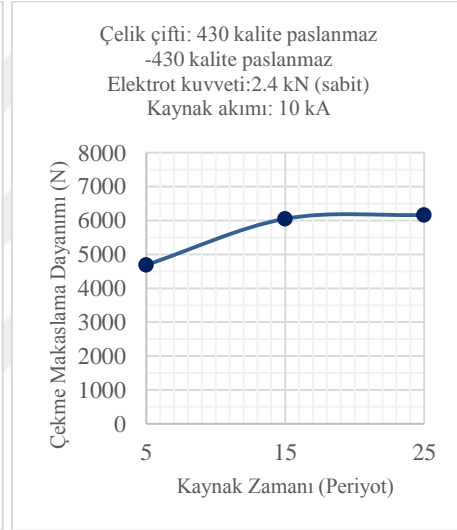
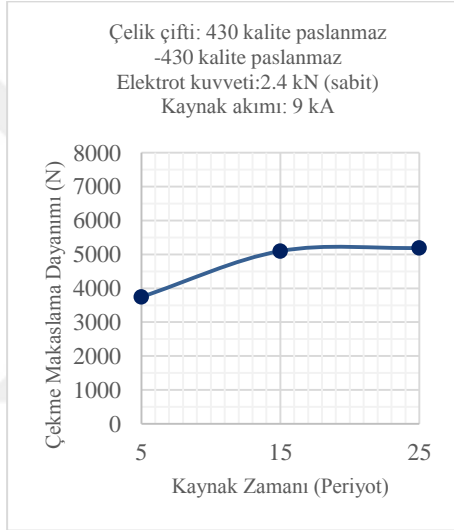
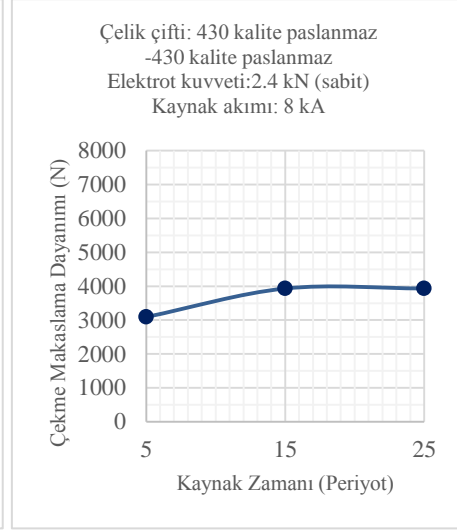
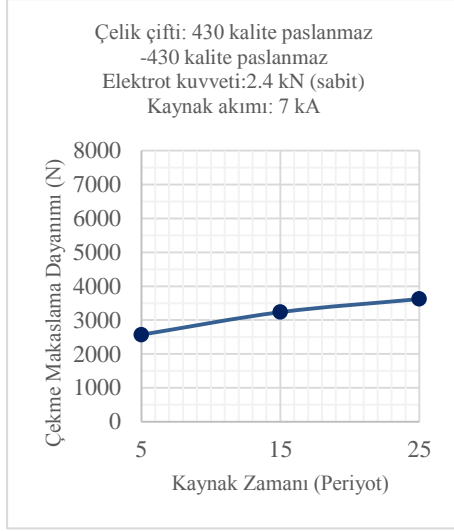


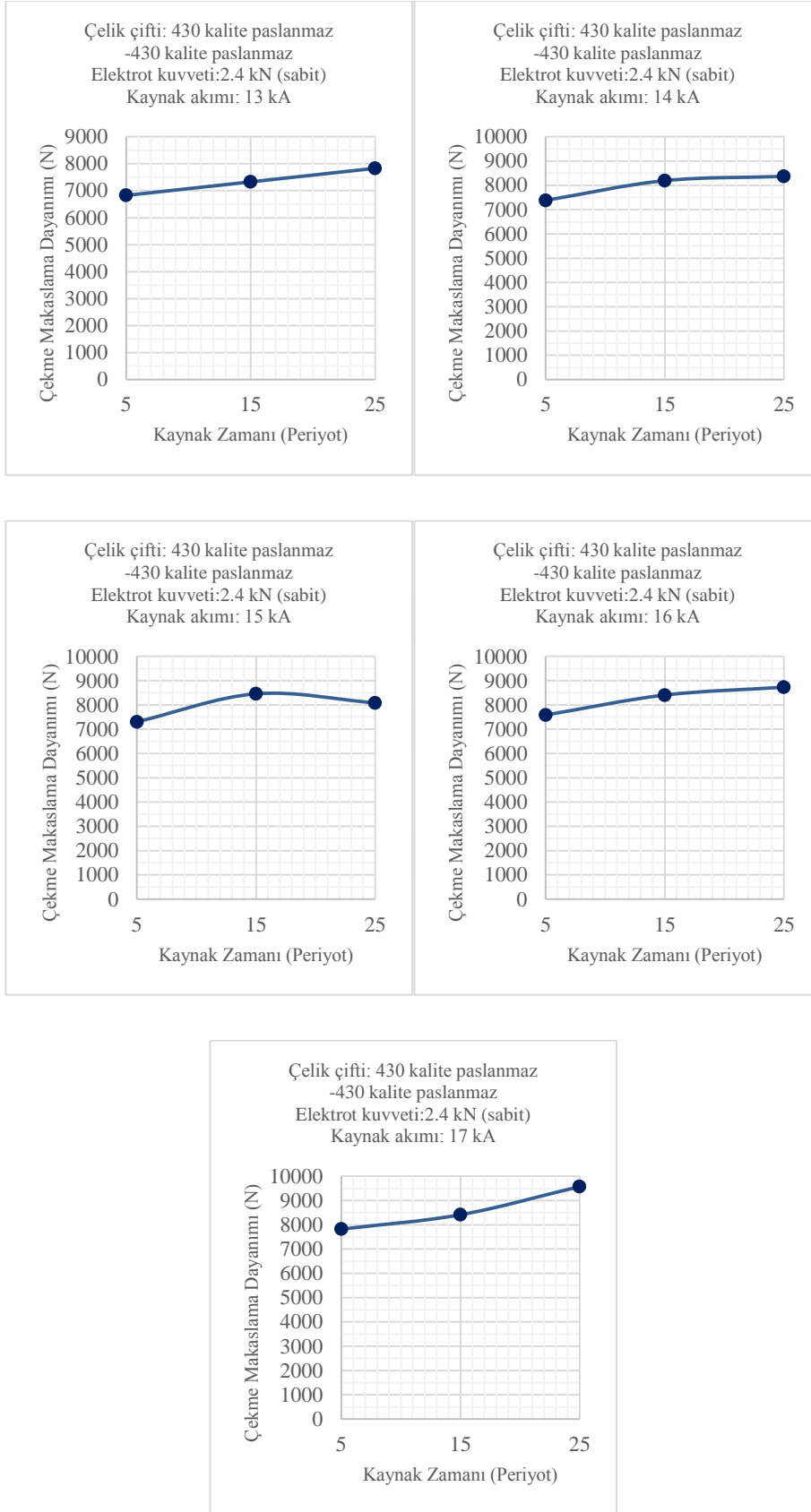


Şekil 5.13. Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-304 kalite paslanmaz çelik çifti

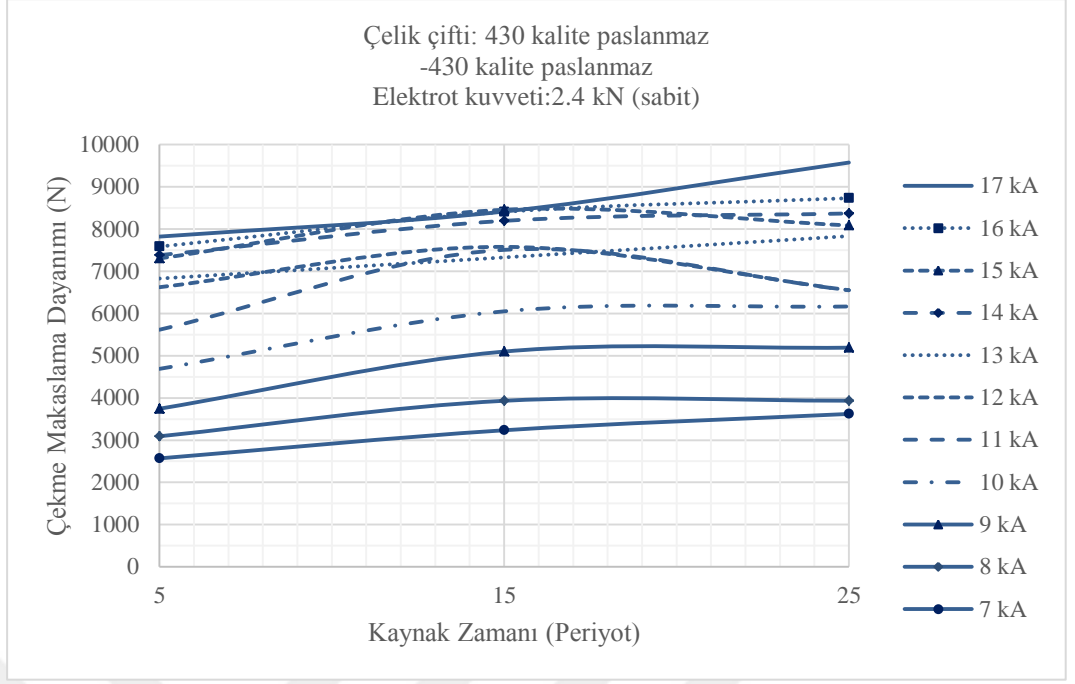


Şekil 5.14. Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, galvaniz-304 kalite paslanmaz çelik çifti

