

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DP600-DP800 SAÇLARININ ELEKTRİK DİRENÇ  
NOKTA KAYNAK YÖNTEMİYLE  
BİRLEŞTİRİLMESİNDE HASAR MODUNUN TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yusuf Sadi ASLANLAR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ÖZSARAÇ**

**Şubat 2019**


T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DP600-DP800 SAÇLARININ ELEKTRİK DİRENÇ  
NOKTA KAYNAK YÖNTEMİYLE  
BİRLEŞTİRİLMESİNDE HASAR MODUNUN TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Yusuf Sadi ASLANLAR

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 26/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr.  
Uğur ÖZSARAC  
Jüri Başkanı

  
Dr. Öğr. Üyesi  
Erdiñ İLHAN  
Üye

  
Dr. Öğr. Üyesi  
Volkan ONAR  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yusuf Sadi ASLANLAR

26/02/2019



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübe, bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, tezim boyunca beni her konuda en ince ayrıntısına kadar titiz bir şekilde bilgilendirip yönlendiren, değerli danışman hocam Prof. Dr. Uğur ÖZSARAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, Dr.Öğretim Üyesi Volkan ONAR'a, Araştırma Görevlisi Fatih ÖZEN'e, Dr.Öğretim Üyesi Nuri AKKAŞ'a, Erman FERİK' e ve Melih KEKİK'e teşekkür ederim.

Laboratuvar olanakları için Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü' ne, ALİMEX Alüminyum A.Ş'ne, YILDIZ KALIP A.Ş. AR-GE Departmanı'na ve BORÇELİK AR-GE Merkezi'ne teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyip motivasyonumu yukarıda tutmamı sağlayan, beni her konuda destekleyen anneme, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve örnek aldığım babam Prof.Dr. Salim ASLANLAR'a ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	xiii
ÖZET .....	xvii
SUMMARY .....	xviii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ ÇELİKLER.....	5
2.1. Çift fazlı çelikler (DP).....	8
BÖLÜM 3.	
ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI .....	10
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	11
4.1. Genel .....	11
4.2. Deney Malzemelerinin Özellikleri .....	11
4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Boyutları .....	12
4.4. Deneylerde Deney Numunesi Oluşturmak İçin Kullanılan Elektrik . Direnç Nokta Kaynak Makinesi .....	13

4.5. Deney Numunelerinin oluşturulmasında Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları.....	15
4.6. Ön Deneyleerin Yapılması.....	16
4.7. Deneyleerin Yapılması.....	17
4.8. Çekme- Sıyırma ve Çekme- Makaslama Deneyleeri.....	19
4.9. Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskopu ile Yapılan Çalışmalar.....	21
4.10.DP600-DP800 Kaynak Numunelerinin Çekirdek Boyutlarının Ölçümü.....	22
4.11. DP600-DP800 Kaynak Numunelerinin Sertlik Değerlerinin Ölçümü	23

## BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	24
5.1.Genel .....	24
5.2.DP600-DP 800 Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Ayar parametrelerinin Çekme- Sıyırma ve Çekme- Makaslama Kuvvetine Etkisi .....	24
5.2.1.Kaynak akım şiddetinin DP600-DP800 çelik saclarından elde edilen bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	25
5.2.2.Kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saclarından elde edilen bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	27
5.2.3.Kaynak akım şiddetinin DP600-DP800 çelik saclarından elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	28
5.2.4.Kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saclarından elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	30
5.3. DP600-DP800 Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Ayar Değişkenlerinin Çekirdek Geometri Boyutlarına Etkisi .....	32
5.3.1.Kaynak akım şiddetinin ve Kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saclarından elde edilen bağlantıların çekirdek çapına Etkisi.....	34
5.3.3.Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP600-DP800	

çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekirdek boyut oranına etkisi.....	36
5.3.4.Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının Alt –Üst ve Elektrot dalma derinliğine etkisi.....	38
5.3.5.Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının Elektrot dalma genişliğine etkisi.....	42
5.4. DP600-DP800 Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Çekirdek Boyutlarının Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi .....	43
5.4.1.DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	43
5.4.2.DP600-DP800 bağlantıların Kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	45
5.4.3.DP600-DP800 bağlantıların çekirdek boyut oranının (hn/dn) çekme-makaslama dayanımına etkisi .....	48
5.4.4.DP600-DP800 bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	50
5.4.5.DP600-DP800 bağlantıların Elektrot dalma genişliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	52
5.4.6.DP600-DP800 bağlantıların kaynak çekirdek çapının kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına Etkisi.....	54
5.4.7.DP600-DP800 bağlantıların çekirdek yüksekliğinin kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına..	56
5.4.8.DP600-DP800 bağlantıların çekirdek boyut oranının (çekirdek yüksekliği/çekirdek çapı) kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına etkisi.....	58
5.4.9.DP600-DP800 bağlantıların dalma derinliklerinin kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına etkisi	60
5.4.10DP600-DP800 bağlantıların elektrot dalma genişliklerinin	

kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına etkisi .....	62
5.5. Kaynak Değişkenlerinin Bağlantıların Sertlik Değerlerine Etkisi...	64
5.6. DP600- DP800 Çelik saç çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynak bağlantılarında Bağlantıların Makroyapısına Kaynak Ayar Parametrelerinin Etkisi .....	74
5.7. DP600- DP800 Çelik saç çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynak bağlantılarında Bağlantıların Mikroyapısına Kaynak Ayar Parametrelerinin Etkisi.....	76
5.8. DP600-DP800 Çelik Çiftlerinden Elde Edilmiş Olan Kaynaklı Birleştirmeler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri.....	82
5.9. DP600-DP800 Elektrik Direnç Nokta kaynaklı Bağlantıların Kaynak Eğrisi (Weld Lobe).....	90
<b>BÖLÜM 6</b>	
<b>SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	92
6.1. Sonuçların Deęerlendirilmesi ve Öneriler.....	92
6.2. Konuyla İlgili İleride Yapılabilecek Çalışmalar.....	94
<b>KAYNAKLAR</b> .....	96
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	101



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AHSS	: Yeni Nesil Yüksek Mukavemetli Çelikler
ASTM	: The American Society for Testing and Materials
AWS	: American Welding Society
d	: Kaynak Çekirdek Çapı (mm)
EDS	: Enerji dağılımlı spektrometre
EN	: European Standard
h	: Kaynak Çekirdek Yüksekliği (mm)
HV	: Hardness Vickers
I	: Kaynak Akım Şiddeti (A)
IEB	: Isıdan Etkilenmiş Bölge
ITAB	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
kA	: Kilo Amper
kN	: Kilo Newton
kVA	: Kilo Volt Amper
N	: Newton
MPa	: Mega Pascal
OEM	: Original Equipment Manufacturer)
per	: Periyot
s	: Malzeme Kalınlığı (mm)
SAE	: Society of Automotive Engineers
DP	: Çift Fazlı Sac (Dual Phase)
SEM	: Scanning Electron Microscopy
t	: Elektrot Dalma Derinliği (mm)s

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kullanılan malzemelere göre koruma oranları. ....	6
Şekil 2.2.	Kullanılan malzemelere göre emisyon oranları .....	7
Şekil 2.3	Günümüzde kullanılan AHSS kalite çeliklerin çekme mukavemeti ve şekillendirilebilirlik diyagramı.....	8
Şekil 4.1.	DP600 ve DP800 sac malzemelerinin çekme deneyi sonuçları.....	12
Şekil 4.2.	DP600-DP800 saclarından oluşturulmuş Çekme-makaslama deney numuneleri. ....	13
Şekil 4.3.	DP600-DP800 saclarından oluşturulmuş Çekme-sıyırma deney numuneleri .....	13
Şekil 4.4.	.Deneylerde kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.....	14
Şekil 4.5.	Deneylerde kullanılan kaynak akım şiddeti ölçüm cihazı .....	14
Şekil 4.6.	Kaynak makinası akım ayar kademesi- Kaynak akım şiddeti karşılığı. ....	15
Şekil 4.7.	Deneylerde kullanılan CRM 16X-CuCrZr elektrotların boyutları. ....	16
Şekil 4.8.	. DP600-DP800 Ön deney numuneleri .....	17
Şekil 4.9.	Deneylerde uygulanan ayar parametreleri .....	18
Şekil 4.10.	DP600-DP800 Çekme-makaslama deneylerinde kullanılan numuneler .....	18
Şekil 4.11.	DP600-DP800 Çekme-sıyırma deneylerinde kullanılan numuneler ....	18
Şekil 4.12.	Deneylerde kullanılan çekme cihazı .....	21
Şekil 4.13.	. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop.....	21
Şekil 4.14.	Mikroyapı incelemelerinde kullanılan taramalı elektron mikroskopu (SEM). ....	22
Şekil 4.15.	Makroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop.....	22
Şekil 4.16.	Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikro vickers sertlik ölçme cihazı. ....	23
Şekil 5.1.	DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin sabit kaynak zamanlarında çekme-makaslama dayanımına etkisi.....	26

Şekil 5.2.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi .....	28
Şekil 5.3.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi .....	29
Şekil 5.4.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi .....	31
Şekil 5.5.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi. ....	33
Şekil 5.6.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının sabit kaynak akım şiddetinde çekirdek çapına etkisi. ....	33
Şekil 5.7.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi.....	34
Şekil 5.8.	DP600- DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi.....	35
Şekil 5.9.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranına etkisi.....	37
Şekil 5.10.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak akım şiddetine bağlı olarak çekirdek boyut oranına etkisi. ....	37
Şekil 5.11.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak Alt elektrot dalma derinliğine etkisi .....	38
Şekil 5.12.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Kaynak akım şiddetine bağlı olarak Alt Elektrot dalma derinliğine etkisi .....	38
Şekil 5.13.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak Üst Elektrot dalma derinliğine etkisi.....	39
Şekil 5.14.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Kaynak akım şiddetine bağlı olarak Üst Elektrot dalma derinliğine etkisi.....	39
Şekil 5.15.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak Toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi .....	40
Şekil 5.16.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Kaynak akım şiddetine bağlı olarak Toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi.....	40
Şekil 5.17.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak Elektrot dalma genişliğine etkisi. ....	42

Şekil 5.18.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Kaynak akım şiddetine bağlı olarak Elektrot dalma genişliğine etkisi. ....	43
Şekil 5.19.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit-kaynak zamanı değişken).....	44
Şekil 5.20.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken kaynak zamanı sabit).....	45
Şekil 5.21.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit - kaynak zamanı değişken).....	47
Şekil 5.22.	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	47
Şekil 5.23.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken). ....	48
Şekil 5.24.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken - kaynak zamanı sabit) .....	49
Şekil 5.25.	DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) i. ....	50
Şekil 5.26.	DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken - kaynak zamanı sabit) .....	51
Şekil 5.27.	DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken). ....	52
Şekil 5.28.	DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken - kaynak zamanı sabit) .....	53

Şekil 5.29.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	55
Şekil 5.30.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	55
Şekil 5.31.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	57
Şekil 5.32.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	58
Şekil 5.33.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken) .....	59
Şekil 5.34.	DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	59
Şekil 5.35.	DP600-DP800 bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken).....	61
Şekil 5.36.	DP600-DP800 bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	61
Şekil 5.37.	DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	63
Şekil 5.38.	DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit).....	63
Şekil 5.39.	DP600-DP800 Bağlantılarda Sertlik ölçüm doğrultuları.....	65

Şekil 5.40.	DP600-DP800 bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay).....	66
Şekil 5.41.	DP600-DP800 bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey).....	66
Şekil 5.42.	DP600-DP800 bağlantıların 10 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay).....	66
Şekil 5.43.	DP600-DP800 bağlantıların 10periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey).....	67
Şekil 5.44.	DP600-DP800 bağlantıların 15 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay).....	67
Şekil 5.45.	DP600-DP800 bağlantıların 15periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey).....	67
Şekil 5.46.	DP600-DP800 bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay).....	68
Şekil 5.47.	DP600-DP800 bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (dikey).....	68
Şekil 5.48.	DP600-DP800 bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay).....	68
Şekil 5.49.	DP600-DP800 bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi(dikey).....	69
Şekil 5.50.	DP600-DP800 bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay).....	69
Şekil 5.51.	DP600-DP800 bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (dikey).....	69
Şekil 5.52.	DP600-DP800 bağlantıların 8,2 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay) .....	70
Şekil 5.53.	DP600-DP800 bağlantıların 8,2 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey) .....	70
Şekil 5.54.	DP600-DP800 bağlantıların 8,2 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay) .....	70
Şekil 5.55.	DP600-DP800 bağlantıların 9,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey) .....	71

Şekil 5.56.	DP600-DP800 bağlantıların 11,1 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay) .....	71
Şekil 5.57.	DP600-DP800 bağlantıların 11,1 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey) .....	71
Şekil 5.58.	DP600-DP800 bağlantıların 12,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay) .....	72
Şekil 5.59.	DP600-DP800 bağlantıların 12,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey) .....	72
Şekil 5.60.	DP600-DP800 bağlantıların 14 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay) .....	72
Şekil 5.61.	DP600-DP800 bağlantıların 14 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey) .....	73
Şekil 5.62.	DP600-DP800 bağlantıların 15,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay) .....	73
Şekil 5.63.	DP600-DP800 bağlantıların 15,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey) .....	73
Şekil 5.64.	DP600-DP800 bağlantıların 16,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay) .....	74
Şekil 5.65.	DP600-DP800 bağlantıların 16,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey) .....	74
Şekil 5.66.	DP600-DP800 Bağlantılarda mikro yapı görüntülerin alındığı bölgeler .....	77
Şekil 5.67.	DP600-DP800 bağlantılara ait kaynak eğrisi (weld lobe) .....	91

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	DP600-D800 sacların kimyasal bileşimi (%). .....	11
Tablo 4.2.	DP600-D800 sacların mekanik özellikleri.....	12
Tablo 4.3.	Deneylerde kullanılan CRM 16X-CuCrZr elektrotların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri.....	16
Tablo 4.4.	Çekme- sıyırma ve çekme- makaslama deneylerinde meydana gelen hasar tipleri.....	20
Tablo 5.1.	DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	25
Tablo 5.2.	DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde oluşan hata tipleri.....	27
Tablo 5.3	DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	28
Tablo 5.4	DP600-DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma numunelerinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	29
Tablo 5.5	DP600-DP800 bağlantılarda fişkıırma oluşan çekme-sıyırma numuneleri .....	30
Tablo 5.6.	DP600-DP800 bağlantılarda çekme-sıyırma numunelerinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak) .....	31
Tablo 5.7	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek çapına etkisi (kaynak zamanına bağlı olarak) .....	32
Tablo 5.8	DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak çekirdek çapına etkisi (kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	32



Tablo 5.9.	DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi (kaynak zamanına bağlı olarak).....	35
Tablo 5.10.	DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi (kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	36
Tablo 5.11.	DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Toplam elektrot dalma derinliği etkisi (kaynak zamanına bağlı olarak).....	41
Tablo 5.12.	DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak zamanının Toplam elektrot dalma derinliği etkisi (kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	41
Tablo 5.13	DP600-DP800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde kaynak çekirdek çaplarından deneylerde elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	44
Tablo 5.14	DP600-DP800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde kaynak çekirdek çaplarından deneylerde elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	45
Tablo 5.15.	DP600-DP800 bağlantıları kaynak çekirdek yüksekliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	46
Tablo 5.16.	DP600-DP800 bağlantıları kaynak çekirdek yüksekliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	46
Tablo 5.17.	DP600-DP800 bağlantıları kaynak çekirdek Boyut oranında deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	49
Tablo 5.18..	DP600-DP800 bağlantıları kaynak çekirdek Boyut oranında deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	50
Tablo 5.19.	DP600-DP800 bağlantıları elektrot dalma derinliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	51
Tablo 5.20	DP600-DP800 bağlantıları elektrot dalma derinliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	51

Tablo 5.21	DP600-DP800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	53
Tablo 5.22	DP600-DP800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	54
Tablo 5.23	DP600-DP800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde kaynak çekirdek çaplarından deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	55
Tablo 5.24	DP600-DP800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde kaynak çekirdek çaplarından deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	56
Tablo 5.25	DP600-DP800 bağlantıları kaynak çekirdek yüksekliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	57
Tablo 5.26	DP600-DP800 bağlantıları kaynak çekirdek yüksekliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	57
Tablo 5.27	DP600-DP800 bağlantıları kaynak çekirdek Boyut oranında deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	60
Tablo 5.28	DP600-DP800 bağlantıları kaynak çekirdek Boyut oranında deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	60
Tablo 5.29	DP600-DP800 bağlantıları elektrot dalma derinliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	61
Tablo 5.30	DP600-DP800 bağlantıları elektrot dalma derinliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	62

Tablo 5.31	DP600-DP800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyrma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak).....	64
Tablo 5.32	DP600-DP800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyrma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak).....	64
Tablo 5.33	DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinin Makro görüntüleri.....	75
Tablo 5.34	Farklı büyütme ve bölgelerden alınan mikroyapı görüntüleri. ....	77
Tablo 5.35	DP600-DP800 Çelik çiftlerinden elde edilmiş olan kaynaklı birleştirmelerinin SEM görüntüsü .....	82
Tablo 5.36.	DP600-DP800 Çelik çiftlerinden elde edilmiş olan kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz doğrultusu ve analizi.....	87

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, DP Çelikleri, , Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe özellikle kapı dikmelerinde kullanılan DP600- DP800 çelik saçlarının otomotiv sektöründe kullanım alanı fazla olan kaynak yöntemlerinden elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmeleriyle elde edilen optimum mekanik özellikleri sağlayan kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve hasar modunun tespit edilmesidir.

Elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmeleri elde etmek amacı ile 120 kVA gücünde kaynak akımı sağlayan ve kaynak akım kontrollü pnömatik sisteme sahip olan elektrik direnç kaynak makinesi kullanılmıştır. Kaynak zamanı olarak 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot (1 periyot=0,02 sn) , Kaynak akım şiddetleri ise 8,2 kA, 9,6 kA, 11,1 kA, 12,5 kA, 14 kA, 15,5 kA, 16,8 kA' e kadar artırılarak değiştirilmiştir.. Elektrot kuvveti sabit olarak 6 kN olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bağlantılar sonrasında numunelere çekme–makaslama ve çekme–sıyırma testleri uygulanmıştır. Optik mikroskop kullanarak makro boyutta çekirdek boyutları ölçülmüş bunların mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştırBağlantıların mikroyapı görüntüleri, EDS analizi ve SEM görüntüleri incelenerek mikro vickers sertlik ölçümleriyle deneyler tamamlanmıştır.

Sonuç olarak kaynak zamanı, kaynak akım şiddetinin ve kaynak çekirdeği geometrisinin çekme-makaslama ve çekme – sıyırma kuvvetine etkisi belirlenmiş olup, optimum değerleri belirleyen kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanına bağlı olarak kaynak eğrisi grafiğine ulaşılmıştır.

# **DEFECT MODE DETERMINATION OF DUAL PHASE DP600- DP800 STEEL SHEETS JOINED BY ELECTRICAL RESISTANCE SPOT WELDING**

## **SUMMARY**

Keywords: Automotive, Dual-Phase Steels, Electrical Resistance Spot Welding

The aim of this study is to determine the failure mode and optimum electrical resistance spot welding parameters which give the best mechanical properties of welded joints obtained in the dual phase DP600-DP800 steel couples used in door enforcement bars of cars in automotive industry.

To obtain the electrical resistance spot welded joint specimens, an electrical resistance spot welding machine with 120 kVA current capacity and current controlled pneumatic system was used during the experiments. 5, 10, 15, 20, 25 and 30 periods weld times (1 period = 0,02 seconds) and 8,2, 9,6, 11,1, 12,5, 14, 15,5 and 16,8 kA welding currents were selected as welding parameters. The electrode force was stayed constant at 6 kN.

The tensile-shear and tensile-peel test were applied to joined specimens. The weld nugget size was measured by means of Stereo Microscope and macro and micro-structures of samples were detected and investigated. The EDS and SEM analyses were exposed to spot welded joints in order to research the effect of weld nugget diameter and geometry on mechanical properties of joints. Finally, the micro hardness measurements were done from base metal to center of weld nugget for all specimens.

In the light of findings obtained at the end of this thesis study, the effect of weld time, welding current intensity and weld nugget geometry on tensile-shear and tensile-peel force of spot welded joints were determined. The ideal weld current intensity vs. weld time graph called “weld lobe” was drawn which shows the optimum spot welding parameters in electrical resistance spot welding of dual phase DP600-DP800 steel sheet combinations used in door enrichment bars of cars in automotive industry.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanların neden olduğu sera gazı üzerindeki endişeler, küresel çevrelerin 2020 li yıllara doğru araç emisyon gazlarında daha sıkı düzenlemelere gitmelerine neden oldu, ayrıca önümüzdeki on –on beş yıl içinde bu denetlemelerin daha da sıkı yapılacağı göz önünde bulundurulmaktadır. Otomobil üreticileri, birbiriyle rekabetlerinden dolayı, yeni malzemeler ve mühendislik kapasiteleri için araştırmalar artırmaktadır. Örneğin, yapısal uygulamalar için gerekli malzemeyi karakterize eden sertlik ve mukavemet, genellikle daha kalın parçalarla sağlanabilir. Yeni araçlar estetik olarak karmaşık geometrilerde tasarlanır, fakat bu parçaların şekillendirilmesi ve birleştirilmesi zordur, araç ağırlığının azaltılması için yapılacak parçalardaki inceltmeler ile daha da zor bir hal alır. Küresel çelik üreticileri, daha yüksek mukavemet ve daha iyi işlenebilirlik özelliklere sahip yeni nesil çelikleri, birbirine zıt beklentilere cevap verebilmek için sürekli geliştirmektedirler. Benzersiz mikroyapıları ve metalürjik özellikleri ile karakterize edilen Yeni Nesil Yüksek Mukavemetli Çelikler AHSS, OEM (original equipment manufacturer) tarafından günümüz araçlarının fonksiyonel özelliklerini karşılamamıza olanak sağlar.

Her gün öneminin daha çok farkına vardığımız araçlardaki sürücü ve yolcu güvenliğini sağlamak için kalınlığının artması beklenen çelik saçlarının sürekli gelişen teknoloji ile birlikte bu kalınlığın giderek azaldığını görmek mümkündür. Yeni nesil teknolojiler ile birlikte artan mukavemetle daha ince çelik saçların araçların gövde yani karoser denilen bölümünde kullanılmasıyla araçlar hafiflemiş ve bu sayede günümüz firmalarının en çok önemseydiği konulardan biri olan yakıt tasarrufu sağlanmış olup karbon gazı emisyonu gibi çevresel faktörlerde de iyileşme sağlanmıştır [1].

Yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımı otomotiv endüstrisinde araç hafifletme çalışmaları kapsamında oldukça yaygınlaşmıştır. Ağırlık azalımı, mevcut durumdaki

parçaların dayanım ve performansını koruyarak ve hatta arttırarak daha ince kesitli yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Bunlarla birlikte yüksek mukavemet, iyi şekillenme kabiliyeti ve hafif olmaları sebebiyle Dual Phase (DP) çeliklerinin kullanım alanı giderek yaygınlaşmaktadır [2,3].

Otomobil üretiminde yaklaşık 700 üzerinde preslenmiş ve kesilmiş parça ile 400 üzerinde talaşlı imal edilmiş parça; yapıştırma, lehimleme, kıvrırma, cıvata, perçin ve kaynak yöntemiyle birbirlerine birleştirilmektedir. Toplam kaynaklar; yaklaşık olarak 5000 noktanın üzerinde elektrik direnç nokta kaynağından, 30 metre kadar elektrik ark kaynağından, 1 metre elektron bombardıman kaynağından ve 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır [4,5].

Otomotiv endüstrisinde elektrik direnç nokta kaynağı çelik sacların birbirlerine birleştirilmesinde basit bir teknik olması ve ekonomikliği sebebiyle en yaygın olarak kullanılan yöntemdir [6].

Bu çalışmada DP600-DP800 çelikleri elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş olup, bu saclar araçların darbelere karşı dayanımı arttırmak ve araç ağırlığını azaltmak amacıyla otomotiv endüstrisinde tercih edilmektedir. Literatürde otomotiv sektörüyle ilgili birçok konuda yapılmış çalışma olmakla birlikte bazıları şunlardır:

Marya ve Gayden yaptıkları çalışmalarda DP600 çeliğinin elektrik direnç nokta kaynaklı birleştirmelerinin geliştirilmesini incelemişler ve 1.2 ve 1.8mm kalınlıklardaki galvanizli DP600 çelik saclarının elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirmişler ve kaynak numunelerini incelemek için otomotiv sektöründe kullanılan testler yapmış ve sonuçlarını incelemişlerdir. [7].

Onar [8] doktora tezinde otomobil üretiminde şase bağlantılarında kullanılan farklı kalınlıklardaki mikroalaşımli çelik ve trip çeliğini elektrik direnç nokta kaynağıyla birleştirmiştir. Farklı kaynak süreleri ve akım şiddetleriyle deneylerinde sonuç olarak yüzeyin iyi olması istenen uygun kaynaklı birleştirmelerde 10 periyotta geniş akım seçenekleri varken periyot yükseldikçe akım şiddetinin düştüğünü gözlemlemiş ve

fişkıma, yüzey kirliliği istenmeyen yerlerde yüksek periyot kullanılmaması gerektiğini göstermiştir ve Aslanlar ile olan diğer makalelerinde de benzer çalışmalara ulaşılmıştır [8].

GOULD, J.E [9] çalışmasında, AISI 1008 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak çekirdeğinin gelişimini deneysel ve analitik olarak incelemiştir. [9]

KARAGOULIS, M.J [10] çalışmasında, otomotiv sektöründe kullanılan SAE 1080 ve SAE 1005 soğuk şekillendirilmiş düşük karbonlu çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak parametrelerini incelemiştir.. [10]

Pouranvari, [11] düşük karbonlu çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında çekme-makaslama testinde hasar tiplerini incelemiştir. [11]

Pouranvari [12] bir başka çalışmasında, düşük karbonlu çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında elde edilen bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde oluşan hasar tiplerini incelemiştir. [12]

Mukhtar, [13] 1.8902 karbon çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının çekirdek gelişimine ve buna bağlı olarak çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarına etkisini incelemiştir. [13]

Aslanlar [14] Mikro alaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında hasar modunun tespiti üzerine doktora çalışmasını tamamlamış. [14]

Aktaş[15] DP 600 çelik saçların Elektrik Direnç Nokta kaynağında mekanik özelliklerini incelemiştir. [15]



Akkaş [16] Raylı sistem araçlarında kullanılan atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların birleştirilme kabiliyetinin incelenmesi üzerine doktora çalışmasını tamamlamıştır. [16]

Kekik [17] 1200M-DP800HF saclarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde hasar modunun tespiti üzerine yüksek lisans çalışmasını tamamlamıştır. [17]

Ferik [18] TRİP800 çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine yüksek lisans tezini tamamlamıştır. [18]

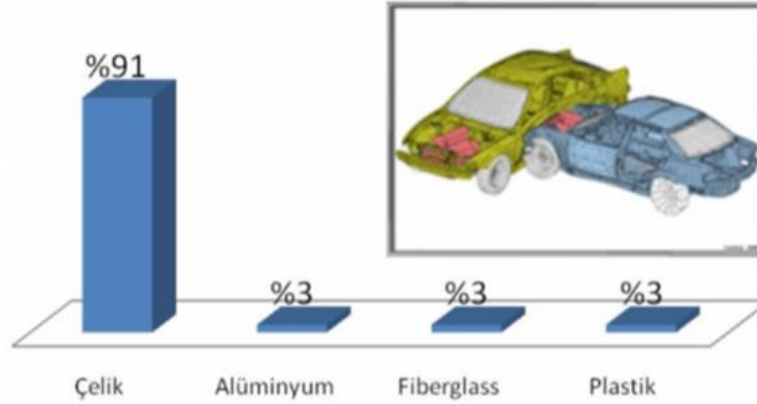
Chabok, A., Galinmoghaddam, E., De Hosson, J.T.M., Pei, Y.T. DP1000-GI çift fazlı yüksek mukavemetli çeliklerin elektrik dirençli nokta kaynağının mikro mekanik değerlendirmesi üzerine çalışma yapmışlardır.. [19]

## **BÖLÜM 2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ ÇELİKLER**

Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemeler incelendiğinde demir esaslı çelik malzemeler, özellikle illeri mukavemete sahip çelikler, magnezyum alaşımları ve alüminyum alaşımları gibi hafif metallerin ve plastik esaslı malzemelerin kullanımının gün geçtikçe arttığı gözlemlenmiştir. Otomobil kullanıcılarının daha ekonomik, güvenilir, emniyetli ve çevre dostu taşıtlar talep etmeleri üzerine otomobil üreticileri nerdeyse araçlardaki hafifliğe önem vermişler ve araştırmalarını bu doğrultuda sürdürmüşlerdir. Otomobil üreticilerinin araçlardaki ağırlığı azaltmak önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlanmış, bunun sonucunda emisyon gazlarında azalmalar meydana gelmiştir. [20].

Araçlardaki en önemli unsurlardan biri olan güvenliğin artırılması çelik malzemeler gibi yüksek mukavemetli malzemelerin kullanılmasına sebebiyet vermiştir. Kazalardan korunmanın kullanılan malzeme türüne göre değişim oranları Yapılan araştırmalarda, kazalarda çelik malzemeler ile tasarlanmış araçlarda ölüm oranının %91 azaltılması mümkün olduğu, Alüminyum, fiberglas ve plastik malzemelerinininki ise %3' oranında olduğu Şekil 2.1'de verilmiştir. [21].

### Kazalarda Kullanılan Malzemeye Göre Koruma Oranı

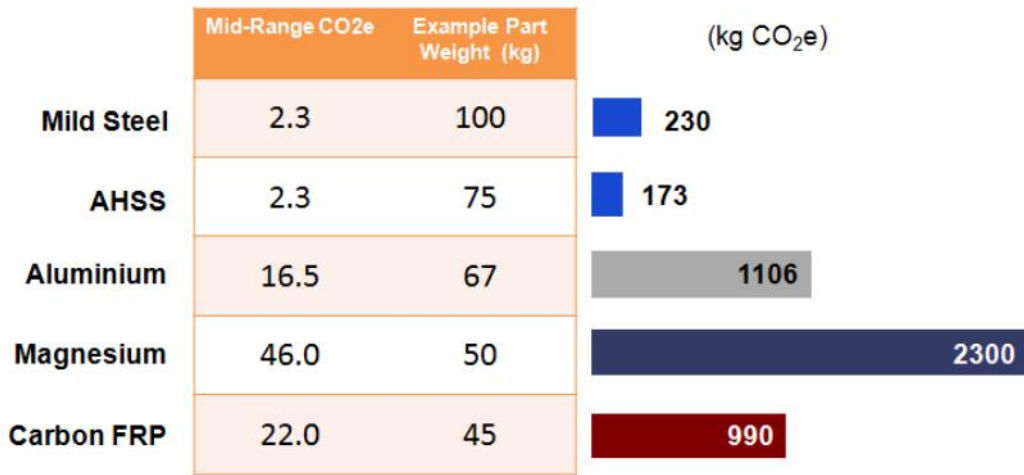


Şekil 2.1. Kullanılan malzemelere göre koruma oranları.[21]

Çevre ve iklim değişikliği üzerine endişeler, endüstrinin her alanında karbondioksit ve eşdeğer emisyonların salınımının azaltılması konusunda baskıya neden olmaktadır. Sonuç olarak otomatik endüstrisi üzerinde güvenli ve uygun fiyatı korurken çevresel etkileri azaltmak için baskı oluşuyor. Bu süreçte, hafif araçlar ve düşük karbonmonoksit emisyonun alüminyum magnezyum gibi hafif yoğunluktaki malzemeler ile sağlanabileceği gibi hatalı bir algı ortaya çıkmıştır. [22]

Alüminyum, magnezyum ve kompozitler gibi düşük yoğunluklu malzemeler yüksek satış fiyatlarının maliyetini kuratarabilmesi için genellikle lüks sınıf arabalarda kullanılır. Bu tür malzemeler maliyetten bağımsız olarak, yakıt ekonomisi veya emisyonun bir dezavantaj olduğu büyük hacimli araçlarda yada elektirikli araçlarda pahalı pil giderinin azaltmak için kullanılır. Ancak düşük yoğunluklu malzemelerin üretimi ve yoğun sera gazı ile çevre için masraflı olması büyük sorun oluşturmaktadır. Çeliğe alternatif malzemelerin 5-20 kat daha fazla emisyon ürettiği Şekil 2.2. de görülmektedir. [22]

## Material Production GHG comparison for a functionally equivalent component - *typical example*

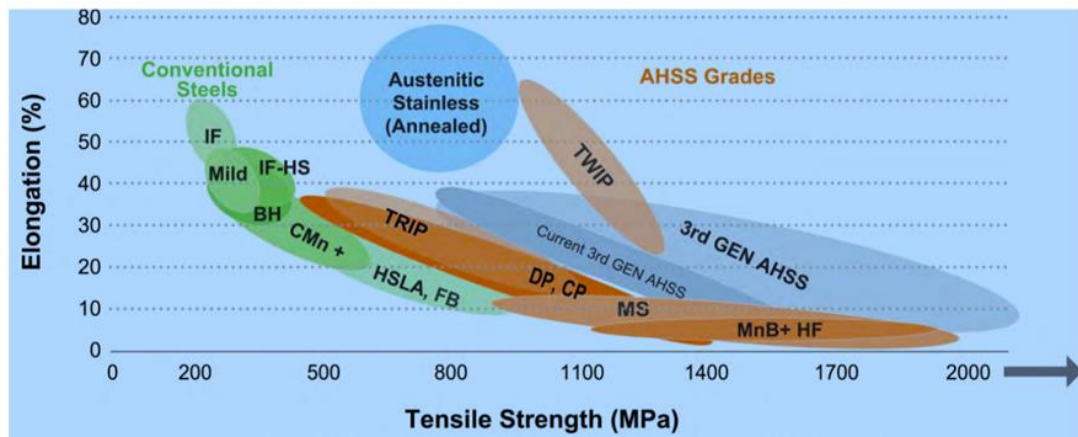


Şekil 2.2. Kullanılan malzemelere göre emisyon oranları[22]