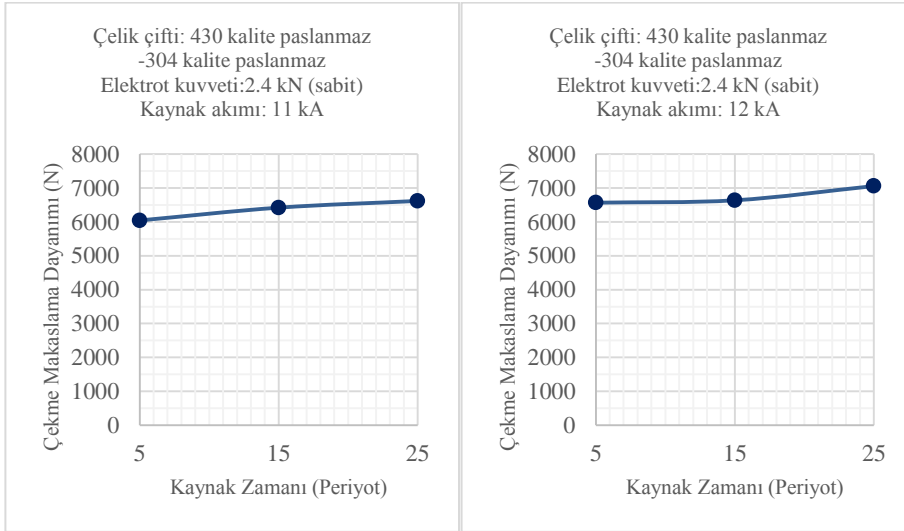
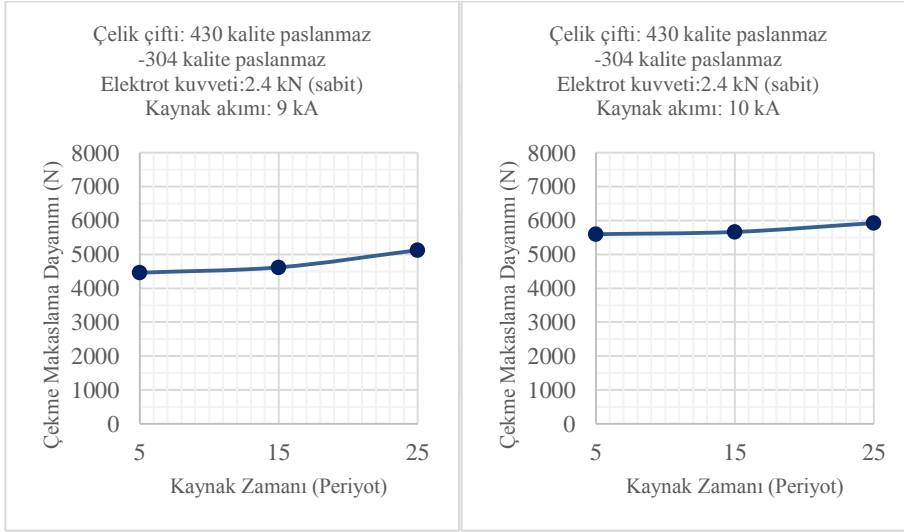
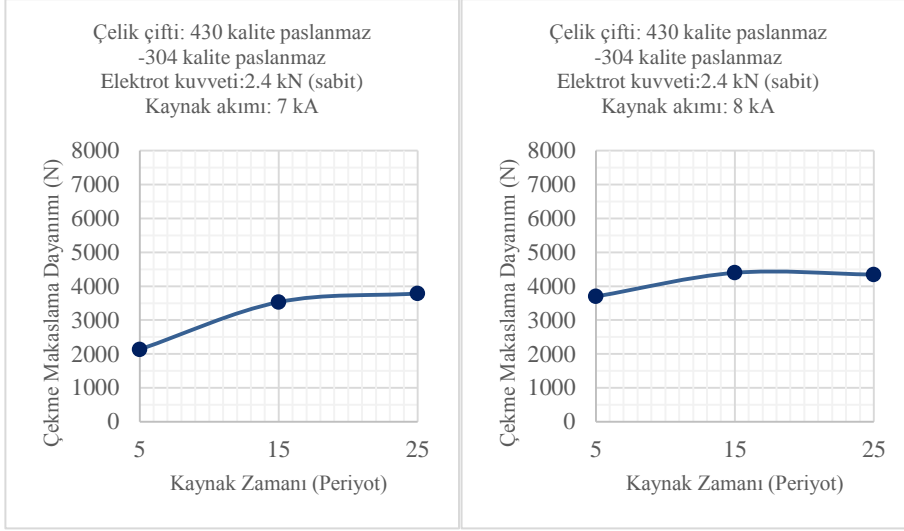


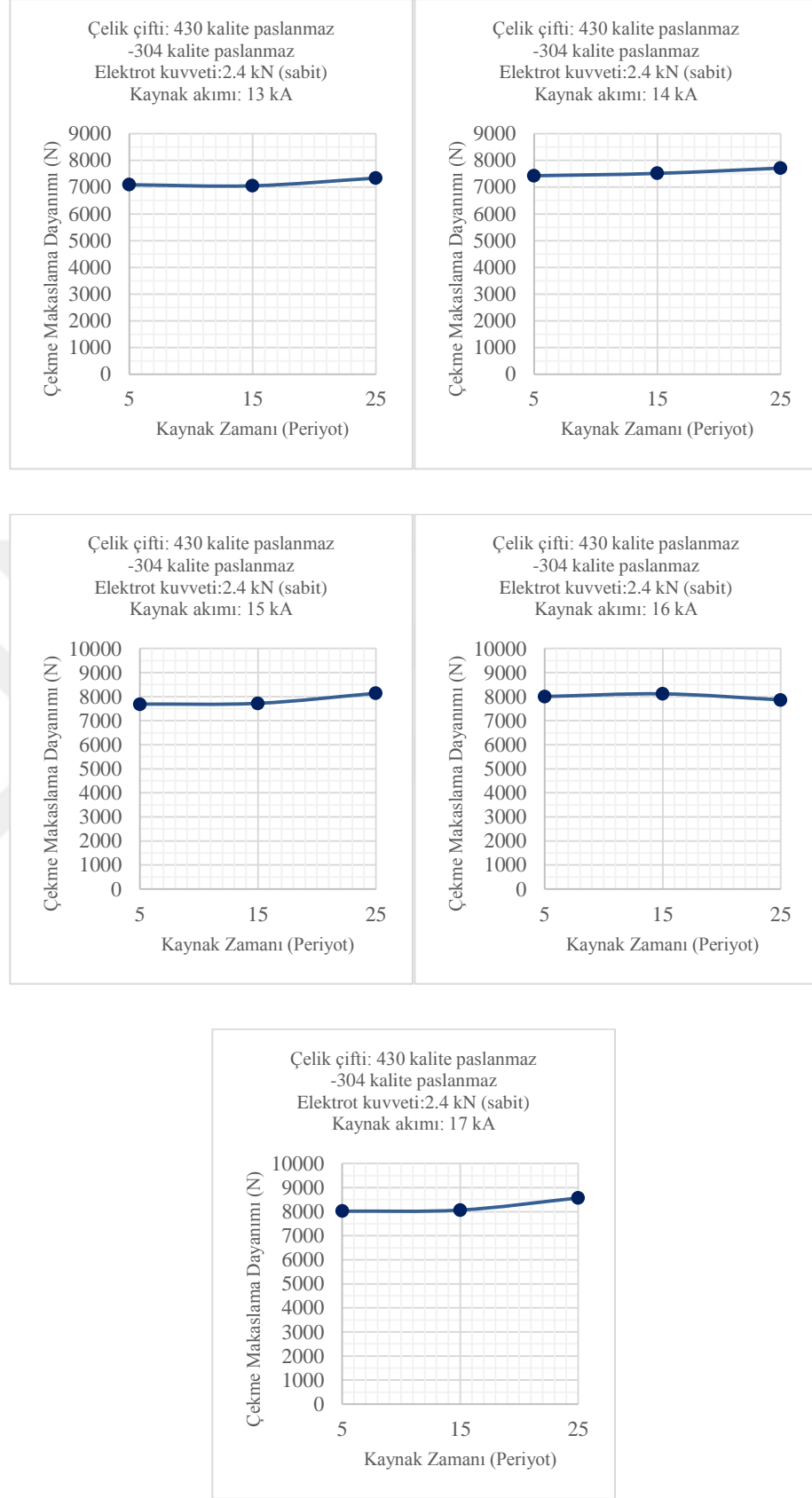


Şekil 5.15. Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 430 kalite paslanmaz-430 kalite paslanmaz çelik çifti

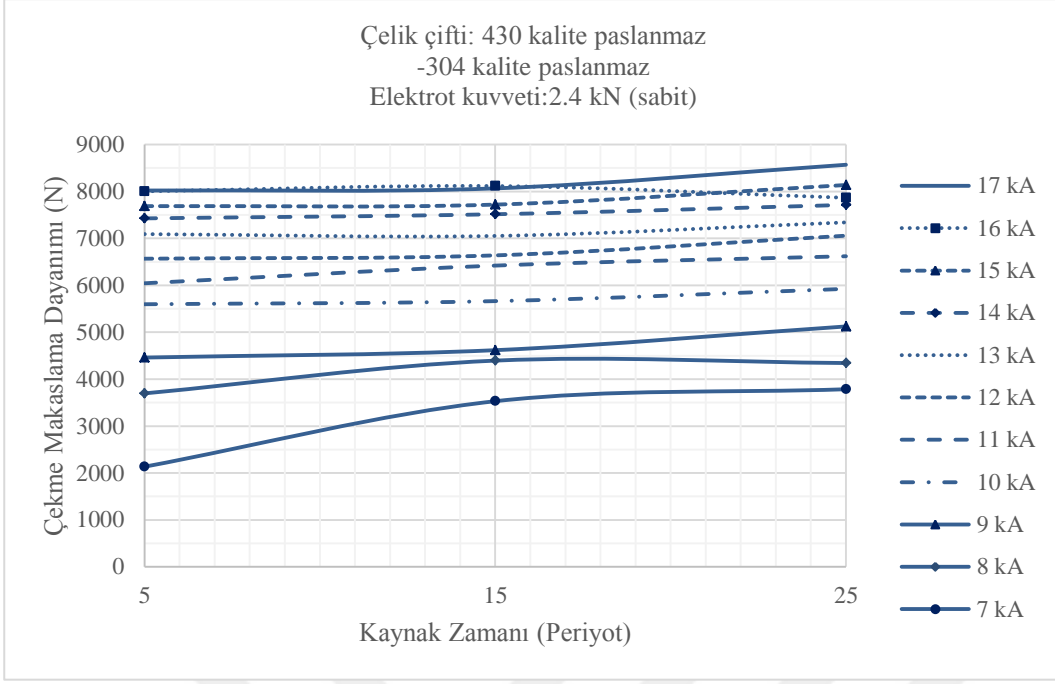


Şekil 5.16. Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 430 kalite paslanmaz-430 kalite paslanmaz çelik çifti

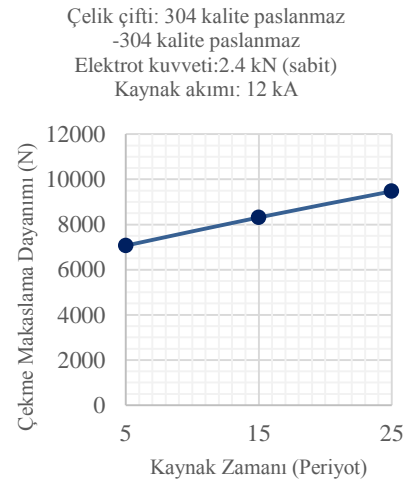
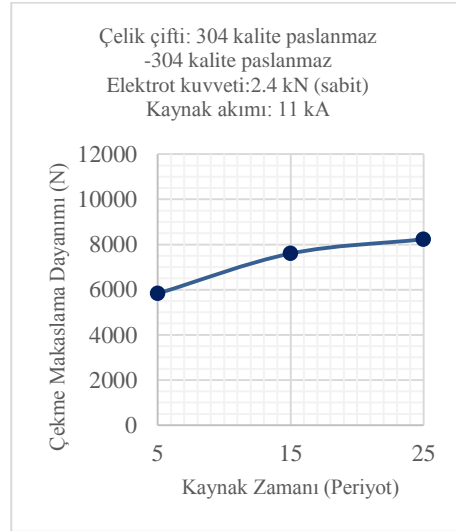
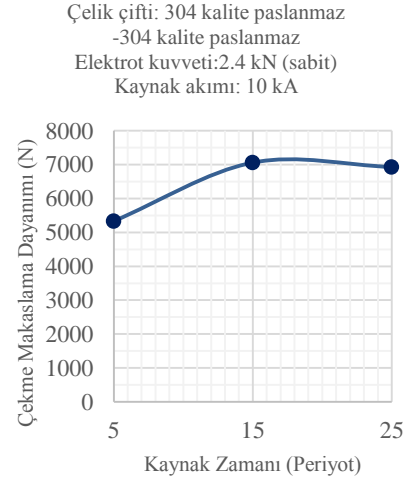
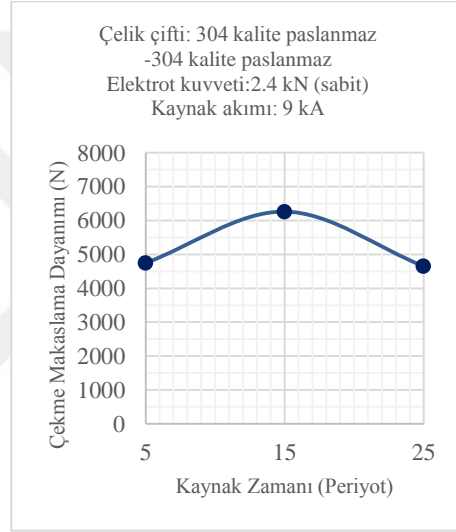
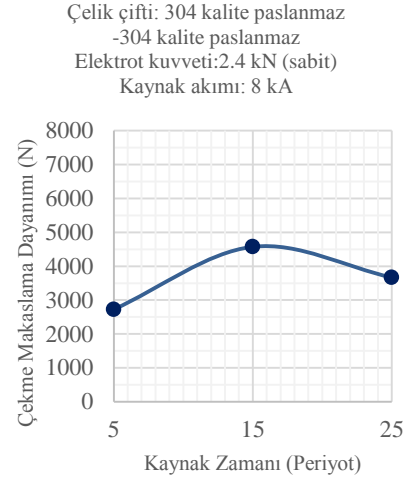
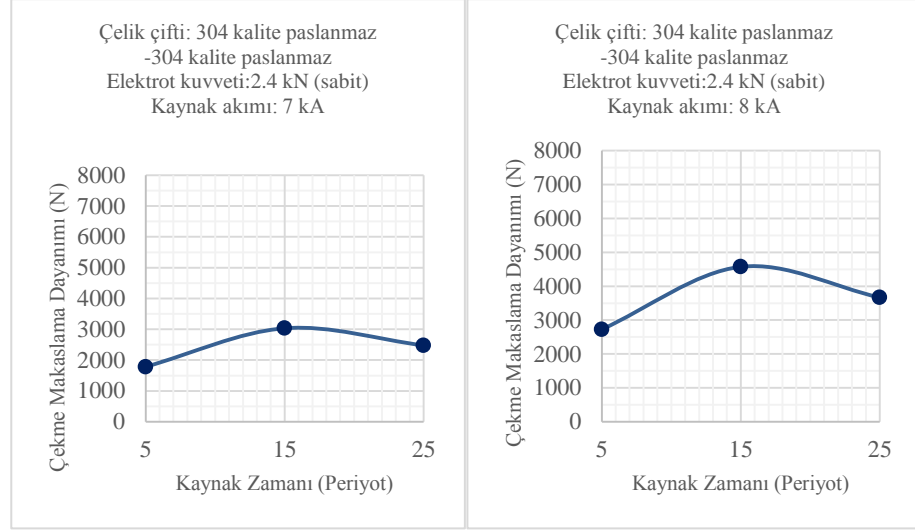


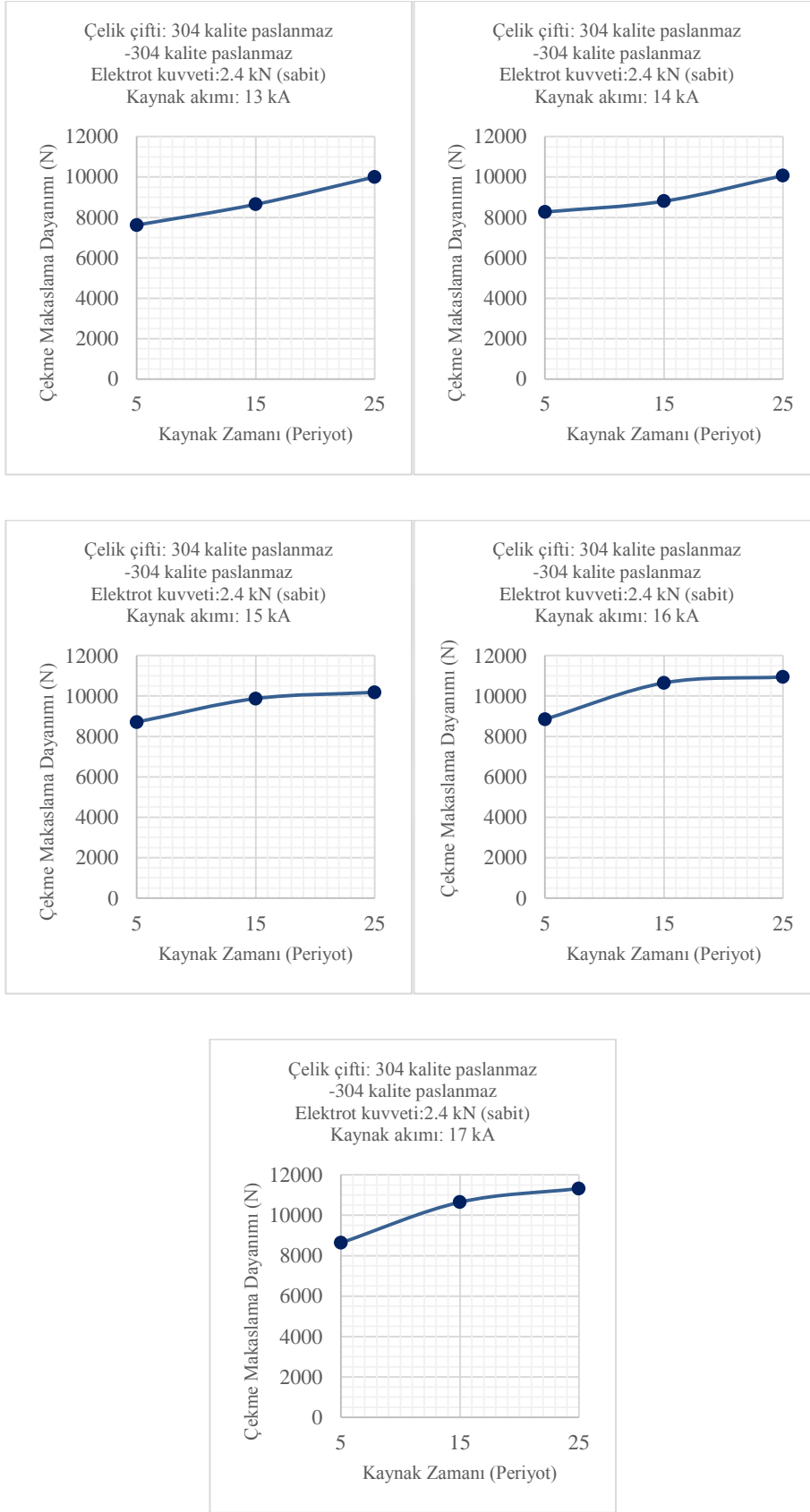


Şekil 5.17. Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 430 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti

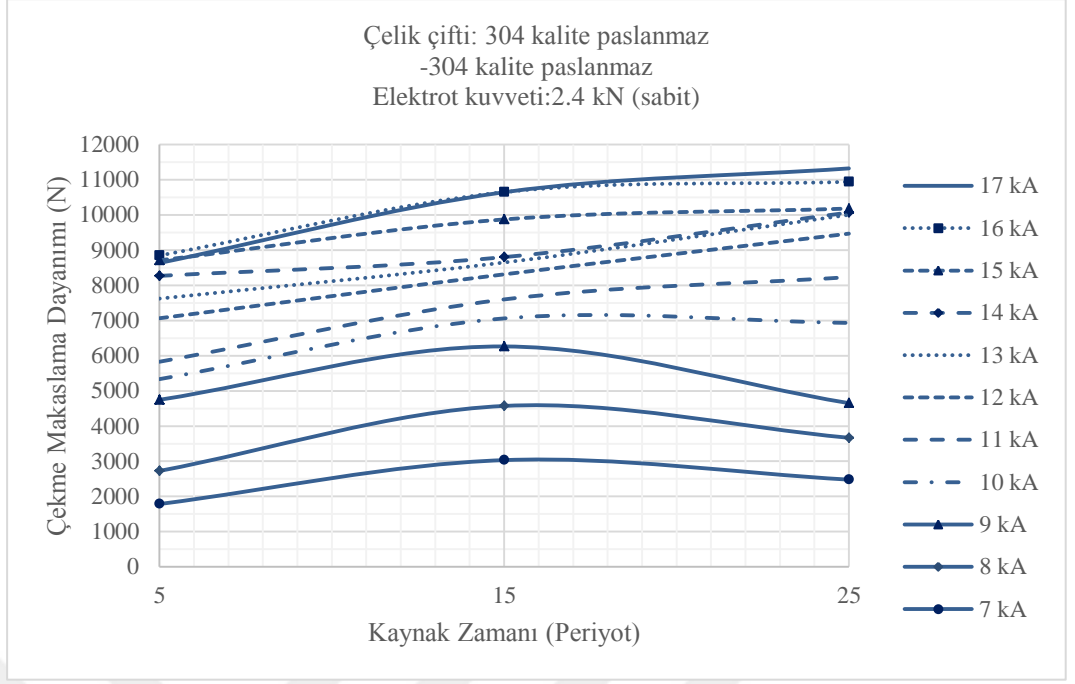


Şekil 5.18. Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 430 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti





Şekil 5.19. Farklı kaynak akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 304 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti



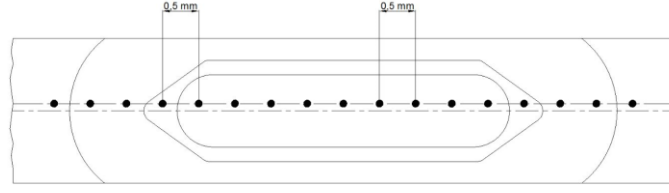
Şekil 5.20. Tüm akım şiddetlerinde kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi, 304 kalite paslanmaz-304 kalite paslanmaz çelik çifti

5.1.3. Vickers sertlik deneyi sonuçlarının irdelenmesi

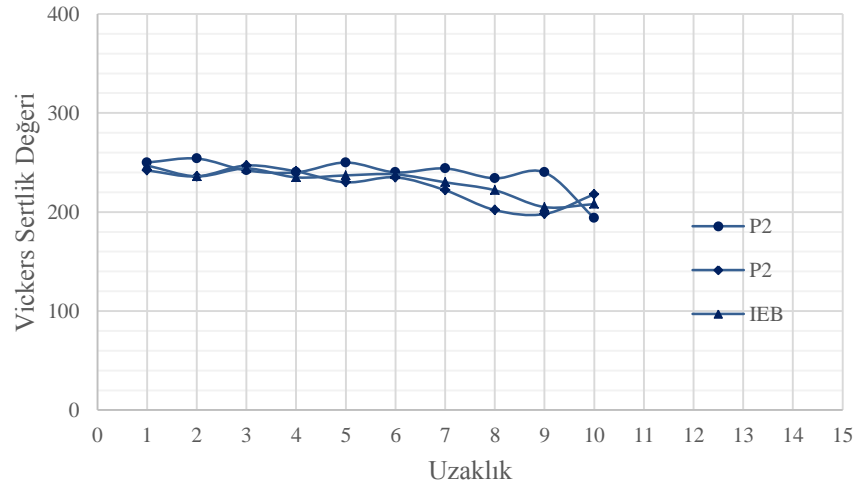
Şekil 5.21’de 430 kalite paslanmaz çelik, 304 kalite paslanmaz çelik ve galvanizli çelik numunelerinin kaynak çekirdeği bölgesindeki esas metal ve IEB bölgelerinin sertlik ölçüm değerleri verilmiştir.