AHSS dikkatle seçilen kimyasal kompozisyonları ve hassas kontrollü ısıtma ve soğutma işlemi sonucunda oluşan multiphase mikroyapıları ile gelişmiş ve karmaşık malzemelerdir. Mukavemet, süneklik, tokluk ve yorulma özelliklerini elde etmek için çeşitli dayanım artırıcı metodlar kullanılmaktadır. AHSS ailesi Dual Fazlı DP, Kompleks Fazlı CP, Ferritik Beynitik FB, Martensitik MS veya MART, TRIP, Sıcak Şekillendirilmiş ve TWIP çeliklerini içerir. 1. ve 2. jenerasyon AHSS kalite çelikler, belli parçaların fonksiyonel beklentilerini karşılamak için üretilmiştir. Örneğin DP ve TRIP çelikleri yüksek enerji absorblayarak, çarpışma bölgelerinde mükemmeldir. Yolcu kabinleri yapısal parçaların için son derece yüksek mukavemetli çelikler olan martensitik ve bor bazlı basma ile sertleştirilen PHS çelikleri güvenlik performansını geliştirir. Son zamanlarda 3. nesil AHSS lerin geçişim için araştırma fonları artırılmıştır. Bu çeliklerin, şuanki kalite çelikler ile karşılaştırıldığında mukavemet-süneklik kombinasyonu geliştirilmiş ve yüksek verimde birleştirilme ve düşük maliyet potansiyeli vardır. Bu kalite çelikler istenen özellikleri sağlayabilmek için mükemmel bir alaşım ve mikroyapının yansıması olacaktır. Şekil 2.3 de geniş bir aralıkta özelliklerinin ünlü küresel şekillendirilebilirlik diyagramı tarafından gösterimi verilmiştir.[22]

Geleneksel yüksek mukavemetli çelikler (HSS) ile ileri yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) arasındaki en büyük fark mikro yapılarıdır. HSS tek fazlı ferrit (belki biraz da perlit) yapısı içerirken AHSS ferrit, perlit ya da sementit gibi birincil fazların yanında martenzit, beynit, östenit ya da kalıntı östenit içermektedir. Dolayısıyla hem yumuşak matris hem de sert ikincil faza sahip olan AHSS çelikleri yüksek gerinim sertleştirmesinden dolayı çok iyi mukavemet-süneklik dengesine sahiptir. Bu çelikler kimyasal yapı ve soğutma hızının kontrolü ile üretilmektedir (hot mill, continuous annealing furnace).[22]

Ferritik matris ile sert martenzitik ikincil fazın odacıklar şeklinde birleşiminden oluşan AHSS çelik türüdür. DP çelikleri östenit fazının bir kısmını ferrite; kalan östeniti de hızlı soğutup martenzite dönüştürerek üretilmektedir. Burada sürekli ve yumuşak ferrit fazı malzemeye süneklik sağlarken ikincil sert martenzitik faz da mukavemet artışına yol açmaktadır. Ferrit fazı yüksek pekleşme oranı sağladığından dolayı aynı akma mukavemetine sahip geleneksel HSS çeliklerine göre daha yüksek çekme mukavemetine sahiptirler.[22]



Şekil 2.3:Günümüzde kullanılan AHSS kalite çeliklerin çekme mukavemeti ve şekillendirilebilirlik diyagramı[22]

## 2.1. Çift fazlı çelikler(DP)

DP çelikler adalar formunda sert martenzitik ikinci faz içeren bir ferritik matristen oluşur. Sert ikinci fazların hacim oranının artırılması genellikle mukavemeti artırır. DP (ferrit artı martenzit) çelikler, östenit fazından (sıcak haddelenmiş ürünlerde) veya

iki fazlı ferrit artı ostenit fazından (sürekli olarak tavllanmış soğuk haddelenmiş ve sıcak daldırma ile kaplanmış ürünler için) kontrollü soğutma ile üretilir. [22]

Dual fazlı çeliklerin kimyasal bileşimi incelendiğinde sade karbonlu çeliklerle hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Çift fazlı olarak bilinen bu çelik grubunun mikroyapısında sünek ferrit ( $\alpha$ ) yapısının içerisinde küme şeklinde dağılmış %10-30 arasında martenzit (m) fazı bulunur. Bu çift fazlı (DP) çelikleri özelliklerini de yapısında bulunan martenzitin yüksek dayanımına ve ferritten elde edilen süneklik özelliğinden alırlar. Çift fazlı çelik yapısı esas olarak, bu çeliklerin Fe-Fe<sub>3</sub>C faz diyagramında A1-A3 sıcaklıkları aralığında ( $\alpha+\gamma$  bölgesinden) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bir süre tutulup ostenitin martenzite dönüşebileceği hızlarda soğutulmasıyla elde edilir [23-24].

Bu çift fazlı çelikleri yüksek dayanım ve iyi şekillendirilme kabiliyetlerinden ötürü otomobil gövde takviyelerinde, kapı dikmelerinde ve tavan dikmelerinde çok sıkça kullanılmaktadır [25]. Çift fazlı çeliklerin Hyperform özelliği esas olarak çift fazlı çeliğe TRİP ilave ederek oluşturuluyor diyebiliriz. DP800 HyperForm dayanım ve kaynaklanabilirlik özellikleri olarak DP800 çeliğine benzer iken, şekillendirilebilme özelliği olarak TRİP800'e benzerlik göstermektedir.

### **BÖLÜM 3. ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI**

Elektrik direnç nokta kaynak (EDNK) yöntemi ilave metal gerektirmeyen, otomasyona, seri üretime uygun, basit ve hızlı basınçlı kaynak yöntemlerinden biridir. Bu nedenle de otomotiv sektöründe en yaygın kullanılan birleştirme yöntemidir. Bir aracın montajında 5000' den fazla elektrik direnç nokta kaynağı kullanıldığından dolayı, otomotiv sektöründe en yaygın kullanılan birleştirme yöntemidir

Elektrik Direnç Nokta kaynağı iki sac levhanın iki elektrot arasında pnomatik, hidrolik veya mekanik olarak elde edilen elektrot kuvvetinin sıkıştırılmasıyla başlar. Sıkışan levhalardan düşük voltajlı yüksek amperin geçmesiyle levhalar arasında yüksek direnç oluşturulmakta ve sonucunda ısı meydana getirilmektedir. İki Sac malzeme arasında kaynak çekirdeği oluşabilmesi için iki malzeme arasındaki temas dirençlerinin sistemin diğer dirençlerinden büyük olması gerekir ve üretilen ısının iletilen ısıdan büyük olması gerekir, diğer bir deyiş ile ısının yığılabilmesi gerekir. Bu şartlar sağlandıktan sonra iki malzeme arasında ısı oluşturulur malzemeler istenen yerde erimeye başlar, akım kesilir, elektrotlar elektrot kuvveti sayesinde parçaları bir arada tutmaya devam eder, ergimiş bölge katılarak kaynak çekirdeğini meydana getirir. Böylece kaynak çevrimi tamamlanmış olur. Kaynak çevrimi dört zamandan meydana gelir, yaklaşma ve sıkma zamanı, kaynak zamanı, tutma zamanı ve ayrılma zamanı. Bu kaynak çevrimi bir saniyeden bir süreden daha kısa sürer. Kaynak akım şiddeti, kaynak zamanı, elektrot tipi, elektrot kuvveti, birleştirilecek malzeme ve birleştirilecek malzemelerin temizliği gibi değişkenler elektrik direnç nokta kaynağının en önemli parametreleridir. [26].

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Genel

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe araçların kapı ön, arka ve tavan dikmelerinde kullanılan DP600-DP800 çelik saç çiftleri elektrik direnç nokta kaynağı ile kendi aralarında eşleştirilerek birleştirilmesi neticesinde elektrik direnç nokta kaynaklı deney numune serileri elde edilmiştir. Deneylerde sıkıştırma ve tutma zamanları, elektrot kuvveti, sabit tutularak, kaynak süresi ve kaynak akım şiddeti değiştirilmiştir. Elde edilen elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantıların dayanım değerlerini belirlemek için her bir seri (3'er adet) çekme-sıyırma ve çekme-makaslama testlerine tabi tutulmuştur. Ayrıca sertlik, mikro ve makro yapı incelemesi yapılmıştır.

### 4.2. Deney Malzemelerinin Özellikleri

Deneylerde kullanılan 1 mm kalınlığındaki DP800 ve DP600 çelik sacların kimyasal bileşimleri Tablo 4.1'de ve mekanik özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

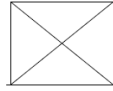
Tablo 4.1. DP600-D800 sacların kimyasal bileşimi (%)

Malzeme	C (max %)	Si (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Al (min %)	Nb+Ti (max %)
DP800	0.15	0.40	1.80	0.020	0.010	0.015	0.10
DP600	0,091	0,239	1,858	0,011	0,001	0,039	0,003



Tablo 4.2. DP600-D800 sacların mekanik özellikleri

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
DP800	500 - 650	800 - 950	10
DP600	330-460	580-680	19



ASAS ALUMINYUM SAN.TIC.A.S.

23.02.2017

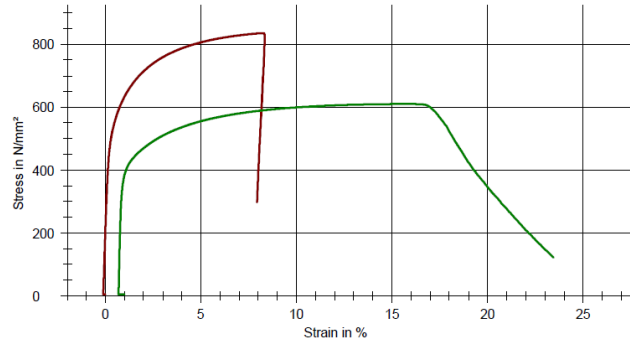
DIN EN 10002, part 1 Tensile tests on metals

**Parameter table:**

Firma	: ASAS ALUMINYUM	Malzeme / Isıl işlem	: Çelik
Customer/Müşteri	: ARGE/ Murat Konar	Profil No / Sarj No	: -
Tester/ Test yapan	: Özcan YILDIZ	Üretim Tarihi / Lot No:	-
Test standard	: TS EN 755-1/TS EN 755-2		
Pre load/Ön yük	: 5 N/mm <sup>2</sup>	Rp, ReH speed/ Hız	: 5 mm/min
E-Modulus Speed/ Hız:	5 mm/min	Test speed / Hız	: 10 mm/min

**Results:**

Legends	Nr	L0 mm	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A %
	1	50,01	539,08	835,58	7,87
	2	50,04	393,55	610,26	22,72

**Series graph:****Statistics:**

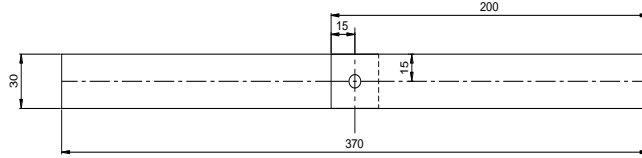
Series	L0 mm	EMod kN/mm <sup>2</sup>	Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A %
n = 2					
x	50,03	201,89	466,31	722,92	15,30
s	0,02	59,30	102,90	159,33	10,50
v	0,04	29,37	22,07	22,04	68,67

Şekil 4.1. DP600 ve DP800 sac malzemelerinin çekme deneyi sonuçları

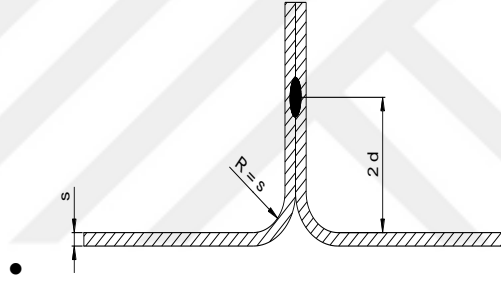
**4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Boyutları**

DP 600 ve DP800 sac malzemeleri (200x30) mm boyutlarında giyotin makas ile kesildikten sonra, yüzeylerinin yabancı maddelerden (yağ, pas ve kir gibi) arındırılması için %96 saflıktaki etil alkol ile yıkanmış ve temiz bir bezle silinmiştir.

DP600 - DP800 saclardan elde edilmiş deney numunelerinin boyutları Çekme-makaslama deneyi için Şekil 4.2 de ve çekme-sıyırma deneyi için Şekil 4.3'de verilmiştir. Çekme-makaslama deney numuneleri EN ISO 14273 [27] ve çekme-sıyırma deney numuneleri EN ISO 14270 [28] standartlarına göre hazırlanmıştır.



Şekil 4.2. DP600-DP800 saclarından oluşturulmuş Çekme-makaslama deney numuneleri[14]



Şekil 4.3. DP600-DP800 saclarından oluşturulmuş Çekme-sıyırma deney numuneleri[14]

#### 4.4. Deneylerde Deney Numunesi Oluşturmak İçin Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi

Deneylerde, pnömatik basma tertibatlı, elektronik akım ve zaman kontrollü, tek kollu, 120 kVA gücünde elektrik direnç nokta kaynağı makinesi kullanılmıştır. Kaynak süresi, tutma ve sıkıştırma süreleri, makinenin elektronik donanımları aracılığıyla ayarlanmıştır. deneylerde kullanılan elektrik direnç nokta kaynak makinesi Şekil 4.4'de gösterilmektedir.

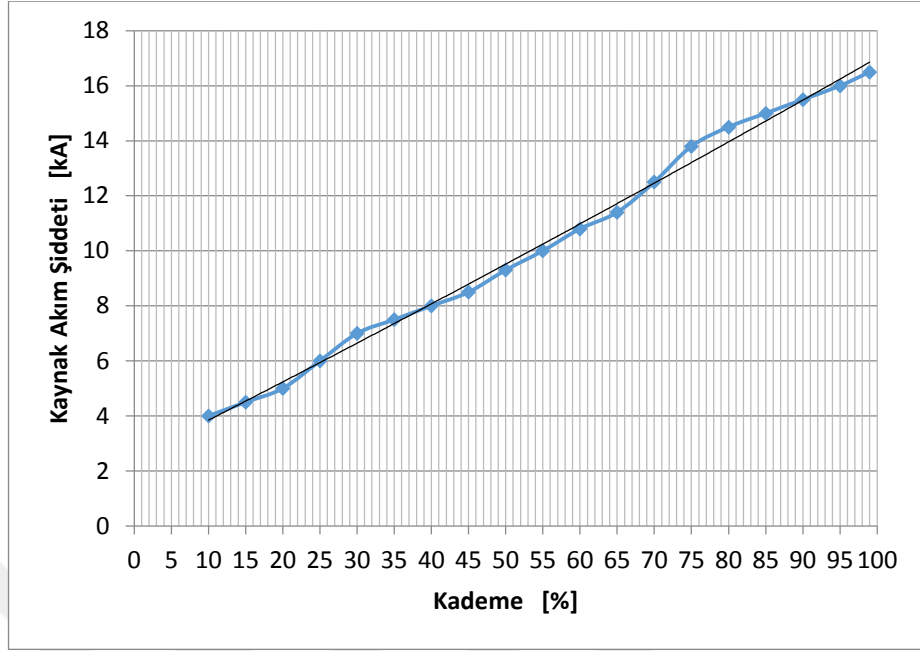
kaynak makinesinin üst koluna yerleştirilen toroidal bir bobin vasıtasıyla Kaynak akım şiddeti değerleri, Şekil 4.5’de gösterilen akım şiddeti ölçüm cihazı ölçülmüş ve . Şekil 4.6’deki diyagram oluşturulmuştur.



Şekil 4.4. Deneylerde kullanılan elektrik direnç nokta kaynağı makinesi



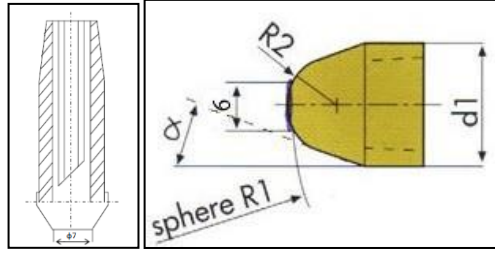
Şekil 4.5. Deneylerde kullanılan kaynak akım şiddeti ölçüm cihazı



Şekil 4.6. Kaynak makinası akım ayar kademesi- kaynak akım şiddeti karşılığı

#### 4.5. DeneY Numunelerinin oluşturulmasında Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları

DeneY Numunelerinin oluşturulmasında aynı tip konik uçlu küresel sıkı geçmeli direnç nokta kaynak elektrotları form değişikliği meydana gelene kadar kullanılmış, form değişikliği meydana geldiği anda değiştirilmiştir. Sıkı geçme olan elektrotlar su soğutması sayesinde sürekli olarak soğutulmuştur. Elektrot temas yüzey çapı 6 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7’de elektrotlar şematik olarak verilmiştir. DeneYlerde kullanılan elektrotlar CRM 16X-CuCrZr; Malzeme no:2.1293; RWMA / DIN 44759 Sınıf 2 olmakla beraber Tablo 4.3’de kimyasal bileşimi gösterilmiştir[29].



Şekil 4.7. Deneylerde kullanılan CRM 16X-CuCrZr elektrotların boyutları[29]

Tablo 4.3. Deneylerde kullanılan CRM 16X-CuCrZr elektrotların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri[29]

Alaşım	Kimyasal Bileşim (%)	Isıl İletkenlik (J/Cms <sup>°</sup> K)	Elektrik İletkenliği (m/Ωmm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)
CuCrZr	Cr > 0,4 Zr > 0,03 g.k. Cu	320	48	590

#### 4.6. Ön Deneylerin Yapılması

Deney numuneleri, uygun çalışma parametrelerinin seçilebilmesi için üst üste bindirilerek elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir.