Sertlik deneyi için, çekme-makaslama dayanımı testlerinde her bir kaynak süresindeki maksimum çekme-makaslama dayanıma sahip numuneler seçilmiştir. Sertlik izi kaynak çekirdeği boyunca 0.5 mm aralıklarla atılmıştır.

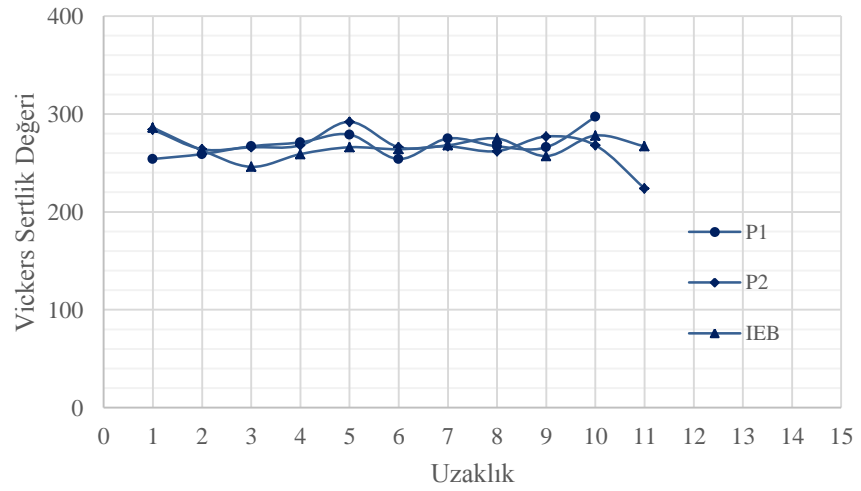
IEB bölgesi sertlik değeri ile kaynak çekirdeğindeki esas metal üzerinden alınan sertlik değeri arasında çok büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir. Bunun nedeni krom karbür çökeltme etkisinin tane sınırlarına çok yakın çok ince bir bölgede gerçekleşmesidir. Bilindiği gibi, krom karbür çökeltmesine neden olan iki temel element krom ve karbondur. Deneylerde kullanılan 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimlerine bakıldığında krom miktarı krom karbür çökeltmesi oluşturmak için elverişlidir, ancak karbon oranlarına baktığımızda 430 kalite paslanmaz çelikte bu oran %0.038 iken 304 kalite paslanmaz çeliğin karbon oranı %0,0531’dir. Literatürde krom karbür çökeltmesi için gerekli olan karbon miktarı %0.5’tir. Bu sebeple 304 kalite paslanmaz çeliğin kaynağında krom karbür çökeltmesi oluşması beklenmektedir. Nitekim, mikroyapı inceleme sonuçlarından da görüleceği gibi bu çökeltme iç yapıda gözlemlenmiştir. Yalnızca çok ince bir tabaka halinde gerçekleştiği için sertlik deneyi sonuçlarına etki etmemiştir.

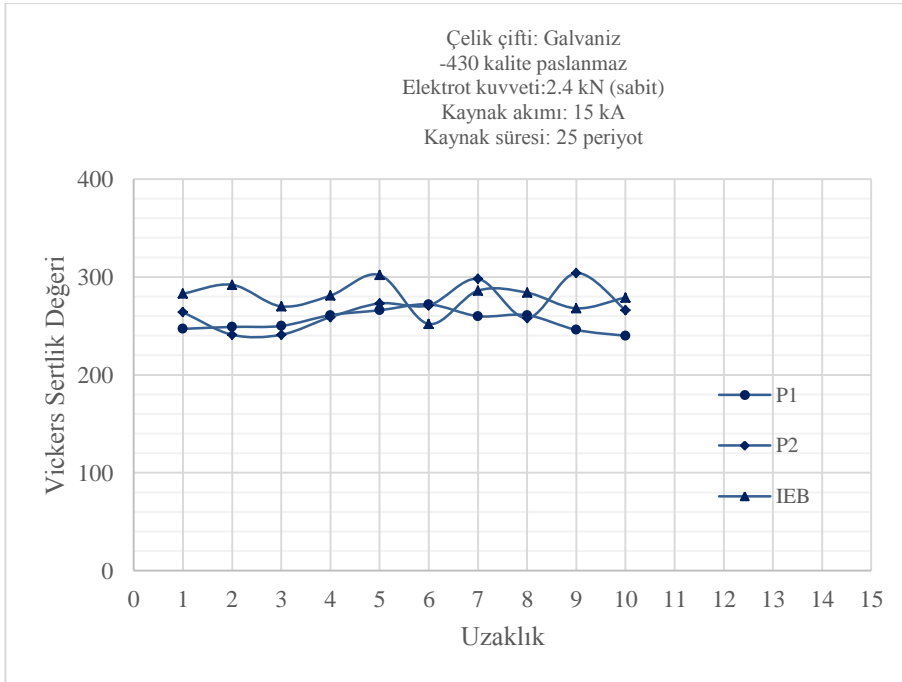
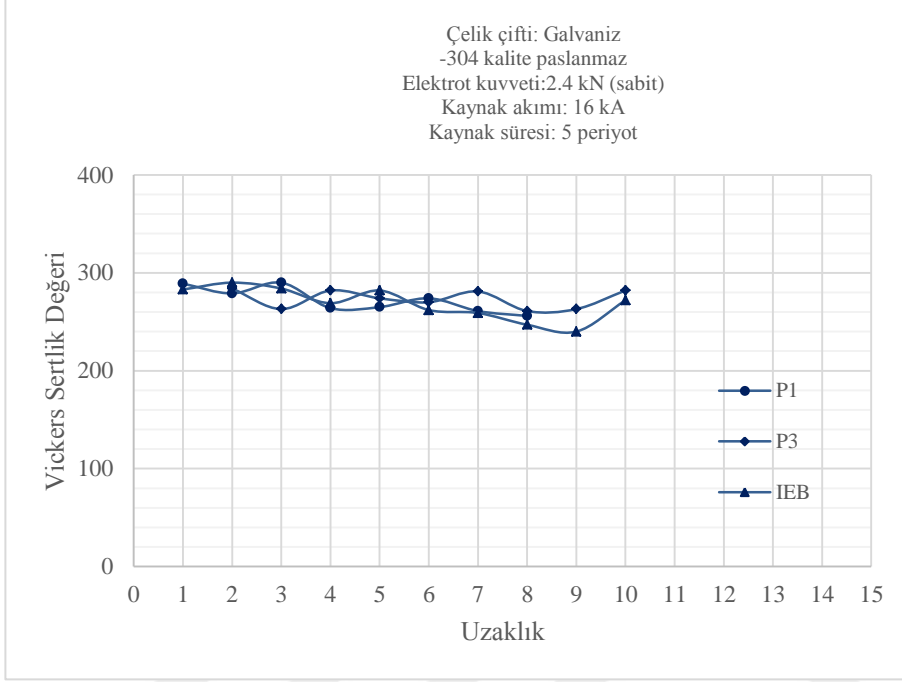
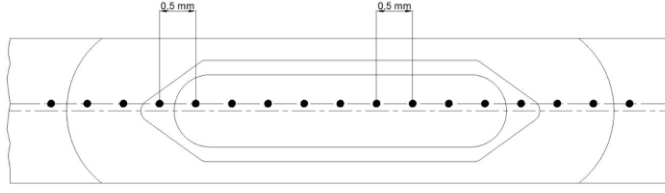


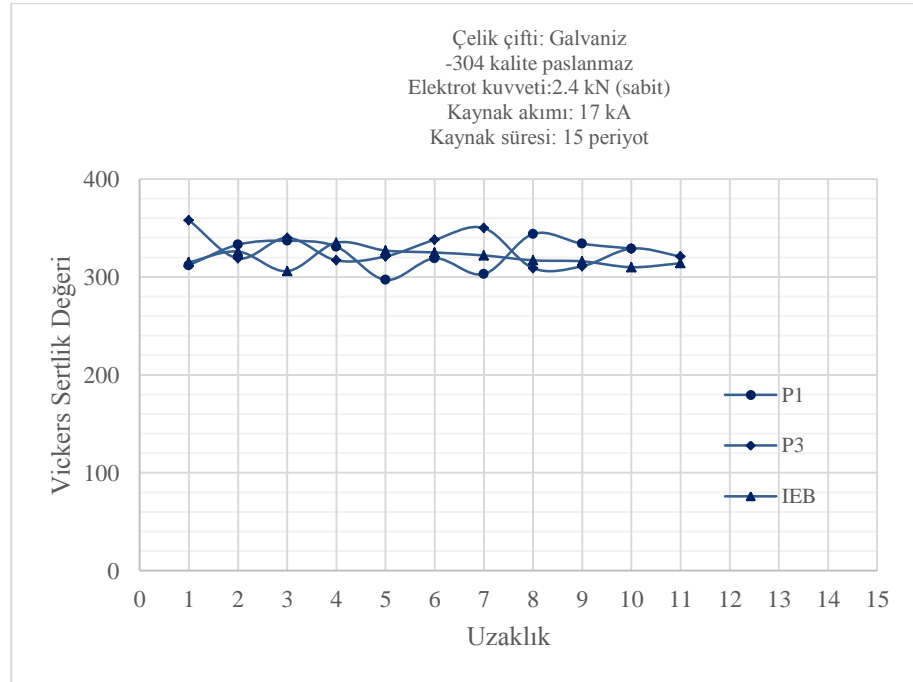
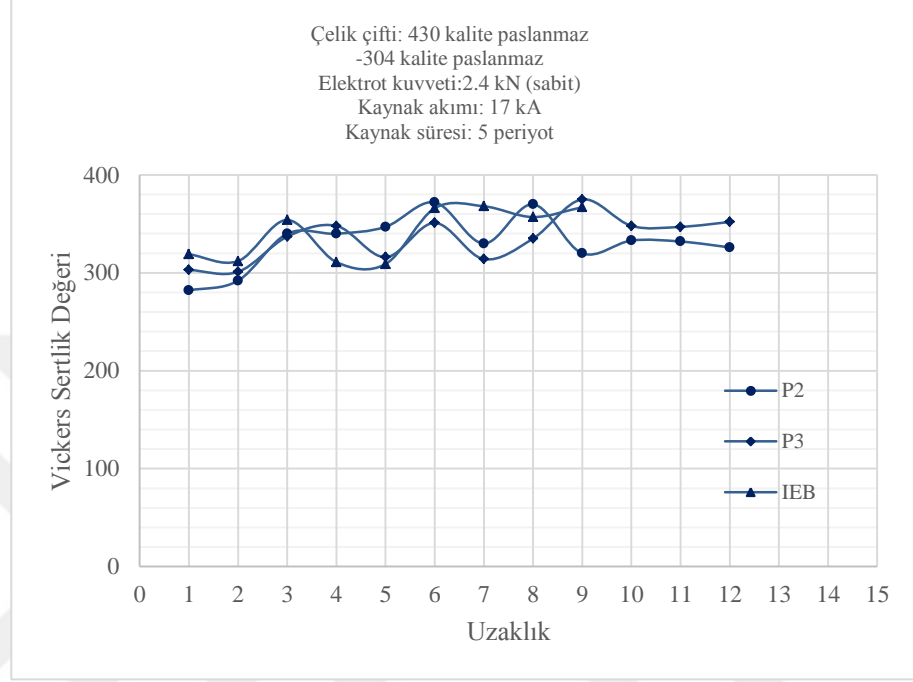
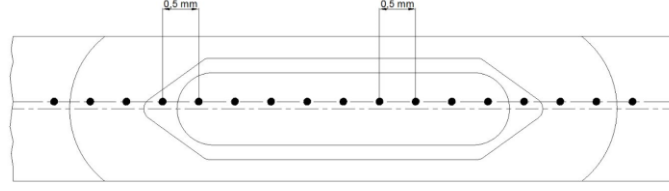
Çelik çifti: 430 kalite paslanmaz
 -430 kalite paslanmaz
 Elektrot kuvveti: 2.4 kN (sabit)
 Kaynak akımı: 17 kA
 Kaynak süresi: 5 periyot