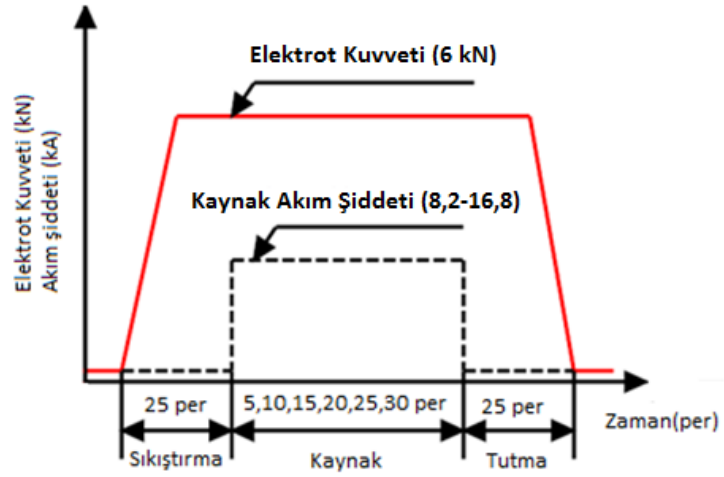
Ön deneylerde uygun parametrelerin tespiti için kaynak süreleri 5periyottan başlayarak, 10, 15, 20, 25 ve en yüksek 30 periyotta kadar ve kaynak işleminin gerçekleştiği en küçük kaynak akım şiddeti değeri olan (6 kA) başlayarak malzemelerde delinmelerin görüldüğü en büyük değere (16,8 kA) kadar kaynak yapılmıştır. Kaynak işleminin sonunda keski testi uygulanarak uygulanması gereken parametreler tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. DP600-DP800 Ön deney numuneleri

#### 4.7. Deneylerin Yapılması

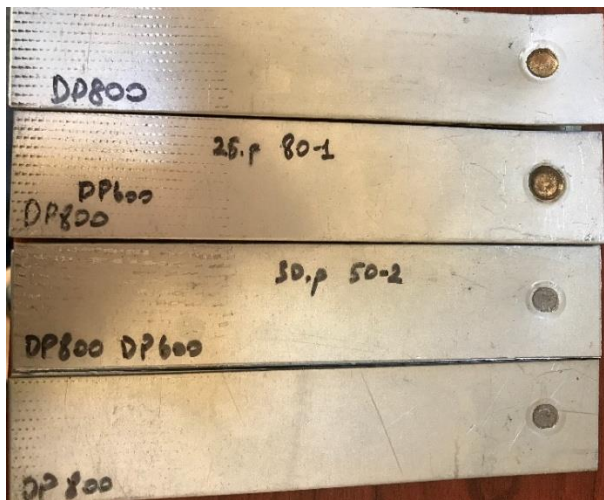
Deney parçaları, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilen boyutlarda hazırlanıp temizlendikten sonra kaynak edilmiştir. Elektrot kuvveti tüm deney boyunca 6 kN değerinde sabit tutulmuş ve sürekli olarak kontrol edilmiştir. Kaynak zamanı 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot olarak değiştirilmiştir. Sıkıştırma ve tutma süreleri 25 periyot olarak sabit tutulmuştur. Kaynak akım şiddeti 8,2 kA, 9,6 kA, 11,1 kA, 12,5 kA, 14 kA, 15,5 kA, 16,8 kA’ye kadar artırılarak değiştirilmiştir. Şekil 4.9’da deneylerde uygulanan kaynak parametreleri gösterilmiş ve deneyler EN ISO 14373 [30] standartına göre yapılmıştır.



Şekil 4.9. Deneilerde uygulanan ayar parametreleri



Şekil 4.10. DP600-DP800 Çekme-makaslama deneylerinde kullanılan numuneler



Şekil 4.11. DP600-DP800 Çekme-sıyrma deneylerinde kullanılan numuneler

Deneyleerde kullanılacak her bir ayar parametresi için yedi seri olarak elektrik direnç nokta kaynak bağlantılı numuneler elde edilmiştir. İlk üç seri çekme-sıyırma, dört, beş ve altıncı seriler çekme-makaslama deneyine tabi tutulmuş, yedinci seri ise mikro vickers sertlik ölçümleri, çekirdek boyut ölçümlerinin yapılması, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile mikro yapı fotoğraflarının çekilmesi ile için kullanılmıştır.

#### **4.8. Çekme- Sıyırma ve Çekme- Makaslama Deneyleeri**

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterildiği şekilde kaynak edilen parçalar, laboratuvar ortamında 5 ton kapasiteli “Shimadzu” marka çekme makinasında (şekil 4.12) çekme-sıyırma ve çekme- makaslama deneyleeri uygulanmıştır.

Çekme deneyleeri esnasında çekme hızı 10 mm/dk olarak tespit edilmiştir. ) çekme-sıyırma ve çekme- makaslama kuvveti olarak verilen değerler, çekme makinesinin kontrol ünitesindeki kuvvet – zaman grafiğinden okunan maksimum kuvvet değerleridir. Çekme- sıyırma ve çekme- makaslama deneyleerinde üç farklı hasar tipi meydana gelmiştir:

- a) Kaynak çekirdeğindeki Ayrılma tipi hasar
- b) Kaynak çekirdeğindeki Düğmelenme tipi hasar
- c) Ana malzemedede Yırılma tipi hasar

Tablo 4.4'de çekme-sıyırma ve çekme-makaslama deneyleerinde ortaya çıkan ayrılma tipi, düğmelenme tipi ve yırılma tipi hasar oluşan numuneler gösterilmektedir.



Tablo 4.4. Çekme- sıyırma ve çekme- makaslama deneylerinde meydana gelen hasar tipleri

Deney Adı	Kopma Tipi	
Çekme-Makaslama	Ayrılma	
Çekme-Makaslama	Düğmelenme	
Çekme-Makaslama	Yırtılma	
Çekme-Sıyırma	Ayrılma	
Çekme-Sıyırma	Düğmelenme	
Çekme-Sıyırma	Yırtılma	



Şekil 4.12. Deneyleerde kullanılan çekme cihazı

#### 4.9. Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskopu ile Yapılan Çalışmalar

DP600-DP800 saclardan oluşturulmuş deney numuneleri mekanik olarak çekirdek ortasından kesilmiş ve bakalit içine gömülmüştür. Bakalit içerisindeki bu numuneler zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra %2 çözelti nitrik asit ile dağlanmıştır. Esas metallerin, kaynak çekirdeğinin ve ısının tesiri altındaki bölgelerin (ITAB) optik ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak mikro yapı fotoğrafları çekilmiş ve kaynak sonrası oluşan içyapı değişimleri incelenmiştir. Mikro yapı incelemeleri şekil 4.13’de gösterilen Nikon marka optik mikroskopta yapılmıştır.



Şekil 4.13. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop

Taramalı elektron mikroskopu çalışmalarında şekil 4.14’de gösterilen “JEOL JSM-6060LV” cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.14. Mikroyapı incelemelerinde kullanılan taramalı elektron mikroskopu (SEM)

#### 4.10. DP600-DP800 Kaynak Numunelerin Çekirdek Boyutlarının Ölçümü

Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının çekirdek boyutları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, kaynak çekirdeğinin makro fotoğrafları çekilerek çekirdek boyutları ölçülmüştür. Ölçümler Şekil 4.15’de gösterilen Nikon marka optik mikroskopla EN ISO 14329 standartına göre yapılmıştır [31].



Şekil 4.15. Makroyapı incelemelerinde kullanılan optik mikroskop

#### 4.11. DP600-DP800 Kaynak Numunelerin Sertlik Değerlerinin Ölçümü

Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının bağlantının sertliğine etkisini incelemek amacıyla, her bir numunenin sertlik değerleri mikro vickers sertlik ölçme cihazıyla ölçülmüştür. Ölçümler çekirdek boyuna ve enine kesitinde esas metal, ısının tesiri altındaki bölge ve kaynak çekirdeğini içerisine alacak şekilde yapılmıştır. Sertlik ölçümleri şekil 4.16'de görülen Wolpert-Wilson marka cihaz ile EN ISO 14271 standartına göre yapılmıştır [32]. Laboratuvar koşullarında yapılmış bütün sertlik ölçümleri mikro vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmış ve 100 g yük ve piramit batıcı uç 10 s süreyle uygulanmıştır.



Şekil 4.16. Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikro vickers sertlik ölçme cihazı

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLARIN İRDELENMESİ**

### **5.1. Genel**

Bu çalışmada, 1,0 mm kalınlığında DP600-DP800 çelik sacların aynı türler kendi aralarında eşleştirilmek suretiyle elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde, kaynak akım şiddeti ile kaynak zamanının ve bu değişkenlere bağlı olarak çekirdek geometrisinin bağlantının çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımına, sertlik dağılımına ve makro-mikro yapısına etkileri araştırılmıştır. Deney malzemeleri raylı sistem araçlarının gövdelerinde kullanılan çelik saclardır. Deneyler laboratuvar koşullarında yapılmıştır.

### **5.2. DP600-DP 800 Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Ayar parametrelerinin Çekme- Sıyırma ve Çekme- Makaslama Kuvvetine Etkisi**

Kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının bağlantıların çekme dayanımı üzerine etkisini incelemek için numunelere EN ISO 14273 [27] standartına göre çekme-makaslama ve EN ISO 14270 [28] standartına göre çekme-sıyırma deneyleri yapılmıştır. Çekme-makaslama ve çekme-sıyırma testlerinde her bir parametre için üç numune test edilmiş ve sonuçlar numunelerin ortalaması alınarak (aşırı yüksek ve aşırı düşük değerler değerlendirme dışında bırakılmıştır)bağlantının çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvveti olarak verilmiştir.

Bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma dayanımlarını belirlemek için şiddeti 8,2 kA, 9,6 kA, 11,1 kA, 12,5 kA, 14 kA, 15,5 kA, 16,8 kA kaynak akım şiddeti 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot kaynak zamanında deney parçalarına uygulanmıştır.

### 5.2.1. Kaynak akım şiddetinin DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi

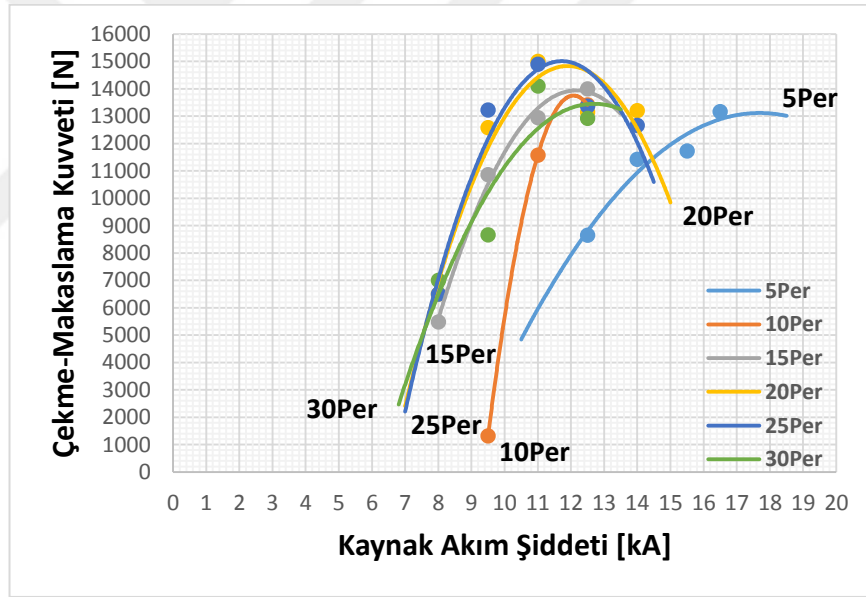
Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi DP600-DP800 elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda kaynak akım şiddetinin yükselmesi ile birlikte çekme-makaslama kuvvetlerinde artışı gözlenmekte ve belli bir kaynak akım şiddetinden sonra kaynak çekirdek kesit alanının azalması ile çekme- makaslama kuvvetinde azalmaların olduğu gözlemlenmiştir. Çekme-Makaslama kuvvetinin en yüksek olduğu kaynak akım şiddetleri ve kaynak zamanı 20 periyot (per) 12 kA değerlerinde yaklaşık olarak 15000N çekme makaslama kuvvetinde ulaşıldığı diyagramdan görülmektedir. Bu değerlerdeki kopma türleri düğmelenmeden yırtılmaya doğru değiştiği gözlenmiştir. Bu düğmelenmeden yırtılmaya doğru giden kopma tiplerinin nedeni aşırı ısı girdisinden dolayı malzemede meydana gelen içyapı değişimleri olduğu belirlenmiştir. 5 periyot gibi düşük kaynak zamanlarında elde edilen bağlantıların çekme-makaslama kuvvetleri oldukça düşük ve hasar tipi olarak ayrılma tipi kopmalar meydana geldiği tespit edilmiştir.

Tablo 5.1. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
5	17,5	13000
10	12	13800
15	12	14000
20	12	15000
25	11,1	15000
30	12,5	13500




Kaynak zamanı artıkça kaynak akım şiddetlerinde azalmaların meydana geldiği, buna karşın max çekme – makaslama kuvvetinde artışların olduğu Şekil 5.1 de ve Tablo 5.1

de açık olarak görülmektedir. Belli bir kaynak akım şiddetinden sonra kaynak zamanının artmasına rağmen dayanım değerlerinde düşüşlerin tespit edildiği gözlemlenmiştir. Beklenen sonuçlarda bu doğrultudadır. Yüksek kaynak akım şiddetlerinde ve yüksek kaynak zamanlarında ısı girdisinin oldukça artması neticesinde elektrotların dalma derinlikleri ve malzemeler arasında fişkirmaların arttığı gözlemlenmiştir. Kaynağı yapılmış malzemenin ara kesitlerinde erimenin artması neticesinde oluşan fişkirmalar ile çekirdeğin kesitinde daralmalar meydana gelmiştir. Bu kesit daralmalarına bağlı olarak çekme-makaslama kuvvetinde hızlı düşüşler meydana gelmiş, çekirdek bölgesinde aşırı renk değişimleri, elektrot yapışması, derin elektrot izleri ve çekirdek üzerinde bakır kalıntıları tespit edilmiştir (Tablo 5.2). Bu güne kadar yapılan ve literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar ile karşılaşmıştır. [15,25,41,60,62].



Şekil 5.1. DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin sabit kaynak zamanlarında çekme-makaslama dayanımına etkisi

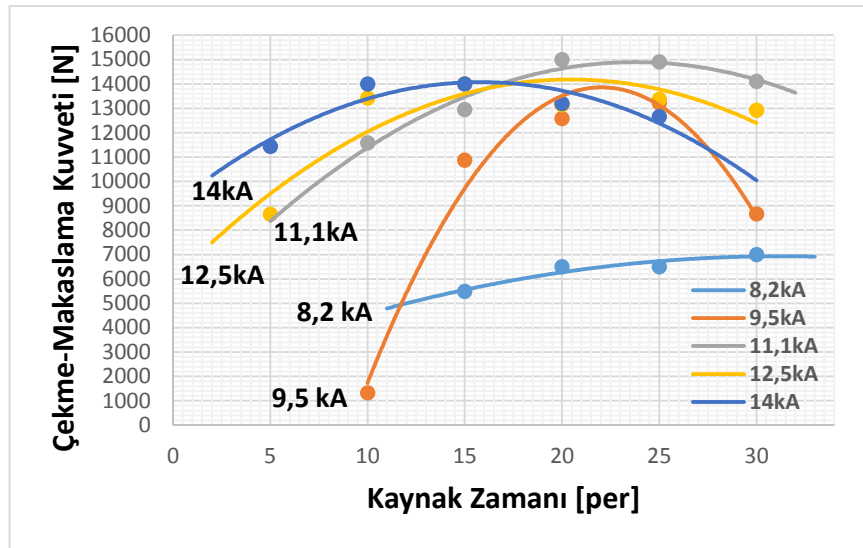
Tablo 5.2. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde oluşan hata tipleri

Kaynak Zamanı (per)	Kaynak Akım Şiddeti (kA)	Hata Tipi	
20	14	Derin elektrot izi / Renklenme/Fışkıрма	
25	12,5	Derin elektrot izi / Renklenme/Fışkıрма	
30	12,5	Derin elektrot izi / Renklenme/Fışkıрма	

### 5.2.2. Kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.2.'de görüldüğü gibi kaynak zamanının artmasıyla kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak bölgesine verilen ısının artması neticesinde çekme-makaslama kuvvetinde artar. Maksimum çekme-makaslama kuvvetine sahip bağlantılar 11 kA-14 kA Kaynak akım şiddetlerinde 15-25 periyot Kaynak zamanında (yaklaşık olarak 14000-15000 N) elde edilmiştir. 5 periyot kaynak zamanında istenen dayanım değerine sahip bağlantı elde edilememiştir. Kaynak zamanının belirli bir değerinden sonar (25 per ve 11 kA) çekirdek kesitinden fışkırmaların ortaya çıkmasıyla birlikte çekme-makaslama dayanımı değerlerinde hızlı bir düşüş görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [34,35,36,37,38].