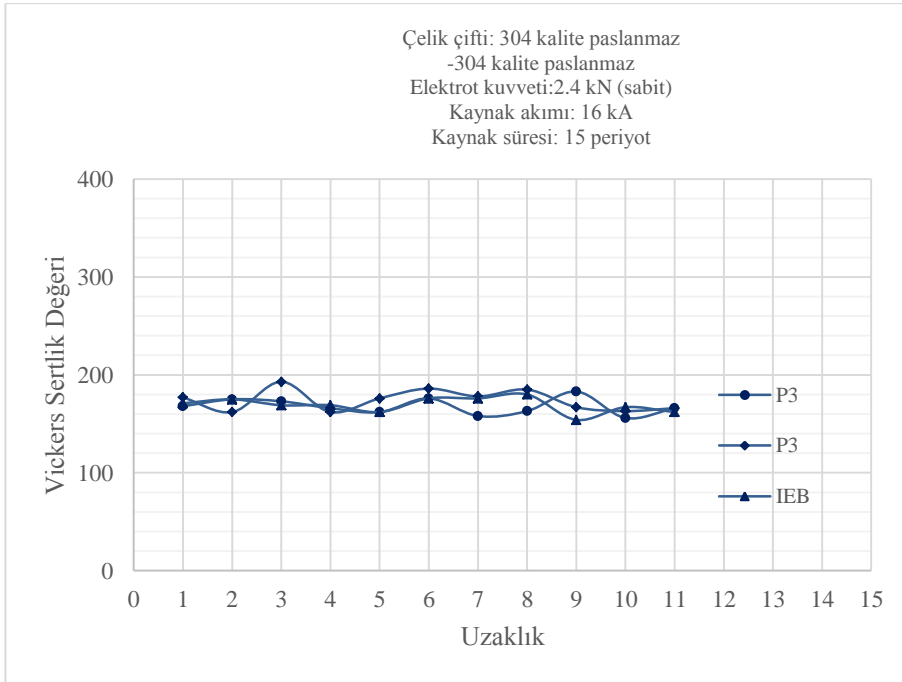
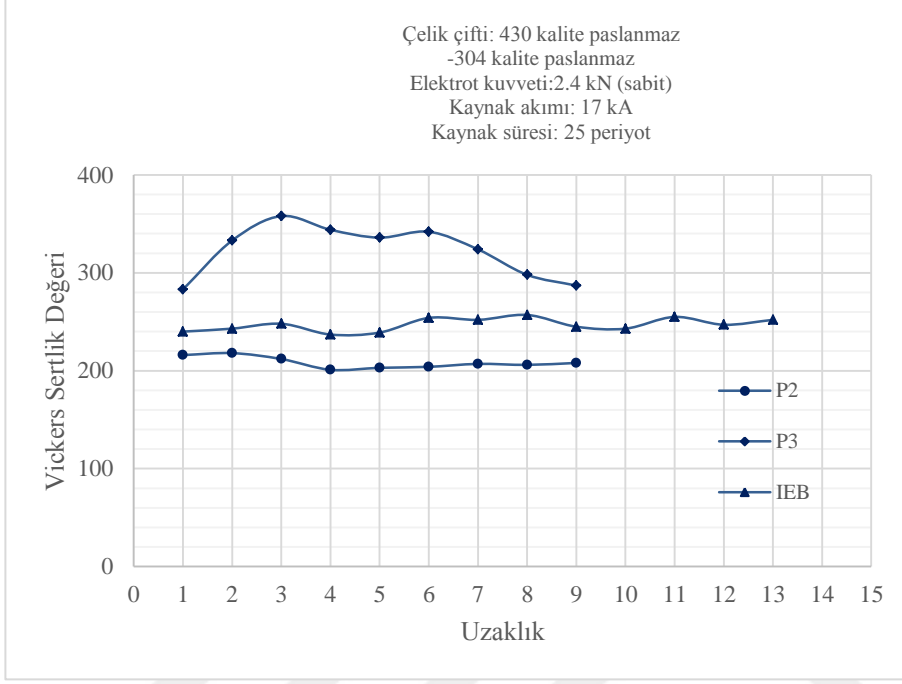
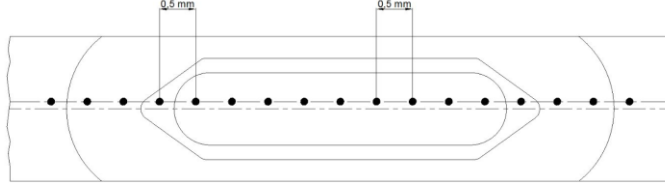


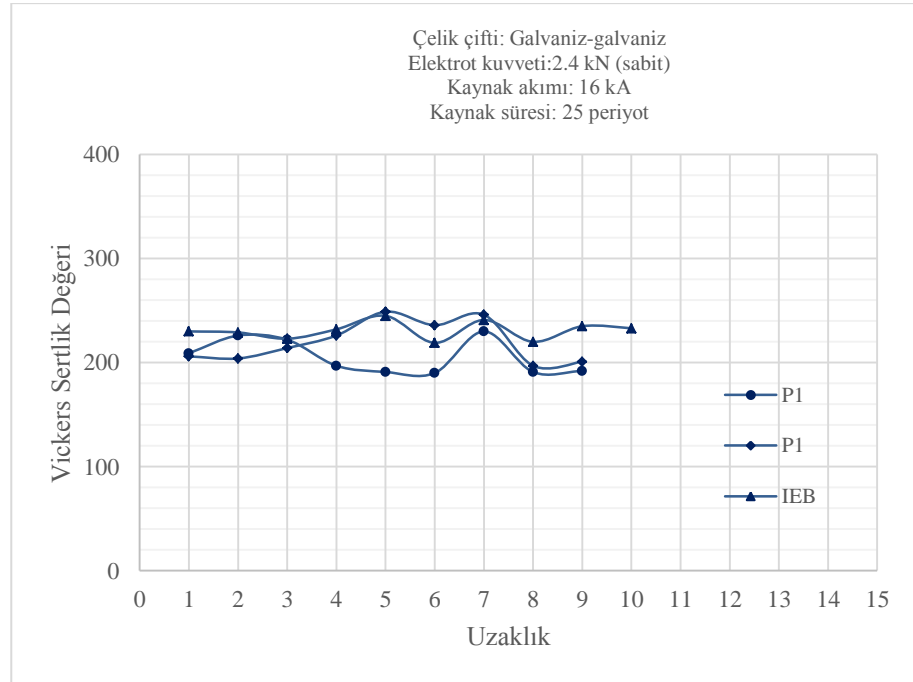
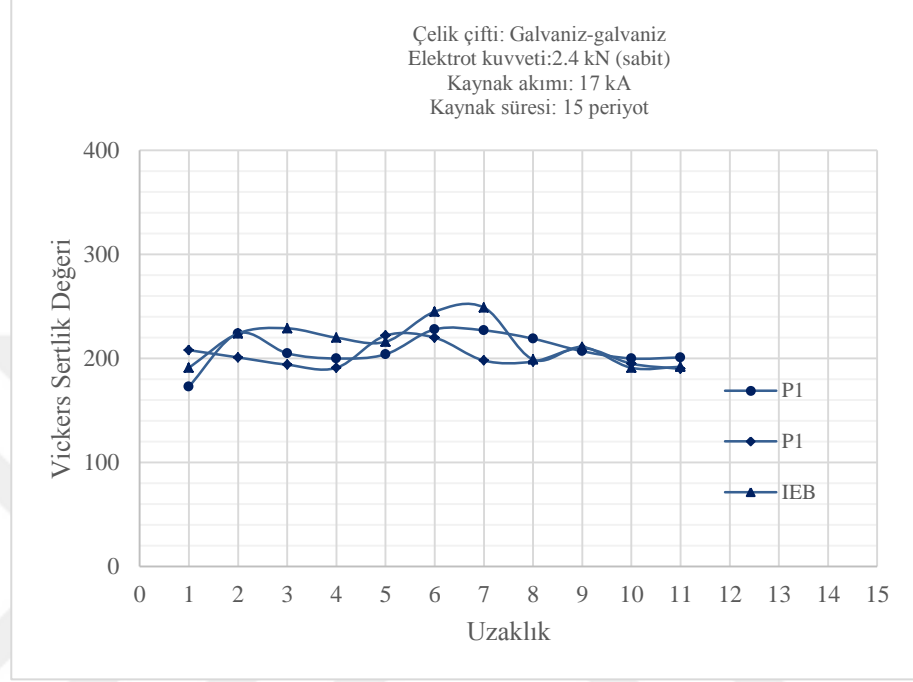
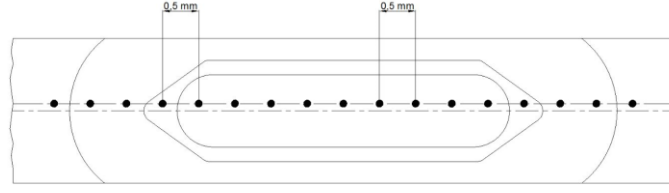
Çelik çifti: Galvaniz
 -430 kalite paslanmaz
 Elektrot kuvveti: 2.4 kN (sabit)
 Kaynak akımı: 16 kA
 Kaynak süresi: 15 periyot

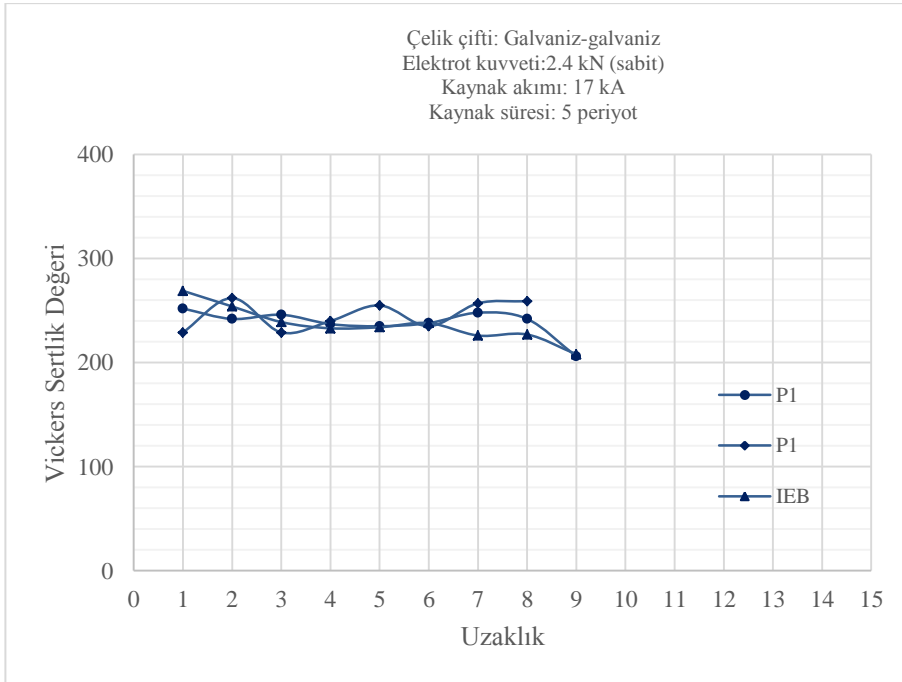
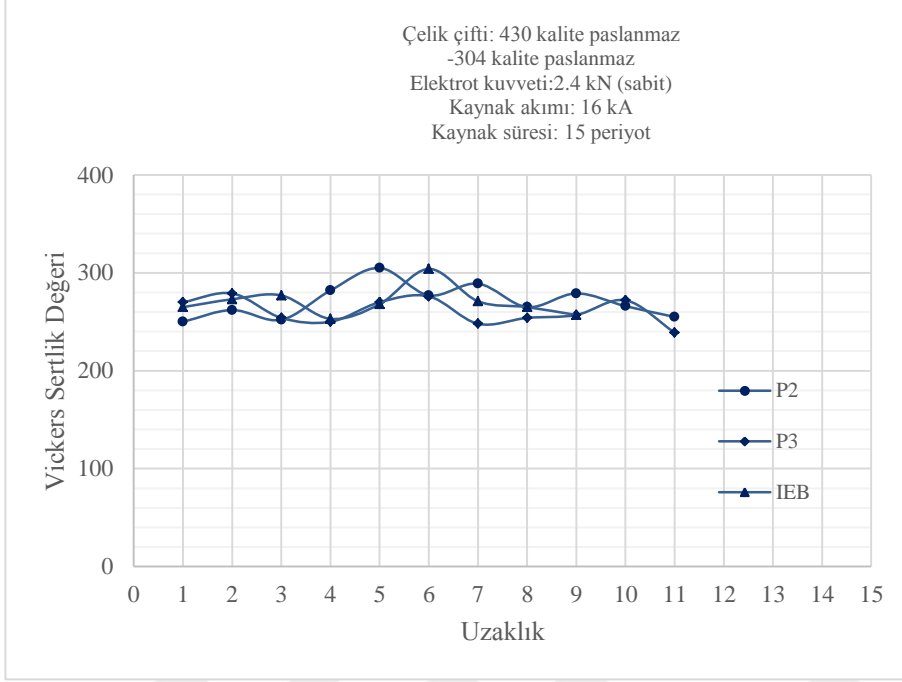
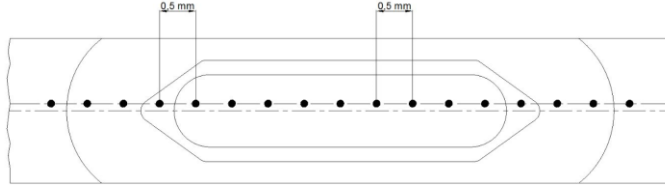


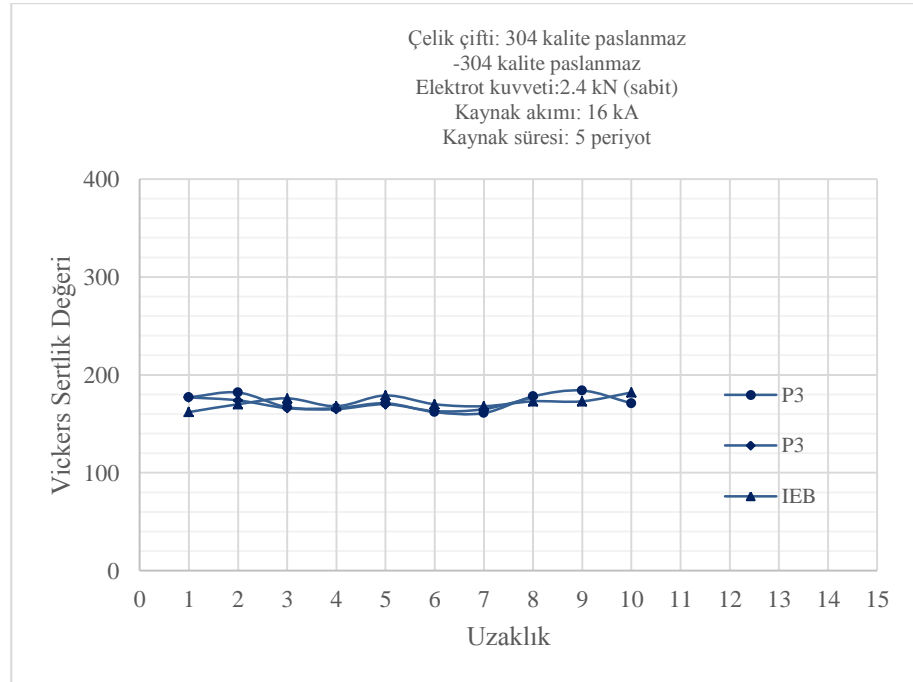
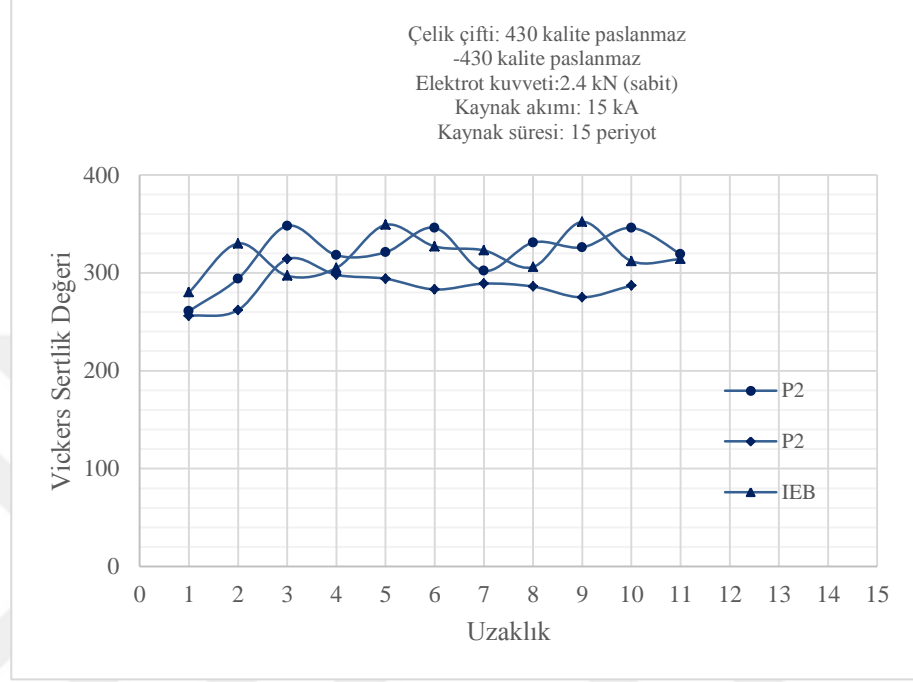
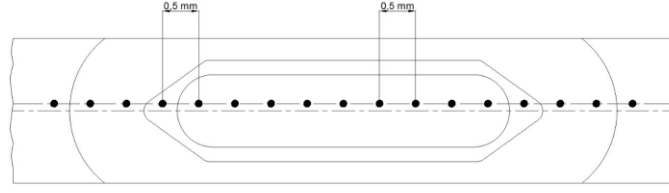


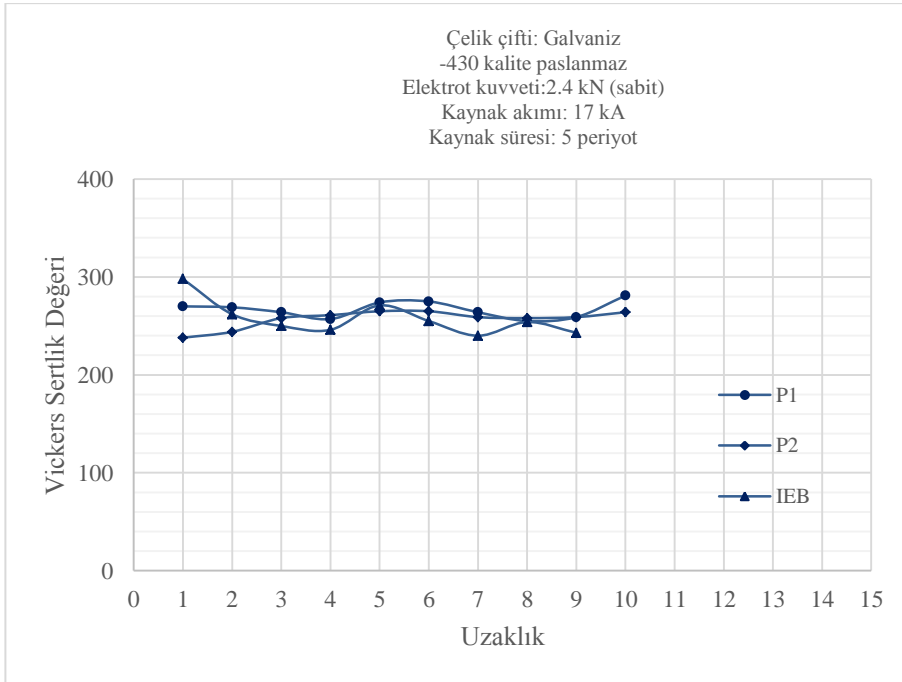
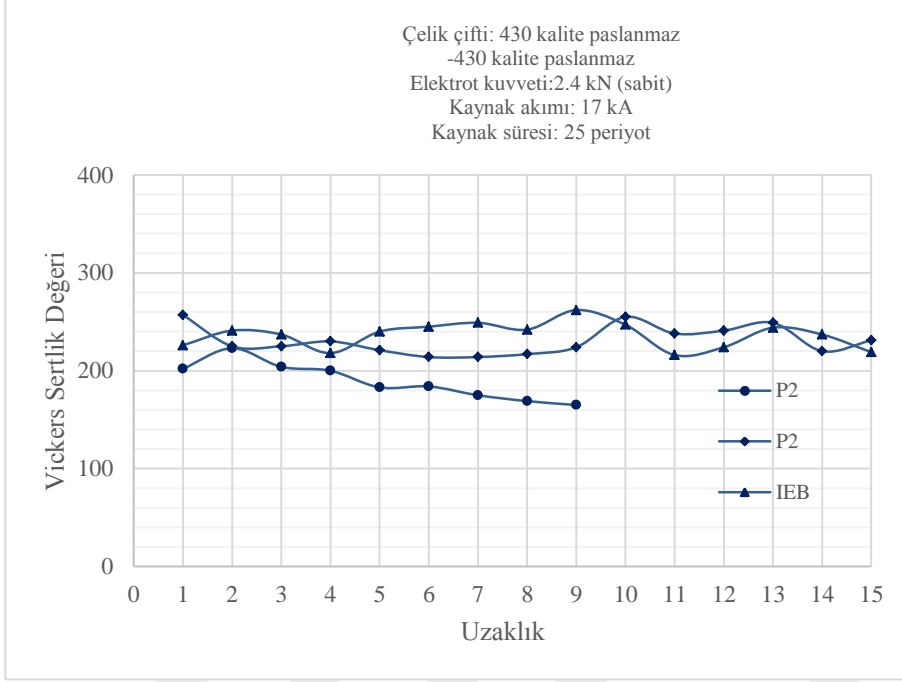
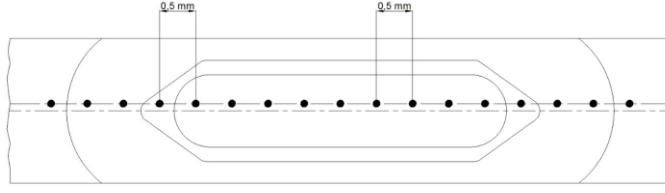