Şekil 5.2. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekme-makaslama dayanımına etkisi

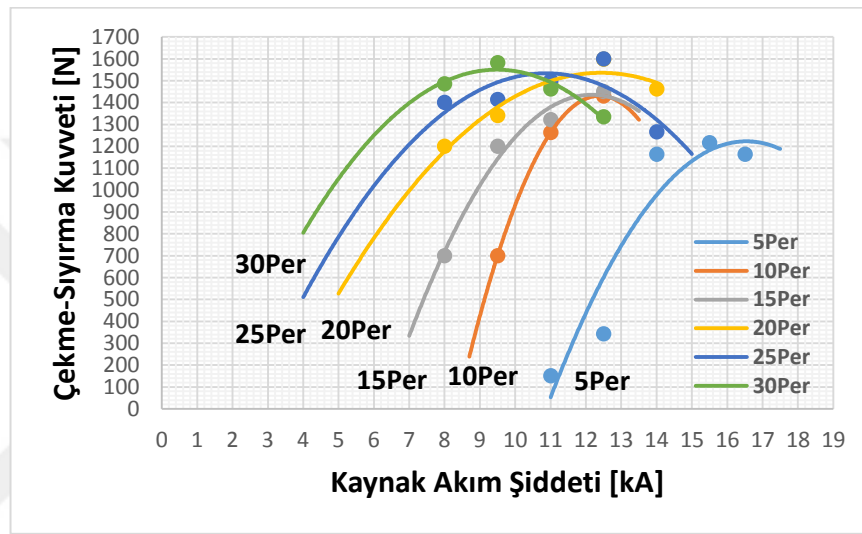
Tablo 5.3. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Kaynak Zamanı [Per]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
8,2	30	6000
9,5	20-25	14000
11,1	20-25	15000
12,5	20	14500
14	15	14000

### 5.2.3. Kaynak akım şiddetinin DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-sıyrma dayanımına etkisi

Şekil 5.3.'de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin artmasıyla çekme – makaslama kuvvetinde olduğu gibi çekme-sıyrma kuvvetinde de artışlar gözlenmektedir. 5 periyot düşük kaynak zamanında istenen bağlantı gerekli olan ısı miktarı tam olarak oluşturulamadığından dolayı elde edilememiştir. 5 periyot düşük kaynak zamanlarında elektrik direnç nokta kaynak makinesi üzerinde kaynak akım şiddetinin 16,5 kA değerinin üzerinde ayarlanmış olsaydı (makinenin en fazla kaynak akım şiddetinin ayarlanma değeri bu malzeme için 16,5 kA dir. Şekil 4.6.) sağlam birleştirmeler elde edilme ihtimali yüksek olacaktır. Tablo 5.4 te görüldüğü gibi max. değerlerden sonra bağlantıların çekme-sıyrma kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir. Çekme-sıyrma

kuvvetlerindeki bu düşmenin sebebi yüksek akım şiddetlerinin oluşturduğu yüksek ısı girdisinden kaynaklanan elektrot dalma derinliklerinin fazla olması ve fişkırmaların sebep olduğu çekirdek kesit alanı azalmalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Max. değerlerden sonra (Tablo 5.4) ısı girdisinin oldukça artması nedeniyle çekirdek kesitinde fişkırmalar ortaya çıkmış ve çekme-sıyırma kuvvetinde hızla düşüşler gözlemlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda da bu tespit edilen değerlere benzer sonuçlar elde edilmiştir [34,37,38].



Şekil 5.3 DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Tablo 5.5’de fişkıрма meydana gelmiş bağlantılara ait resimler gösterilmektedir.

Tablo 5.4. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-sıyırma numunelerinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Max. Çekme-Sıyırma kuvveti [N]
5	16,5	1250
10	11-12	1450
15	12	1450
20	12-13	1550
25	11	1550
30	9-10	1550

Tablo 5.5. DP600-DP800 bağlantılarda fişkıma oluşan çekme-sıyırma numuneleri

Kaynak Zamanı [per]	Kopma tipi	Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Hata Tipi	
20	Yırtılma	14	Fışkıрма, yanma izleri	
25	Yırtılma	14	Fışkıрма, yanma izleri, elektrot izleri	
10	Yırtılma	12,5	Fışkıрма	
5	Yırtılma	14	Fışkıрма	
30	Yırtılma	11,1	Fışkıрма, yanma izleri	
15	Yırtılma	12,5	Fışkıрма, yanma izleri	

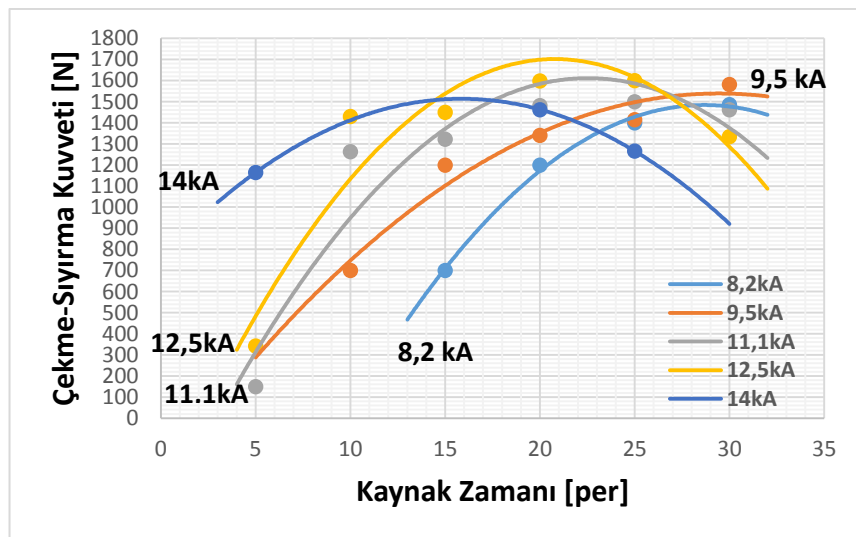
#### 5.2.4. Kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak zamanının artmasıyla kaynak çekirdek bölgesine verilen ısının artmasından dolayı çekme-sıyırma dayanımı da belirli bir kaynak zamanına kadar artışlar meydana gelmiştir. Tablo 5.6 ve şekil 5.4 incelendiğinde en yüksek çekme-sıyırma dayanımına sahip bağlantılar 11 kA ve 12 kA Kaynak akım şiddetlerinde 20-25 periyot arası kaynak zamanlarında

(1600 N-1700 N) elde edilmiştir. 5 periyot kaynak zamanında daha düşük çekme-sıyırma kuvvetine sahip bağlantı elde edildiği diyagramda görülmektedir. 5 per kaynak zamanlarında yüksek akım şiddetleri kullanılması halinde yüksek çekme-sıyırma kuvvetleri elde edilebilir. Makina üzerinde maksimum 16,5 kA kaynak akım şiddetleri ayarlanabilmekte ve elde edilen çekme sıyırma kuvvetleri 1500 N olarak tespit edilmiştir. Max. Çekme – sıyırma kuvveti 12,5 kA de elde edilmiştir (1700 N). Kaynak zamanının belirli bir değerinden sonra Kaynak akım şiddetine bağlı olarak aşırı elektrot dalma derinliği, fişkırmalar ve elektrotta malzemeye yapışmalar ortaya çıkmıştır (yüksek akım şiddetlerinde 15 periyot-Düşük akım şiddetlerinde 20 periyot). Bu durum çekme-sıyırma dayanımının azalmasına yol açmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [34,37,38].

Tablo 5.6. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-sıyırma numunelerinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Kaynak Zamanı [Per]	Max. Çekme-Sıyırma kuvveti [N]
8,2	30	1500
9,6	30	1550
11,1	20-25	1600
12,5	20-25	1700
14	15	1500



Şekil 5.4 DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının çekme-sıyırma dayanımına etkisi

### 5.3. DP600-DP800 Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Ayar Değişkenlerinin Çekirdek Geometri Boyutlarına Etkisi

#### 5.3.1. Kaynak akım şiddetinin ve Kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekirdek çapına etkisi

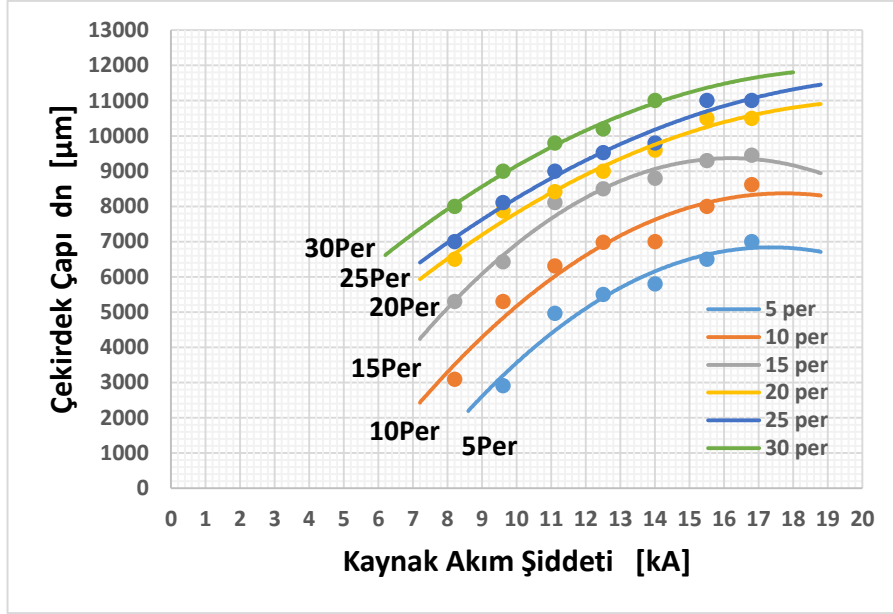
Şekil 5.5. ve 5.6.'da verilen diyagramlarda kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasından dolayı Kaynak çekirdeğine iletilen ısı girdisi artmakta ve bunun neticesinde kaynak çekirdek çapın da arttığı görülmektedir [39]. Yine diyagramlarda kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının belli bir değerinden sonra kaynak çekirdeğine iletilen aşırı ısı girdisi nedeniyle malzeme ara kesitinde eriyen malzeme miktarının artması ile ve elektrot kuvvetinden dolayı elektrotlar malzemeye aşırı dalmakta, bundan dolayı erimiş metalin fişkırdığı gözlenmiştir.

Tablo 5.7. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek çapına etkisi (kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Kaynak Çekirdek Çapı [ $\mu\text{m}$ ]
5	16,5	7000
10	16,5	8000
15	16,5	9200
20	16,5	10800
25	16,5	11000
30	16,5	11500

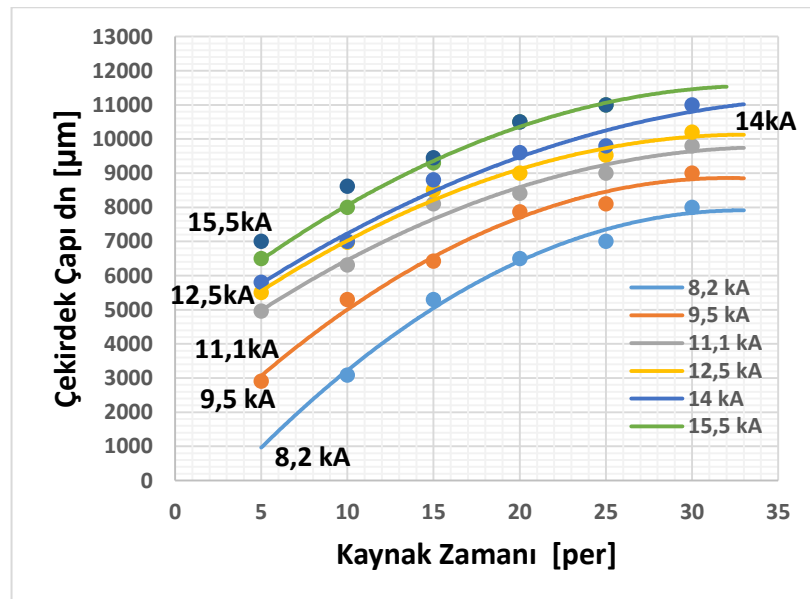
Tablo 5.8. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak çekirdek çapına etkisi (kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Kaynak Zamanı [Per]	Kaynak Çekirdek Çapı [ $\mu\text{m}$ ]
8,2	30	8000
9,6	30	9000
11,1	30	9500
12,5	30	10000
14	30	11000
15,5	30	11500



Şekil 5.5. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin çekirdek çapına etkisi

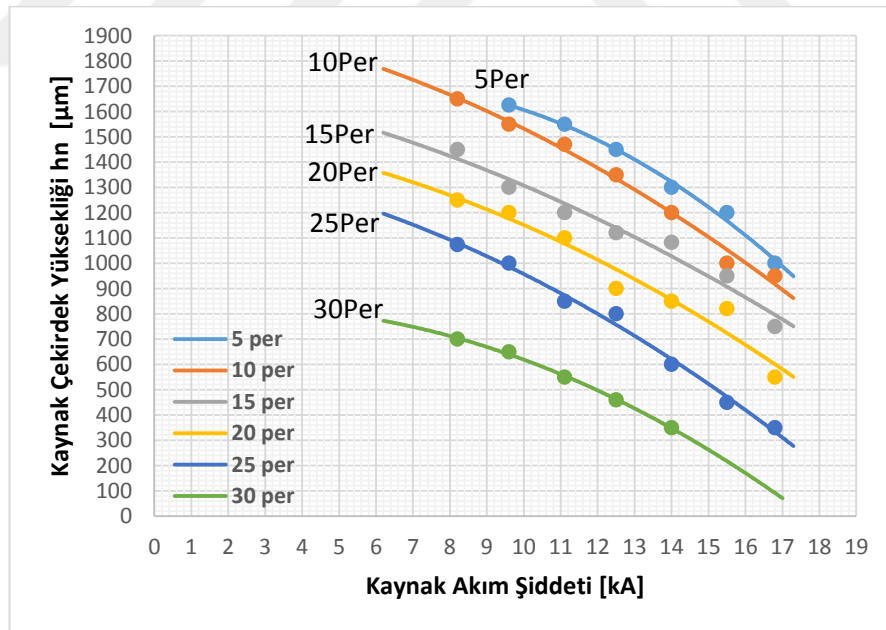
Bu malzemeler arasındaki fişkırmalar, malzeme kayıpları neticesinde belli bir kaynak çekirdek çapından sonar delinmeler meydana geldiği tespit edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38,40,41]. 10, 20 ,25, 30 periyot gibi yüksek kaynak zamanlarında ve 15,5 kA ,16,5kA gibi yüksek kaynak akım şiddetlerinde çekirdek oluştuğu fakat malzemenin delindiği görülmektedir.



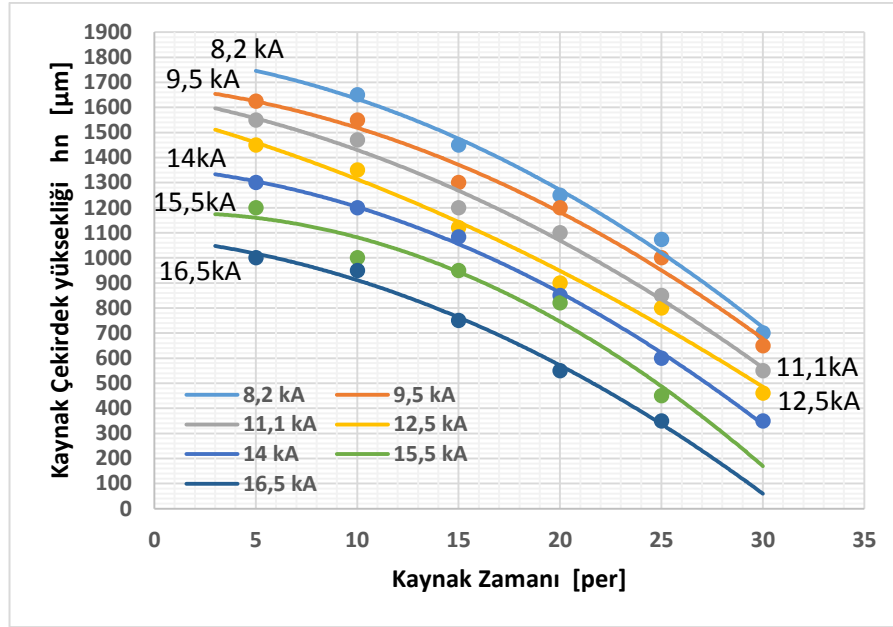
Şekil 5.6. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının sabit kaynak akım şiddetinde çekirdek çapına etkisi

### 5.3.2. Kaynak akım şiddetinin ve Kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekirdek yüksekliğine etkisi

Şekil 5.7. ve 5.8.'deki diyagramlarda görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasına rağmen çekirdek yüksekliği azalmaktadır. Bunun nedeni kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte kaynak çekirdeğine iletilen ısı girdisinin artması sebebiyle eriyen metal miktarı kaynak çekirdeğinde artmakta ve bununla birlikte elektrot kuvvetinin etkisi aşırı dalma derinliği oluşturmakta, bunun neticesinde çekirdek kesitinden fişkırmalar meydana gelmektedir. Bu yüzden çekirdek yüksekliği azalmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38,40]. Tablo 5.9.ve Tablo 5.10 da görüldüğü gibi max. kaynak akım şiddetleri ve kaynak zamanlarında çekirdek yükseklikleri düşük, sonuç olarak kaynak çekirdeği oluştuğu (aşırı kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetlerinde delinmeler), min. kaynak akım şiddetlerinde ve kaynak zamanlarında kaynak çekirdeğinin oluşma aşamasında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.7. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi



Şekil 5.8.DP600- DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi

Tablo 5.9. DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi (kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Kaynak Akım Şiddeti [kA]		Kaynak Çekirdek yüksekliği hn [µm]	
	Min.	Max.	Max..	Min.
5	9,5	16,5	1600	1000
10	8,2	16,5	1650	980
15	8,2	16,5	1450	750
20	8,2	16,5	1250	550
25	8,2	16,5	1080	350
30	8,2	14	1000	350

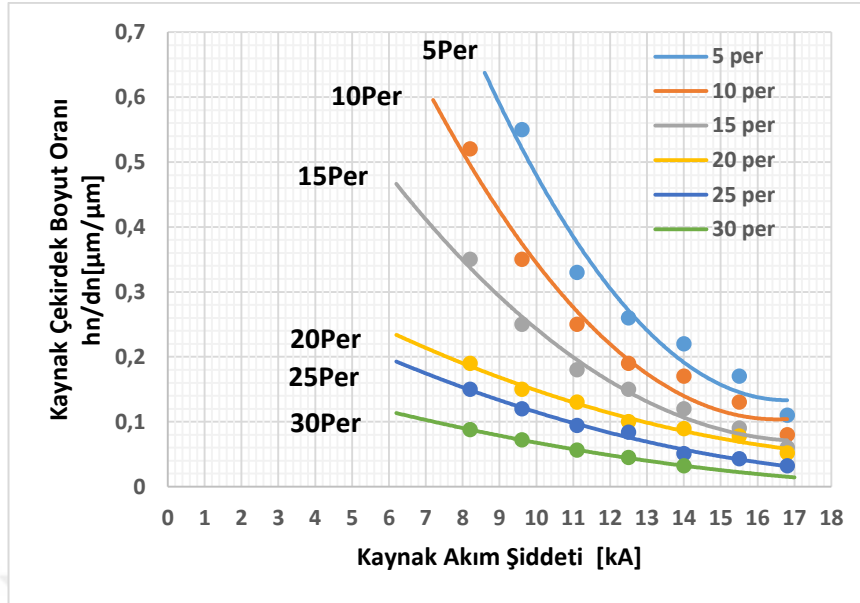


Tablo 5.10. DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak çekirdek yüksekliğine etkisi (kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