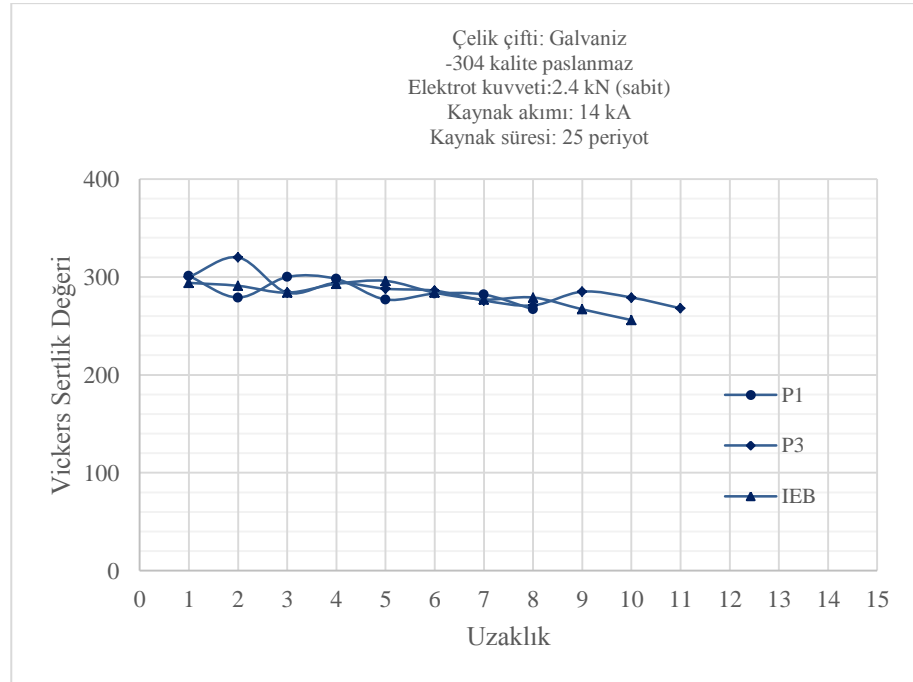
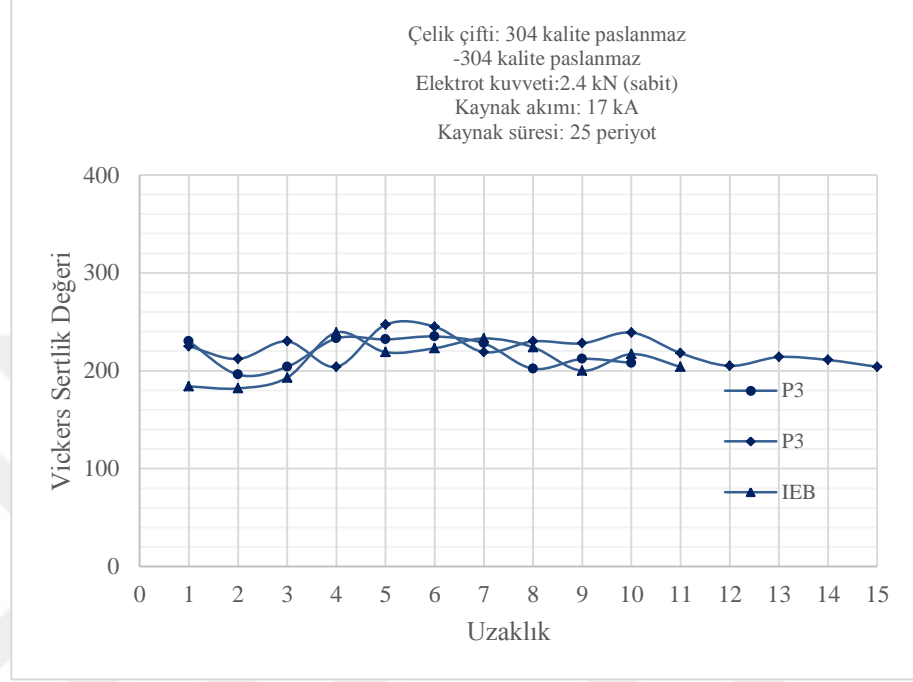
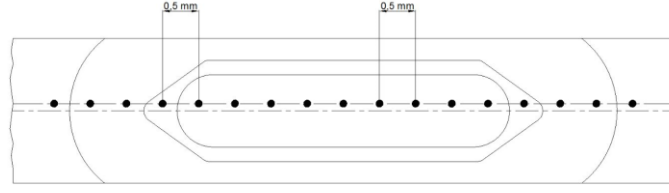












Şekil 5.21. Elektrik nokta direnç kaynağı yapılmış aynı kaynak süresinde maksimum çekme-makaslama dayanımına sahip numunelerin esas metal ve IEB Vickers sertlik deneyi sonuçları




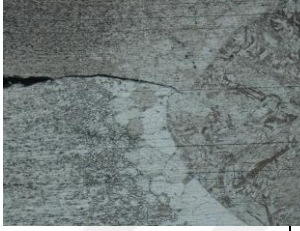






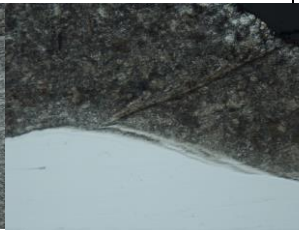



5.1.4. Mikroyapı inceleme sonuçları










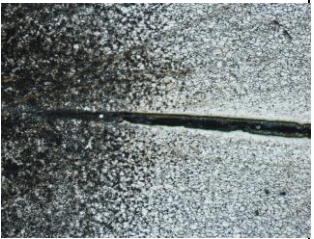




430 kalite paslanmaz çelik, 304 kalite paslanmaz çelik ve galvanizli çelik numunelerinin kaynaklı bağlantıları ile esas metal ve çekirdek üzerinde oluşan metalurjik yapıyı incelemek amacıyla numunelerin mikroyapısı elektron mikroskopu ile incelenmiştir.















Hem galvaniz hem de 304-430 kalite paslanmaz çelik kaynaklarında kaynak süresi (periyot) arttıkça IEB bölgesinde tanelerin irileştiği görülmektedir. Bunun sebebi kaynak süresi boyunca malzemeye olan ısı girdisinin artmasıdır.

İçyapı fotoğraflarının incelenmesiyle 430 ve 304 paslanmaz çelik malzemenin kaynaklı bağlantısında tane sınırlarında IEB bölgesinde krom karbür çökmesi gözlemlenmiştir. 304 kalite paslanmaz çelik ostenitik, 430 kalite paslanmaz çelik ise ferritik paslanmaz çelik türüdür. Ostenitik çelik kaynaklarında krom karbür çökmesi oluşum riski yüksekken ferritik çelik kaynaklarında ise yüksek sıcaklık ve ısı girdisinde tane büyümesine rastlanır. Her iki durum da içyapı incelenmesi sırasında gözlemlenmiştir.

Ostenitik paslanmaz çeliklerde IEB bölgesinde ve tane sınırlarında oluşan krom karbür çökmesi bu bölgelerde hassas bir yapının oluşmasına yol açarlar. Yüksek ısı girdisi ile krom tane sınırlarına doğru hareket eder ve krom miktarındaki azalmaya bağlı olarak da korozyon dayanımı azalır aynı zamanda kromun karbon ile birleşerek krom karbürü oluşturması ile de krom karbür çökmesi meydana gelir.

	Esas Metal	IEB-1	IEB-2
<p>Çelik çifti: 430 kalite paslanmaz -430 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 5 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: Galvaniz -430 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 16 kA Kaynak süresi: 15 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: Galvaniz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 16 kA Kaynak süresi: 5 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: Galvaniz -430 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 15 kA Kaynak süresi: 25 periyot Ölçek: 20x</p>			
<p>Çelik çifti: 430 kalite paslanmaz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 5 periyot Ölçek: 10x</p>			

	Esas Metal	IEB-1	IEB-2
<p>Çelik çifti: Galvaniz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 15 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: 430 kalite paslanmaz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 25 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: 304 kalite paslanmaz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 16 kA Kaynak süresi: 15 periyot Ölçek: 20x</p>			
<p>Çelik çifti: Galvaniz-galvaniz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 15 periyot Ölçek: 20x</p>			
<p>Çelik çifti: Galvaniz-galvaniz Kaynak akımı: 16 kA Kaynak süresi: 25 periyot Ölçek: 20x</p>			

	Esas Metal	IEB-1	IEB-2
<p>Çelik çifti: 430 kalite paslanmaz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 16 kA Kaynak süresi: 15 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: Galvaniz-galvaniz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 5 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: 430 kalite paslanmaz -430 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 15 kA Kaynak süresi: 15 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: 304 kalite paslanmaz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 16 kA Kaynak süresi: 5 periyot Ölçek: 10x</p>			
<p>Çelik çifti: 430 kalite paslanmaz -430 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 25 periyot Ölçek: 10x</p>			

	Esas Metal	IEB-1	IEB-2
<p>Çelik çifti: Galvaniz -430 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 5 periyot Ölçek: 20x</p>			
<p>Çelik çifti: 304 kalite paslanmaz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 17 kA Kaynak süresi: 25 periyot Ölçek: 20x</p>			
<p>Çelik çifti: Galvaniz -304 kalite paslanmaz Kaynak akımı: 14 kA Kaynak süresi: 25 periyot Ölçek: 20x</p>			

Şekil 5.22. Deney parçalarının mikroyapı resimleri

6. SONUÇLAR

Günümüzde mutfak gereçleri, otomotiv endüstrisi, savunma ve havacılık sanayi gibi birçok alanda kullanım yeri olan ostenitik ve ferritik paslanmaz çelik ve yine çok farklı endüstriyel alanlarda yaygın kullanımı olan galvanizli çeliğin elektrik nokta direnç kaynağı ile birleştirilme noktasının dayanım, sertlik ve mikroyapı incelemesi yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Çekme-makaslama deneyine tabi tutulan numuneler fiziksel olarak incelendiğinde, düşük akım şiddetinde çekirdek kesitinin küçük ve daha az sağlam olması sebebiyle ayrılma kopması meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Akım şiddeti arttıkça ortalama 9-10 kA akım arasında numuneler düğme şeklinde kopmuştur.
- Akım şiddetinin 11-12 kA değerine ulaştığı noktalarda bazı numunelerde yırtılma şeklinde kopma meydana gelmiştir. Daha yüksek akım şiddetlerinde (13-17 kA) ise malzemenin tipine bağlı olarak kaynak dikişiyle birlikte malzemenin yırtılması şeklinde kopma gözlemlenmiştir.
- Numune tipine bağlı olarak ortalama 10-12 kA akım şiddeti değerinde malzeme düğmeleme şeklinde koptuğu için bu akım şiddeti elektrik nokta direnç kaynağı için yeterlidir denilebilir. Aksi halde akım şiddeti arttıkça malzeme yırtılma şeklinde koptuğu için malzeme üzerinde geri dönüşü olmayan hasar oluşmaktadır.
- Kaynak süresi sabitken, her bir kaynak süresinde maksimum çekme-makaslama dayanımı 15-17 kA kaynak akım şiddetinde görülmüştür.
- Kaynak akımı arttırıldıkça yüksek kaynak sürelerinde kaynak ısı girdisi arttığından kaynak çekirdeği kesiti büyümekte ve daha yüksek çekme-makaslama dayanımı elde edilmektedir.