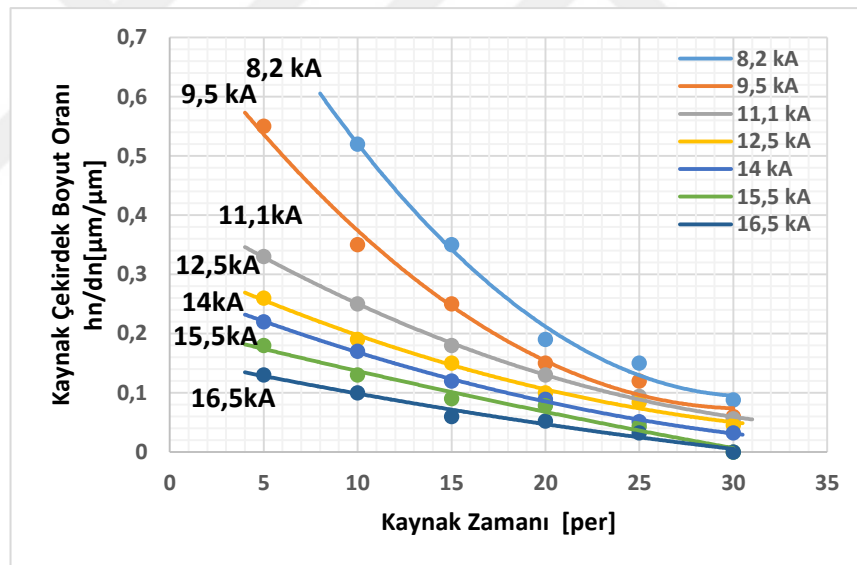
Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Kaynak Zamanı [Per]		Kaynak Çekirdek yüksekliği hn [ $\mu$ m]	
	Min.	Max.	Max.	Min.
8,2	10	30	1650	700
9,5	5	30	1620	680
11,1	5	30	1550	550
12,5	5	30	1450	480
14	5	30	1300	350
15,5	5	25	1180	450
16,5	5	25	1000	350

### 5.3.3. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantıların çekirdek boyut oranına etkisi

Şekil 5.9. ve 5.10.'daki diyagramlarda görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin kademeli olarak artmasıyla birlikte belli bir noktaya kadar çekirdek boyut oranının azaldığı tespit edilmiştir. Bu noktadan sonra ise kaynak akım şiddeti değerlerinin artmasıyla birlikte malzemede delinmelerin meydana gelmesinden dolayı çekirdek boyut oranı hesaplanamamaktadır. Bunun nedeni artan ısı girdisi sebebiyle elektrot kuvvetine bağlı olarak elektrotların dalma derinliklerinin artması, çekirdek yüksekliğinin azalmasıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38].

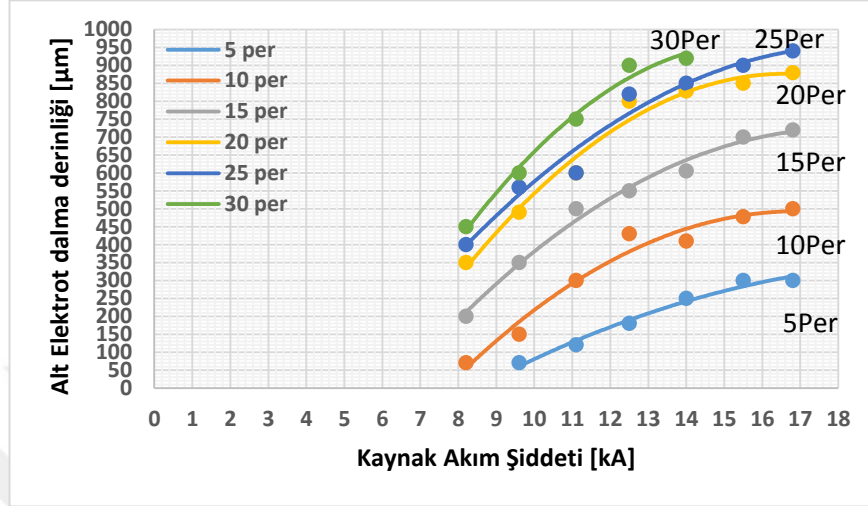


Şekil 5.9. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak çekirdek boyut oranına etkisi

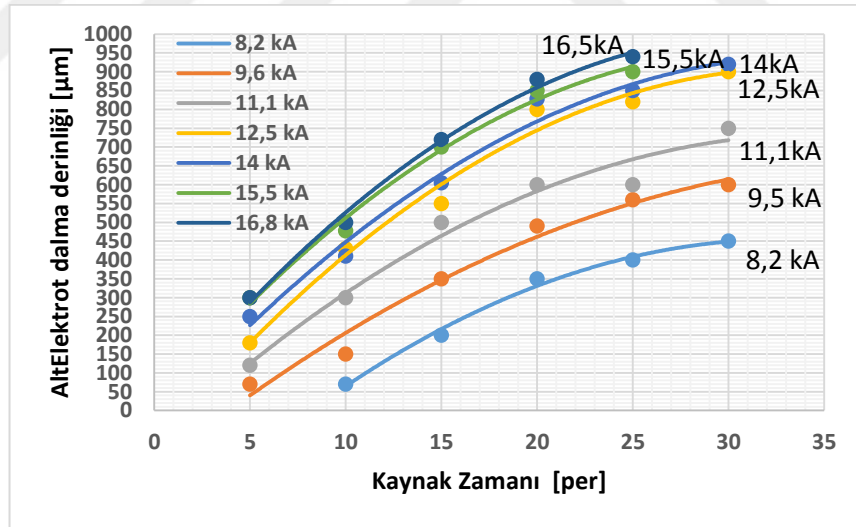


Şekil 5.10. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak akım şiddetine bağlı olarak çekirdek boyut oranına etkisi

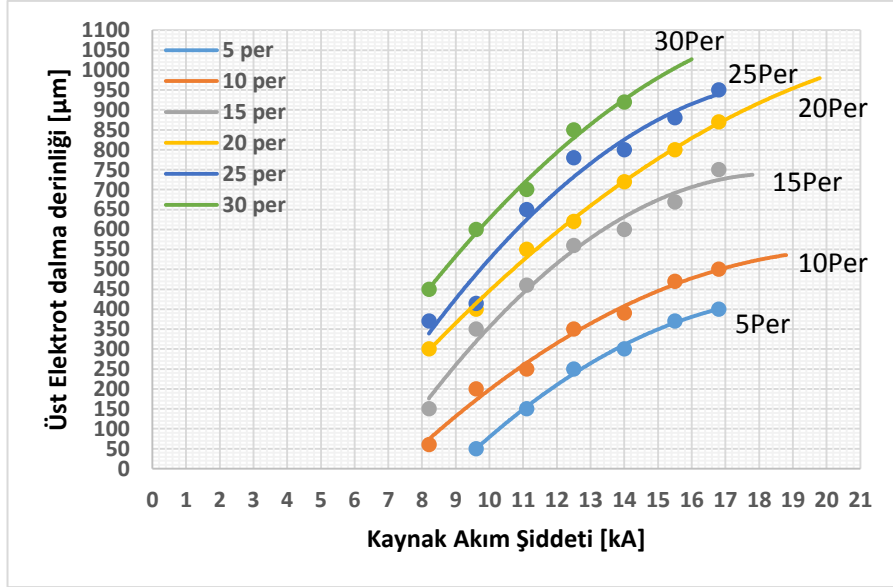
**5.3.4. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının Alt –Üst ve toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi**



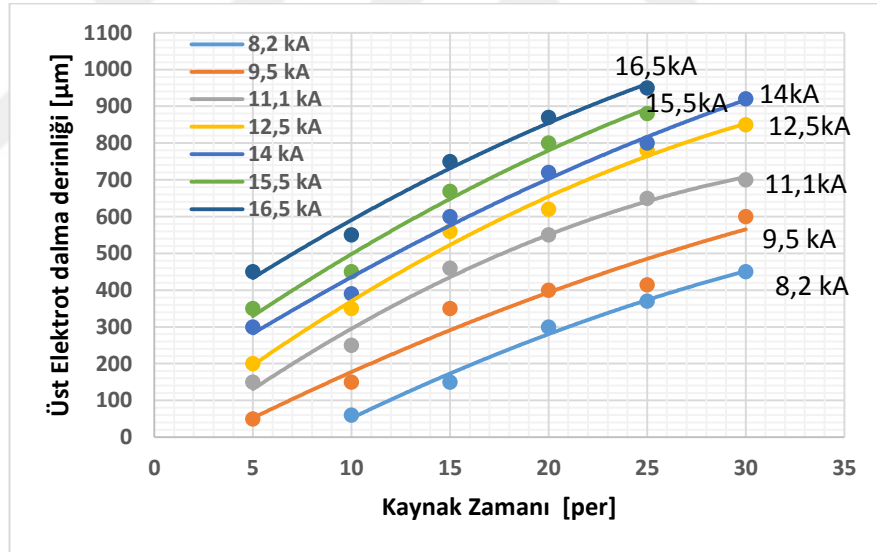
Şekil 5.11. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak Alt elektrot dalma derinliğine etkisi



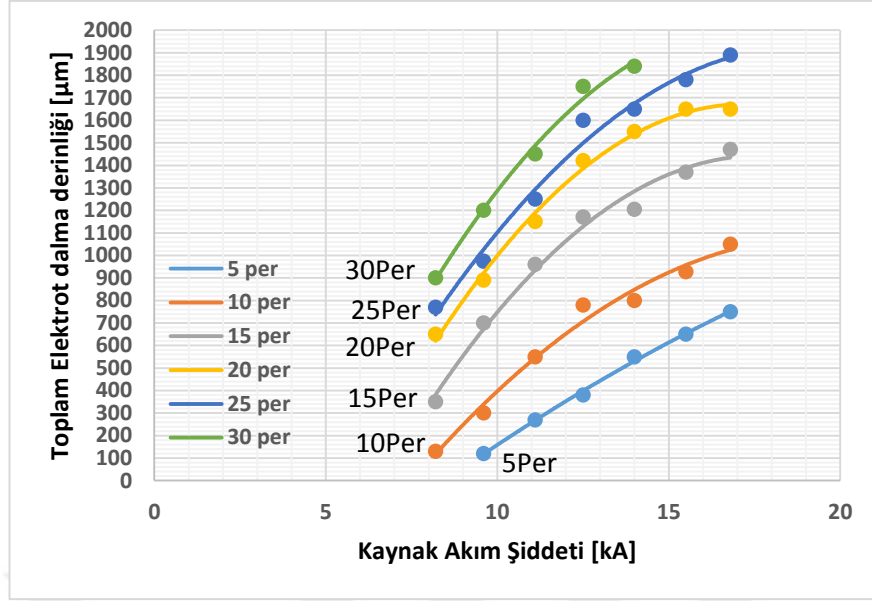
Şekil 5.12. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Kaynak akım şiddetine bağlı olarak Alt Elektrot dalma derinliğine etkisi



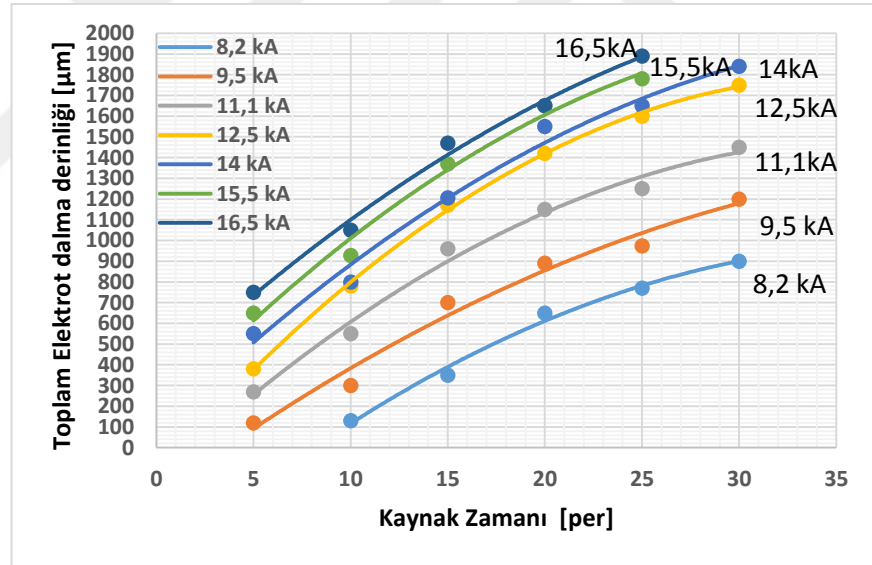
Şekil 5.13. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak Üst Elektrot dalma derinliğine etkisi



Şekil 5.14. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Kaynak akım şiddetine bağlı olarak Üst Elektrot dalma derinliğine etkisi



Şekil 5.15. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak Toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi



Şekil 5.16. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının kaynak akım şiddetine bağlı olarak Toplam Elektrot dalma derinliğine etkisi

Şekil 5.11. - 5.16.'da verilen diyagramlarda görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının yükselmesi ile birlikte elektrotların dalma derinliği elektrot kuvvetine bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanına bağlı olarak oluşan ısı girdisinin belli bir değerinden sonra ise herhangi bir değişim meydana gelmemekte, malzemede delinme meydana gelmektedir. Yüksek

kaynak zamanlarında ve yüksek akım şiddetlerinde elektrot kuvvetinin etkisi ile malzemelerin delindiği ve çekirdeğin oluşmadığı gözlenmiştir. Kabul edilebilir toplam elektrot dalma derinlikleri Tablo 5.11 ve Tablo 5.12 de verilmiştir. Tablolar standartlarda belirtilen toplam saç kalınlığının % 25-30' nu toplam elektrot dalma derinliğinin geçmemesi tavsiyesine göre oluşturulmuştur. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [40,42, 43].

Tablo 5.11. DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin Toplam elektrot dalma derinliği etkisi (kaynak zamanına bağlı olarak)

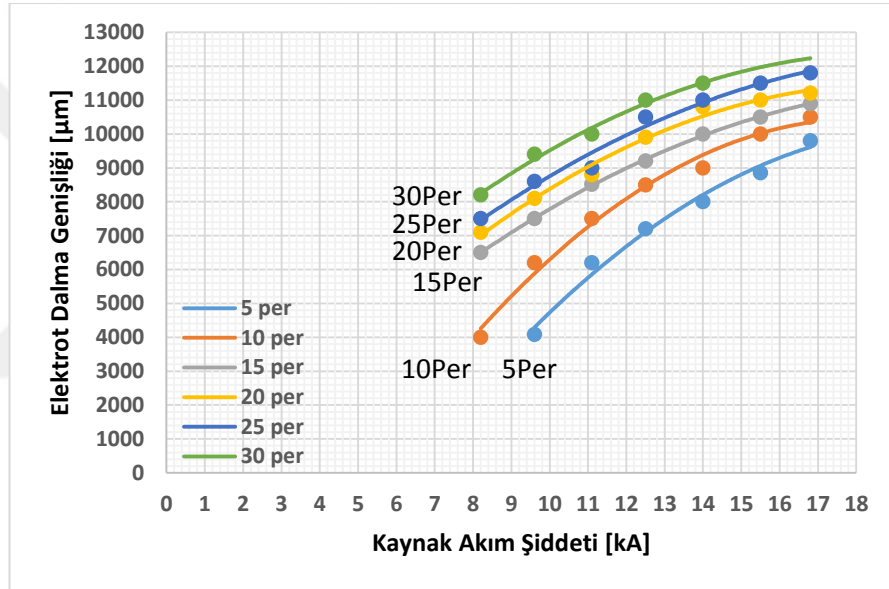
Kaynak Zamanı [Per]	Kaynak Akım Şiddeti [kA]		Kabul edilebilir Toplam elektrot dalma derinliği [µm]	
	Min.	Max	Max.	Min.
5	9,5	14	120	550
10	8,2	11,1	120	550
15	8,2	9,5	350	700
20	8,2	-	650	-
25	8,2	-	750	-
30	8,2	-	900	-

Tablo 5.12. DP600-DP 800 bağlantılarda kaynak zamanının Toplam elektrot dalma derinliği etkisi (kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

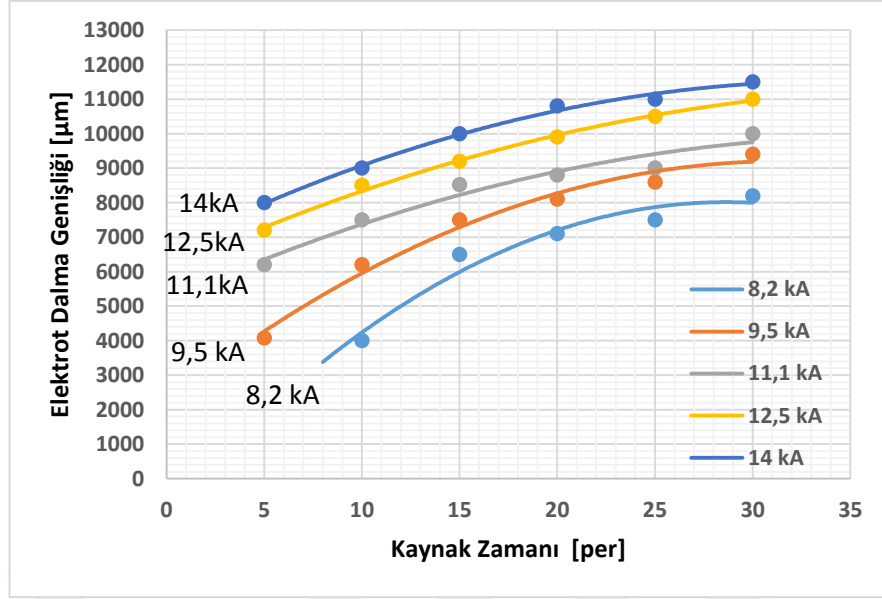
Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Kaynak Zamanı [Per]		Kabul edilebilir Toplam elektrot dalma derinliği [µm]	
	Min.	Max.	Max.	Min.
8,2	10	20	120	650
9,5	5	15	120	700
11,1	5	10	280	550
12,5	5	10	250	800
14	5	-	600	-
15,5	-	-	-	-
16,5	-	-	-	-

### 5.3.5. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının DP600-DP800 çelik saçlarından elde edilen bağlantılarının Elektrot dalma genişliğine etkisi

Şekil 5.17. - 5.20.'de görüldüğü gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte elektrotların dalma genişlikleri de artmaktadır. Isı girdisinin belli bir değerinden sonra ise herhangi bir değişim meydana gelmemektedir ve kullanılan elektrot çapına ulaşmaktadır. Yüksek akım şiddetlerinde ve kaynak zamanlarında elektrot dalma genişliklerinde renklenmeler, yanmalar ve elektrot kalıntıları tespit edilmiştir (Tablo 5.2 , Tablo 5.5).



Şekil 5.17. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak akım şiddetinin kaynak zamanına bağlı olarak Elektrot dalma genişliğine etkisi.



Şekil 5.18. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak zamanının Kaynak akım şiddetine bağlı olarak Elektrot dalma genişliğine etkisi.

#### 5.4. DP600-DP800 Çelik Sac Çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Çekirdek Boyutlarının Çekme-Makaslama ve Çekme-Sıyırma Dayanımına Etkisi

##### 5.4.1. DP600-DP800 çelik saclarından elde edilen bağlantılarının çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi

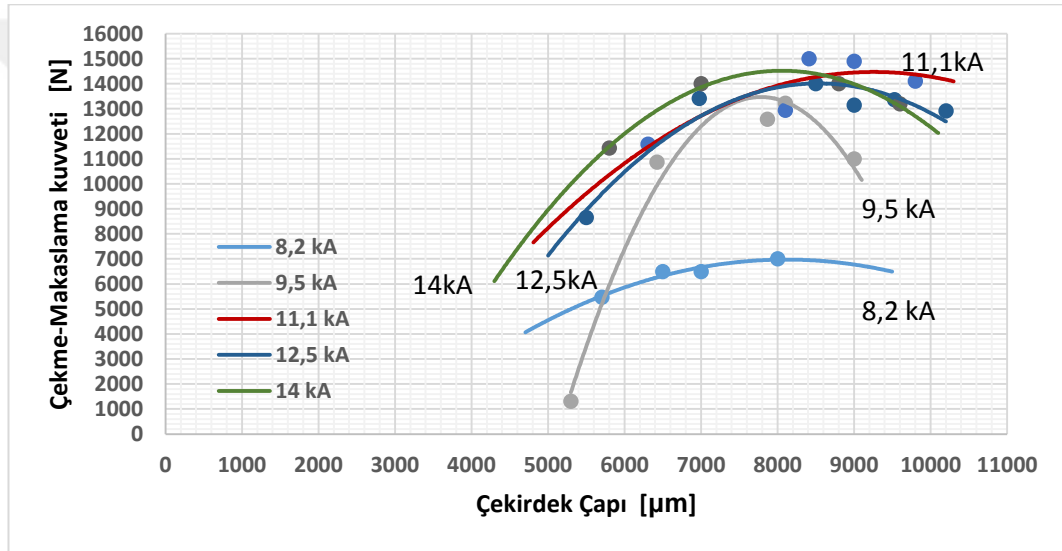
Şekil 5.19. ve 5.20.'deki diyagramlarda görüldüğü gibi kaynak çekirdek çapının artması ile, elde edilen bağlantının çekme-makaslama kuvvetinde artışı gözlemlenmiştir. Çekirdek çapı artmasına rağmen belli bir çekirdek çapından sonra kuvvet değerlerinde düşmelerin meydana geldiği diyagramlarda görülmektedir. Bunun sebebi kaynak çekirdeğinde kaynak akım şiddetlerine ve kaynak zamanına bağlı olarak ısı girdisinin artması, elektrot kuvvetlerinin etkisi ile elektrotların malzemeye dalmalarının artması, çekirdek yüksekliğinin azalması ve kaynak edilecek malzemeler arasında fişkırmaların artmasıdır. Bunun sonucunda da, kaynak çekirdeği daha yüksek kuvvet değerlerinde hasara uğramakta ve dayanım düşmektedir. [41]. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38,39].



Tablo 5.13 de görüldüğü gibi en yüksek çekme-makaslama kuvvet değerleri (yaklaşık olarak 13500 N-14500N) 7500 ve 8500  $\mu\text{m}$  değerlerinde elde edildiği gözlemlenmiştir.

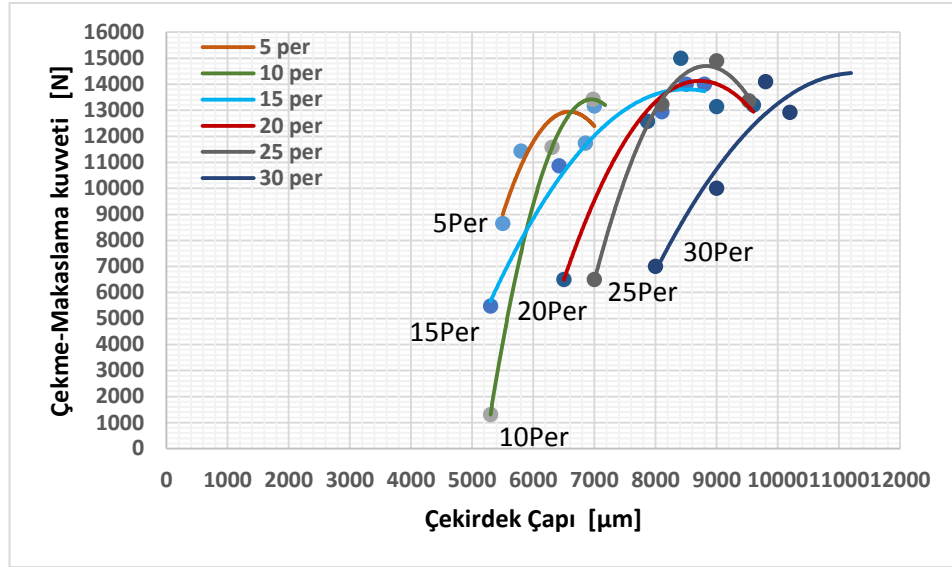
Tablo 5.13. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde kaynak çekirdek çaplarından deneylerde elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Çekirdek çapı [ $\mu\text{m}$ ]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
8,2	8000	7000
9,5	7500	13500
11,1	9200	14500
12,5	8500	14000
14	8000	14500



Şekil 5.19. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit-kaynak zamanı değişken)

Tablo 5.14 de görüldüğü gibi en yüksek çekme makaslama kuvveti (13800-14800N) kaynak zamanına bağlı olarak 8000-11000  $\mu\text{m}$  çekirdek çaplarında elde edilmiştir.



Şekil 5.20. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken kaynak zamanı sabit)

Tablo 5.14. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde kaynak çekirdek çaplarından deneylerde elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Çekirdek çapı [µm]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
5	6500	13000
10	7000	13500
15	8300	13800
20	8500	14000
25	8800	14800
30	11000	14500

#### 5.4.2. DP600-DP800 bağlantıların Kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.21. ve 5.22.'deki diyagramlarda görüldüğü gibi kaynak çekirdek yüksekliği arttıkça, kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanına bağlı olarak bağlantının çekme-makaslama dayanımının azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının düşük olmasından dolayı kaynak çekirdek çapı düşük olmakta ve çekirdek yükseklikleri büyük olmaktadır. Diğer bir tanımlama ile düzgün çekirdek oluşmamaktadır. Belli bir çekirdek yüksekliğine kadar çekme-makaslama kuvvetinde artmalar oluşmaktadır (çekirdek yüksekliği düştükçe çekme-makaslama kuvvetinde artma meydana gelmektedir). Oluşan optimum

çekirdek yüksekliğinden sonar çekme-makaslama dayanım değerlerinde düşmeler meydana gelmektedir. Bunun sebebi artan kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti ile oluşan ısı girdisinin yükselmesi ve bunun sonucunda malzemenin aşırı ısınması, elektrot kuvvetinin etkisi ile fişkirmaların artması çekirdek yüksekliğinin azalmasına sebebiyet vermektedir. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi sebebiyle elektrotların dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak kaynak çekirdek yüksekliği azalarak çekirdek çapı artmaktadır. Dolayısıyla düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde düşük ısı girişine bağlı olarak (çekirdek çapı düşük) çekme-makaslama dayanımı da yeterli seviyede olmadığı tespit edilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38].

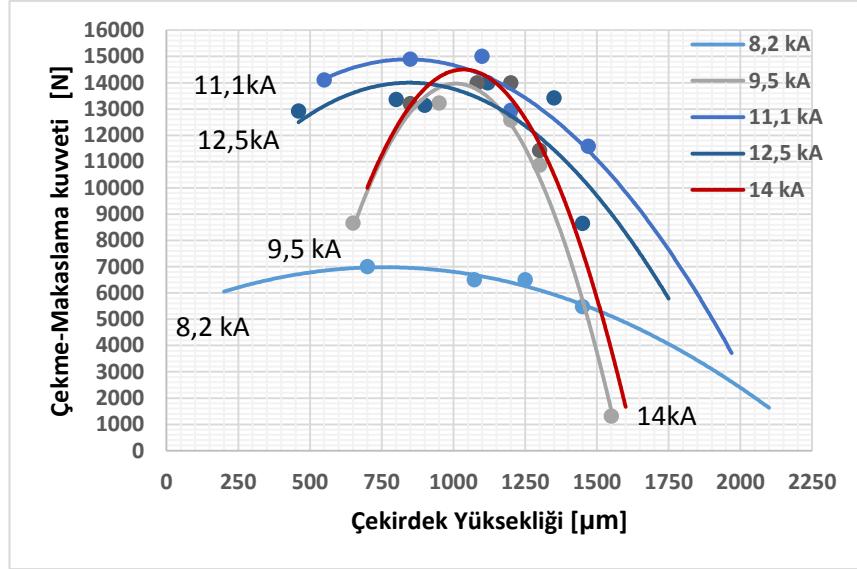
Tablo 5.15. DP600-DP 800 bağlantıları kaynak çekirdek yüksekliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Çekirdek yüksekliği [ $\mu\text{m}$ ]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
8,2	750	7000
9,5	1100	14500
11,1	900	15000
12,5	900	14000
14	1050	14500

Tablo 5.15 de görüldüğü gibi en yüksek çekme-makaslama kuvvet değerleri (yaklaşık olarak 15000N) 900  $\mu\text{m}$  değerlerinde elde edildiği gözlemlenmiştir.

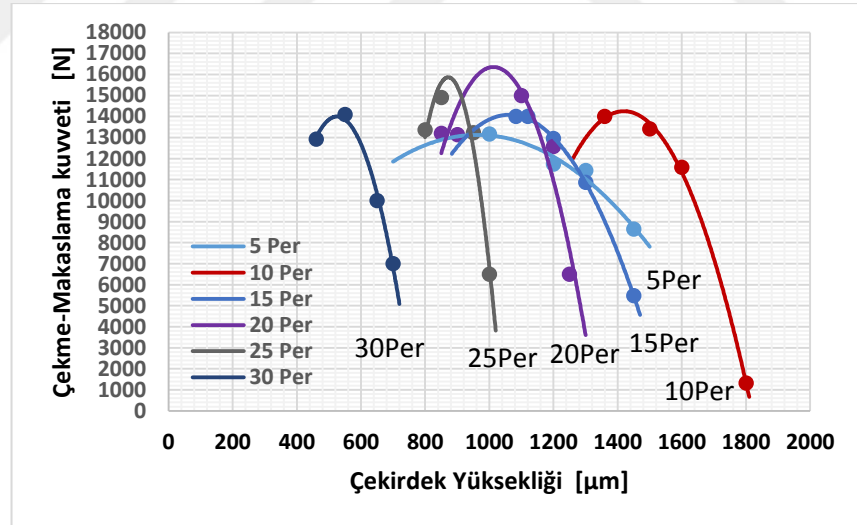
Tablo 5.16. DP600-DP 800 bağlantıları kaynak çekirdek yüksekliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Çekirdek yüksekliği [ $\mu\text{m}$ ]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
5	1000	13000
10	1400	14100
15	1150	14000
20	1100	16500
25	900	16000
30	500	14000



Şekil 5.21. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

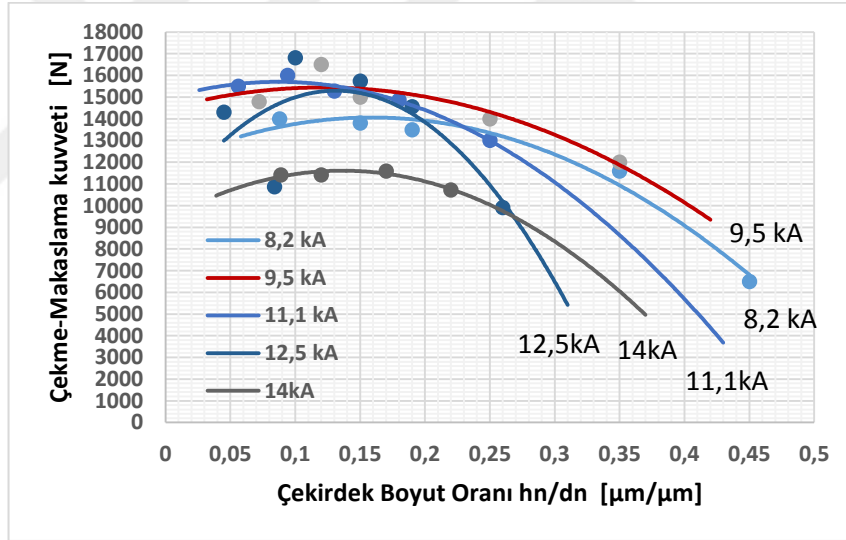
Tablo 5.16 de görüldüğü gibi en yüksek çekme-makaslama kuvvet değerleri (yaklaşık olarak 16000N-1650N) 900  $\mu\text{m}$ -1100  $\mu\text{m}$  değerlerinde elde edildiği gözlemlenmiştir.



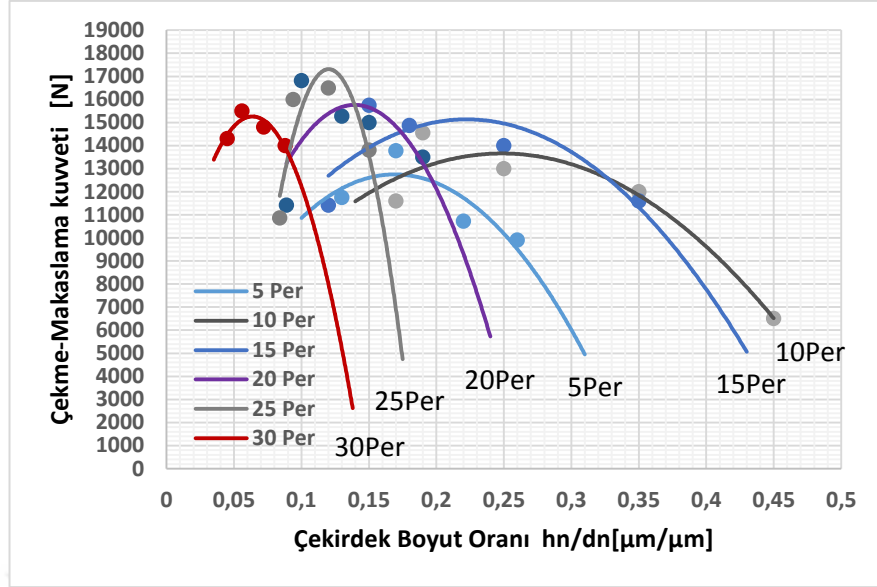
Şekil 5.22. DP600-DP800 bağlantılarda kaynak çekirdek yüksekliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

### 5.4.3. DP600-DP800 bağlantıların çekirdek boyut oranının ( $h_n/d_n$ ) çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.23. ve 5.24.'deki diyagramlarda gibi çekirdek boyut oranı ( $h_n/d_n$ ) arttıkça, bağlantının çekme-makaslama kuvvetinde azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte kaynak çekirdeğine iletilen ısının artması sebebiyle elektrotların malzemeye dalma derinlikleri artar ve buna bağlı olarak kaynak çekirdeğinin yüksekliği azalırken kaynak çekirdeğinin çapı artar. Yani çekirdek boyut oranı azalır. Çekirdek boyut oranının yüksek olduğu düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde ise kaynak çekirdeğine iletilen ısının düşük olmasından dolayı çekme-makaslama dayanımı da düşük çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.23. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.24. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

Tablo 5.17, Tablo 5.18 de görüldüğü gibi belli bir kaynak çekirdek oranından sonra çekirdek boyut oranı artmasına rağmen çekme-makaslama kuvvetinde düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun nedeni kaynak çekirdek bölgesine iletilen ısı miktarının artması ile çekirdek yüksekliğinin azaldığı, buna mukabil çekirdek çapının arttığı ve buna bağlı olarak kaynak çekirdeğindeki fişkırımların neden olduğu malzeme kayıplarıdır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38]. En yüksek çekme makaslama kuvvet değerleri(16000-17000N) 0,11-0,13 çekirdek boyut oranlarında elde edilmiştir.