- 12-15 kA kaynak akım şiddeti değerleri aralığında sac yüzeylerinde fişkırmaya oluşması, bağlantının çekme-makaslama dayanımında düşmelere yol açabilmiştir.
- 15-17 kA kaynak akım şiddetleri arasında hem sacların üst yüzeylerinde hem de saclar arasında fişkırmaya oluşmaktadır.
- 5 periyot kaynak süresinde numunelerin çekme-makaslama dayanımları incelendiğinde, en yüksek çekme makaslama dayanımının 16-17 kA kaynak akım şiddetinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. En düşük çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti galvanizli-galvanizli çelik çiftinin kaynağı iken en yüksek çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti 304 kalite paslanmaz çelik çifti kaynağıdır.
- 15 periyot kaynak süresinde numunelerin çekme-makaslama dayanımları incelendiğinde, en yüksek çekme makaslama dayanımının 15-17 kA kaynak akım şiddetinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. En düşük çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti galvanizli-galvanizli çelik çiftinin kaynağı iken en yüksek çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti 304 kalite paslanmaz çelik çifti kaynağıdır.
- 25 periyot kaynak süresinde numunelerin çekme-makaslama dayanımları incelendiğinde, en yüksek çekme makaslama dayanımının 14-17 kA kaynak akım şiddetinde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. En düşük çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti galvanizli-galvanizli çelik çiftinin iken en yüksek çekme-makaslama dayanımına sahip kaynak çifti 304 kalite paslanmaz çelik çifti kaynağıdır.
- 15 periyot kaynak süresindeki çekme-makaslama dayanımı 5 periyotta elde edilen değerden daha yüksekken, 25 periyot kaynak süresindeki değerle arasında çok fark gözlemlenmemiştir. Bunun sonucunda ilgili elektrot kuvveti, tutma ve sıkıştırma süresinde numuneler için 15 periyot kaynak süresi yeterlidir denilebilir.

- Kaynak süresinin artmasıyla kaynak bölgesine olan ısı girdisi de artmaktadır. Bu durum bağlantının çekme-makaslama dayanımının da artmasına yol açmaktadır.
- Vickers sertlik deneyi sonucuna göre, IEB bölgesi sertlik değeri ile kaynak çekirdeğindeki esas metal üzerinden alınan sertlik değeri arasında çok büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir. Bunun nedeni krom karbür çökelme etkisinin tane sınırlarına çok yakın çok ince bir bölgede gerçekleşmesidir.
- İy yapı fotoğraflarının incelenmesiyle 430 ve 304 paslanmaz çelik malzemenin kaynaklı bağlantısında tane sınırlarında IEB bölgesinde krom karbür çökelmesi gözlemlenmiştir.



7. ÖNERİLER

Bu çalışmada elektrik nokta direnç kaynağı özelliklerinin incelenmesi için ostenitik, ferritik ve galvanizli çelik malzemeler seçilmiştir. Dayanım, hafiflik ve mukavemet açısından optimum özelliklere sahip, ilgili saclar ile kaynak yapıp karşılaştırılabilecek farklı malzemeler ile çalışma geliştirilebilir.

Aynı zamanda ilgili çalışmanın devamı olarak kaynak bölgesinin çekirdek boyutu ve korozyon dayanımları da ölçülüp karşılaştırılabilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- 2012, Metal Teknolojisi Elektrik Direnç Kaynağı, T.C Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 64s.
- Akkuş, A.**, 2006, Galvanizli ve Ostenitik Paslanmaz Çelik Sacların Nokta Kaynaklı Bağlantılarının Yorulma Dayanımlarının Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 99s.
- Aksoy, M.**, 2000, Basınç Kaynağı ve Uygulama Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 46s.
- Akyol, M.**, 2001, Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 132s.
- Al-Mukhtar, A. and Doos Al-Attaby, Q.M.**, 2003, Investigation of some welding parameters in resistance spot welding of austenitic stainless steel, *5th Science Conference of Baghdad University*, 15s.
- American Welding Society**, 2007, Structural Welding Code, AWS D1.1.
- Aslanlar, S.**, 2006, The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry, *Materials & Design*, Volume 27: 125-131s.
- Aslanlar, S.**, 2016, “Elektrik Direnç Nokta Kaynağı”, <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/71097/42987/1.ednkay.pdf> (Erişim Tarihi: Nisan 2018)
- Ataçelik,** “Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkileri”, <http://www.atacelik.com/etkileri.html> (Erişim Tarihi: Mayıs 2018)
- Ceyhun, V.**, 1992, Ferritik ve Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik İle Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme-Makaslama Dayanımına ve Tanelerarası Korozyona Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 122s.
- Doos Al-Attaby, Q.M. and Al-Jumaili, S.A.K.**, 2015, Mechanical properties investigation of multi-lap stainless steel sheets, *Journal of Materials Science Research*, Vol. 4 No. 4: 34-42s.
- Durdu, M.E.**, 2006, Punta Kaynağı ve Perçin Bağlantılarının Mukavemetlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 50s.
- Eker Akdoğan, A.**, 2009, “Paslanmaz Çelikler ve Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu”, http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/korozyonvekoruma/Paslanmaz_Celik_Korozyonu_soon.pdf (Erişim Tarihi: Nisan 2018)
- Erhuay, C.C, Ateş, F., İnce, U., Bıyık, A. ve Davut, K.**, 2015, Projeksiyon Kaynağında Fıçırma ve Çapaklanma Düzeyinin Tanımlanmasına Yönelik Sayısal Bir Göstergenin Geliştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergidi Bildiriler Kitabı, 30s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erik, M.**, 2010, Farklı Kalınlıklarda Galvaniz Kaplanmış Çelik Sacların Nokta Direnç Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 97s.
- Granjon, H.**, 1991, *Fundamentals of Welding Metallurgy*, Woodhead Publishing, Abington, UK, 210s.
- İTÜ Akademi**, “Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti”, <http://akademi1.itu.edu.tr/dikicioglu/DosyaGetir/136531/PaslanmazkaynaklabveSchaffler.pdf> (Erişim Tarihi: Mayıs 2018)
- Kahraman, N.**, 2007, The influence of welding parameters on the joint strength of resistance spot-welded titanium sheets, *Materials & Design*, Volume 28: 420-427s.
- Karamış, M.B.**, 2005, İmalat Yöntemleri, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 404s.
- Khuenkaew, T. and Kanlaysiri, K.**, 2018, Optimizing the resistance spot-welding process for dissimilar stainless steels, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 361: 1-6 s.
- Kou, S.**, 2002, *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 480 s.
- Lippold, J.C. and Kotecki, D.J.**, 2005, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel*, John Wiley & Sons, New York, 376s.
- Manladan, S.M., Yusof, F., Ramesh, S., Zhang, Y., Luo, Z. and Ling Z.**, 2017, Microstructure and mechanical properties of resistance spot welded in welding-brazing mode and resistance element welded magnesium alloy/austenitic stainless steel joints, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 250: 45-54s.
- Marya M, and Gayden, X.Q.**, 2005, Development of requirements for resistance spot welding dual-phase (DP600) steels, *Welding Journal*, 84: 172-182s.
- Mat Din, N.A., Zuhailawati, H., and Anasyida, A.S.**, 2016, Resistance spot welding of AA5052 sheet metal of dissimilar thickness, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 114: 1-8 s.
- Odabaş, C.**, 2007, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 76s.
- Oerlikon**, “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, http://www.oerlikon.com.tr/paslanmaz_celiklerin_kaynagi.html (Erişim Tarihi: Mayıs 2018)
- Oerlikon**, “Özel Kaynaklar Üzerine Kısa Bilgiler”, http://www.oerlikon.com.tr/files/ozel_kaynaklar_uzerine_kisa_bilgiler.pdf (Erişim Tarihi: Mayıs 2018)
- Otomotiv Sanayi Buluşma Merkezi**, “Elektrik Nokta Direnç Kaynağını Etkileyen Temel Parametreler”, <http://www.otomotivsanayi.com/makale-detay/elektrik-direnc-kaynagini-etkileyen-temel-parametreler/UmZQYg42> (Erişim Tarihi: Mayıs 2018)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rao, S.S., Chhibber, R., Arora, K.S. and Shome, M.,** 2017, Resistance spot welding of galvanized high strength interstitial free steel, *Materials & Design*, Volume 246: 252-261s.
- Sakarya Üniversitesi,** “Paslanmaz Çeliklerin Kaynak İşlemi Esnasında Karşılaşılan Problemler ve Alınması Gereken Önlemler”, http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/57292/28611/paslanmaz_%C3%A7eliklerde_kaynak_problemleri-8.pdf (Erişim Tarihi: Nisan 2018)
- Sarıtaş,** “Paslanmaz Çelik”, <http://www.saritas.com.tr/paslanmaz/> (Erişim Tarihi: Mayıs 2018)
- Swantec,** “Parameters in Resistance Welding”, <http://www.swantec.com/parameters-in-resistance-welding.php> (Erişim Tarihi: Nisan 2018).
- Telepati San. Ve Tic. Ltd. Şti,** “Galvaniz Sonrası Kaynak”, <http://www.telepatireklamcilik.com/yazi-detay/100-galvaniz-sonrasi-kaynak-telepati-reklamcilik.html> (Erişim Tarihi: Mayıs 2018).
- Temel, M.A. ve Aran, A. ,** 2004, Paslanmaz Çelik Üretimi Kullanımı Standartları, Sarıtaş Teknik Yayın No:1, İstanbul, 113s.
- Ünlükal, E.,** 2007, Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kalitesinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93s.
- Wang Y, Zhang Z. and Feng, I.,** 2007, Effect of welding current on strength and microstructure in resistance spot welding of AZ31 Mg alloy, *Chinese Welding Journal*, 16: 37-41s.
- Worldironsteel,** “Galvanizli Çelik İle Paslanmaz Çeliğin Farkı Nelerdir?”, <http://www.worldironsteel.com/news/what-s-the-difference-between-galvanized-steel-11023716.html> (Erişim Tarihi: Mayıs 2018)
- Zhang W.H., Qui, X.M., Sun, D.Q. and Han, L.J.,** 2010, Effect of resistance spot welding parameters on microstructures and mechanical properties of dissimilar material joints of galvanized high strength steel and aluminium alloy , *Science and Technology of Welding and Joining*, Volume 16, 2011: 153-161s.
- Zhang, H. and Senkara, J.,** 2006, Resistance Welding Fundamentals and Applications, CRC Press, 456s.
- Zohoori-Shoar, V., Eslami, A., Karimzadeh, F. and Abbasi-Baharanchi, M.,** 2017, Resistance spot welding of ultrafine grained/nanostructured AL 6061 alloy produced by cryorolling process and evaluation of weldment properties, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 26: 84-93s.