Tablo 5.17. DP600-DP 800 bağlantıları kaynak çekirdek Boyut oranında deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

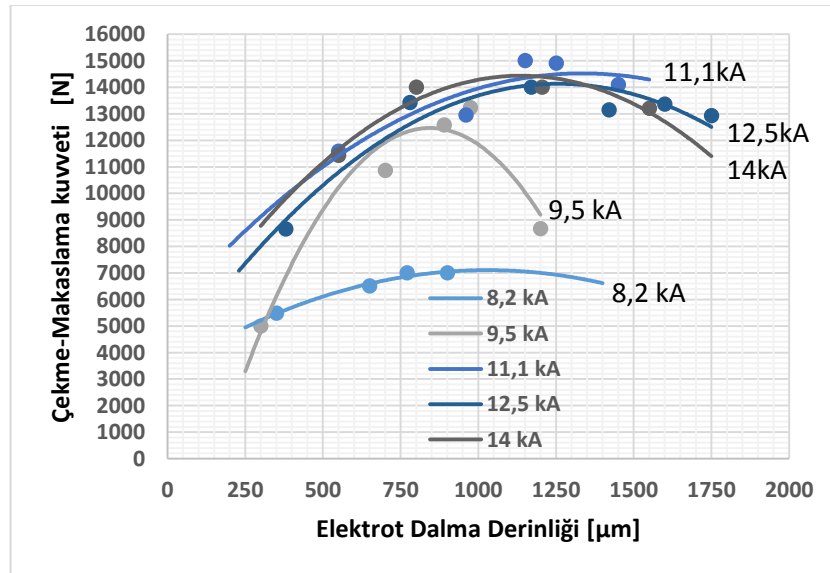
Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Çekirdek boyut oranı [hn/dn]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
8,2	0,15	14000
9,5	0,13	15500
11,1	0,1	15900
12,5	0,13	15500
14	0,15	11500

Tablo 5.18.. DP600-DP 800 bağlantıları kaynak çekirdek Boyut oranında deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

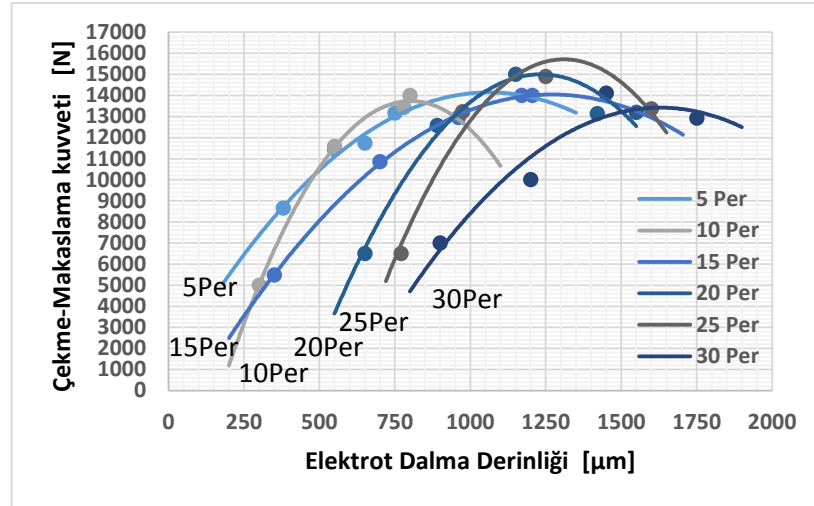
Kaynak Zamanı [Per]	Çekirdek boyut oranı [hn/dn]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
5	0,17	12500
10	0,25	13900
15	0,21	15000
20	0,13	15800
25	0,12	17100
30	0,07	15200

#### 5.4.4. DP600-DP800 bağlantıların dalma derinliklerinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.25 ve 5.26'deki diyagramlarda görüldüğü gibi elektrot dalma derinliği elektrot kuvvetine bağlı olarak arttıkça, elde edilen bağlantının çekme-makaslama kuvvetinde artışı gözlemlenmiştir. Ancak belli bir elektrot dalma derinliğinden sonra kaynak kaynak çekirdek bölgesine iletilen yüksek ısı girdisi nedeniyle malzeme arakesitinde meydana gelen erimeye bağlı olarak fişkıma oluşur ve bu yüzden elde edilen bağlantının çekme-makaslama kuvveti düşmeye başlar.



Şekil 5.25. DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.26. DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma derinliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

Tablo 5.19. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma derinliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Elektrot dalma derinliği [µm]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
8,2	1000	7000
9,5	800	12500
11,1	1300	14500
12,5	1250	14000
14	1100	14500

Tablo 5.20. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma derinliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Elektrot dalma derinliği [µm]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
5	1100	14000
10	800	13900
15	1250	14000
20	1250	15000
25	1300	15900
30	1650	13500

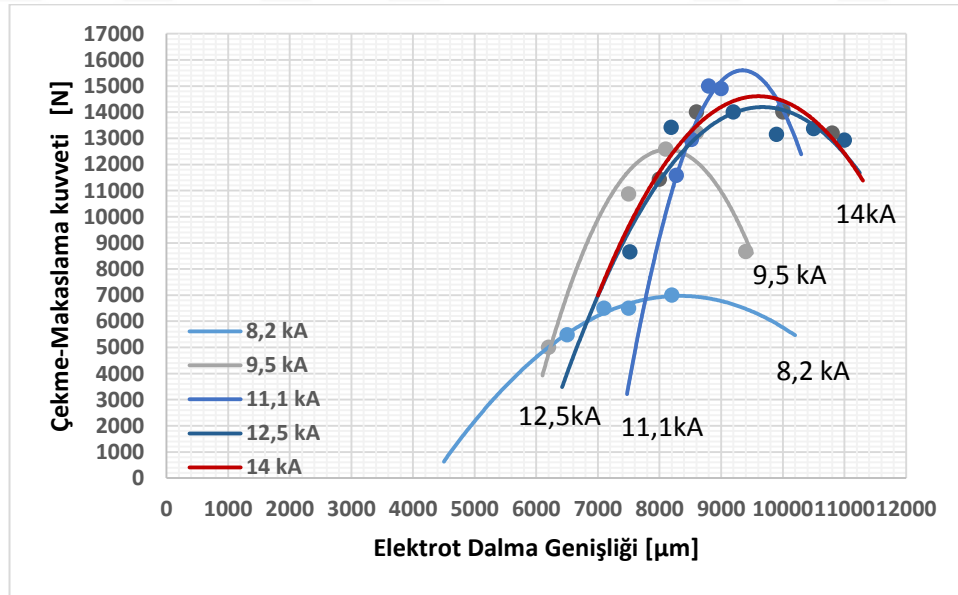
Tablo 5.19, Tablo 5.20 de görüldüğü gibi belli bir elektrot dalma derinliğinden sonra elektrot dalma derinliğinin artmasına rağmen çekme-makaslama kuvvetinde azalma gözlemlenmektedir. Bunun nedeni yüksek akım şiddeti ve kaynak zamanının etkisi ile kaynak çekirdeğine iletilen ısının artması, erimiş haldeki malzemeye elektrodun dalma



miktarının artması, fişkirmaların, malzeme kayıplarının artmasından ve bunun sonucunda kesit alanının azalmasıdır.

#### 5.4.5. DP600-DP800 bağlantıların Elektrot dalma genişliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi

Şekil 5.27 ve 5.28'deki diyagramlarda görüldüğü gibi elektrot dalma genişliği arttıkça, bağlantının çekme-makaslama kuvveti de artmaktadır ve bu değer çekirdek çapı ile doğru orantılıdır. Ancak belli bir elektrot dalma genişliğinden sonra kaynak çekirdek çapı, kaynak çekirdek yüksekliği, kaynak çekirdek boyut oranında ve elektrot dalma derinliklerinde olduğu gibi kaynak çekirdek bölgesine iletilen yüksek ısı girdisi nedeniyle çekirdek çapının artması, çekirdek yüksekliğinin azalması, buna bağlı olarak elektrot dalma derinliğinin artması sonucunda ve malzeme arakesitinde meydana gelen erimeye bağlı olarak fişkirmaların meydana gelmesi çekme- makaslama kuvvetinin azalmasına sebebiyet vermektedir.

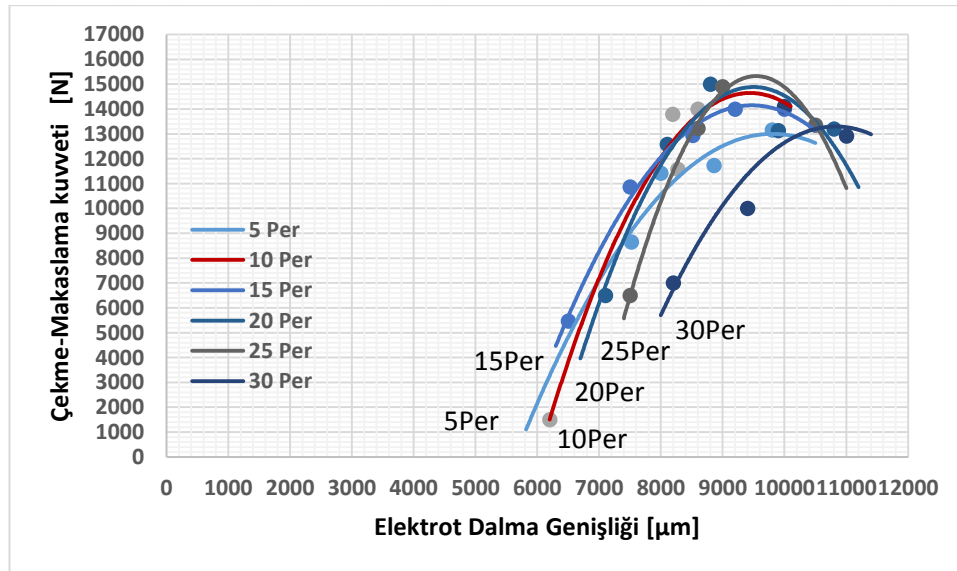


Şekil 5.27. DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)

Şekil 5.29 ve 5.30'deki diyagramlarda ve Tablo 5.21, Tablo 5.22 da görüldüğü bu elektrot dalma genişliklerinden sonra elektrot dalma genişliğinin artış gözlenmesine rağmen rağmen çekme-makaslama kuvvetinde düşmeler gözlenmiştir. Bu çekme makaslama kuvvetindeki düşmenin nedeni kaynak çekirdeğine aşırı ısı girdisinden dolayı elektrot kuvvetinin etkisi erimiş haldeki malzemeye elektrodun fazla dalması ve neticesinde , birleştirilecek malzeme ara kesitlerinde fişkırmaların oluşması , malzeme kayıplarının artmasından ve bunun sonucunda kesit alanının azalmasından olduğu düşünülmektedir.

Tablo 5.21. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri (kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Elektrot dalma genişliği [ $\mu\text{m}$ ]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
8,2	8250	7000
9,5	8000	12500
11,1	9300	15800
12,5	9600	14200
14	9600	14500



Şekil 5.28. DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-makaslama dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

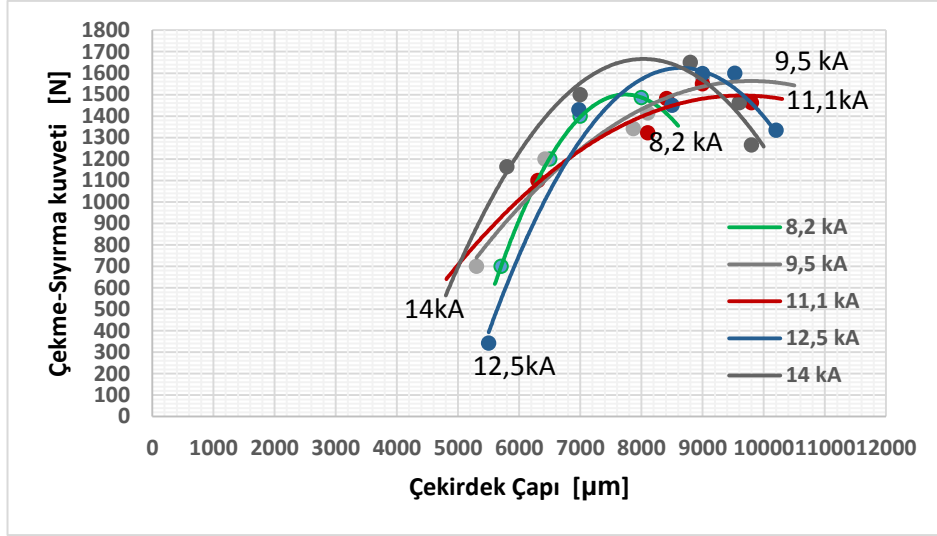
Tablo 5.22. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Elektrot dalma genişliği [ $\mu\text{m}$ ]	Max. Çekme-Makaslama kuvveti [N]
5	9800	13000
10	9200	14800
15	9300	14000
20	9200	14800
25	9500	15500
30	10800	13400

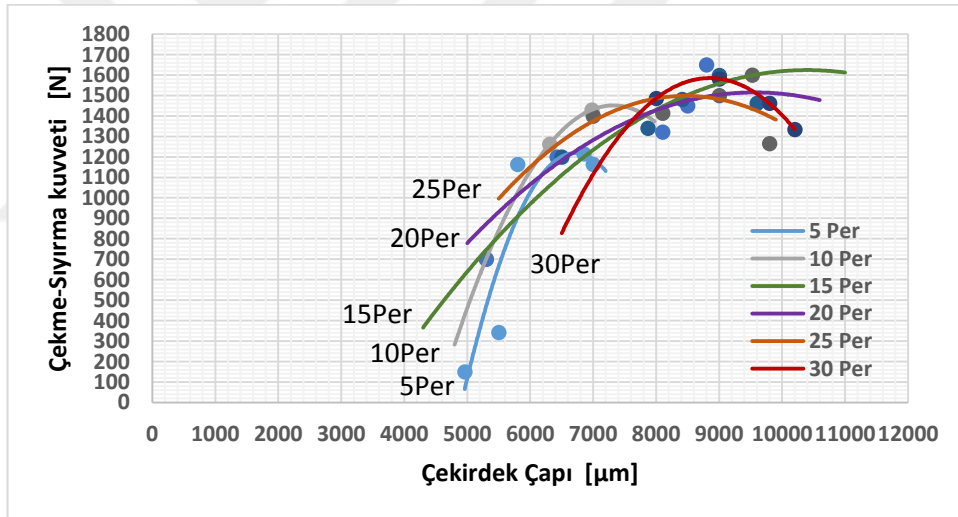
#### 5.4.6. DP600-DP800 bağlantıların kaynak çekirdek çapının kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.29. ve 5.30.'de diyagramlarda kaynak çekirdek çapındaki artış, çekme makaslama kuvvetinde olduğu gibi kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak elde edilen bağlantının çekme-sıyırma kuvvetinde artışa sebep olduğu görülmektedir. Ancak bu artış belirli bir kaynak çekirdek çapından sonra çekme-makaslama kuvvetinde de olduğu gibi artan ısı girdisi ile oluşan aşırı dalma derinliği ve fişkırmalar nedeniyle çekme-sıyırma kuvveti de azalmaların olduğu aynı diyagramda görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38].

Tablo 5.23 ve Tablo 5.24 de görüldüğü gibi en yüksek çekme sıyırma değerleri (1600 -1700 N) yüksek kaynak akım şiddetlerinde (12,5kA, 14 kA) ve düşük kaynak zamanlarında (15 per) elde edilmiştir



Şekil 5.29. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.30. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek çapının çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

Tablo 5.23. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde kaynak çekirdek çaplarından deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyrma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Çekirdek çapı [µm]	Max. Çekme-Sıyrma kuvveti [N]
8,2	7600	1500
9,5	9500	1580
11,1	9500	1500
12,5	8600	1620
14	8000	1680

Tablo 5.24. DP600-DP 800 bağlantılarda çekme-makaslama numunelerinde kaynak çekirdek çaplarından deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Çekirdek çapı [µm]	Max. Çekme-Sıyırma kuvveti [N]
5	6800	1220
10	7250	1450
15	10200	1620
20	9200	1500
25	8200	1500
30	8800	1600

#### 5.4.7. DP600-DP800 bağlantıların çekirdek yüksekliğinin kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.31. ve 5.32.'deki diyagramlar incelendiğinde kaynak zamanına ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak çekirdeğinin yüksekliğinin artması, elde edilen bağlantının çekme-sıyırma kuvvetinde azalmalara sebebiyet verdiği ve kaynak çekirdek yüksekliğinin azalması bağlantının çekme – sıyırma kuvvetinde artışlara sebep olduğu görülmektedir. Bu çekme sıyırma kuvvetindeki artış belli bir kaynak çekirdek yüksekliğinden sonra düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni çekme-makaslama dayanımında olduğu gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasına rağmen çekirdek yüksekliğinin azalmasıdır. Kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasıyla birlikte artan ısı girdisi ile malzemede erimiş metal miktarının artması, uygulanan elektrot kuvvetinin etkisi ile kaynak çekirdeği yassılaşmakta belli bir değerden sonra ise kaynak elektrotların malzemeye fazla dalması sonucunda malzeme delinmektedir. Bu delinmelerin oluşumunu önlemek için elektrot kuvvetinde kaynak zamanı ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak azaltılması gerekmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38].

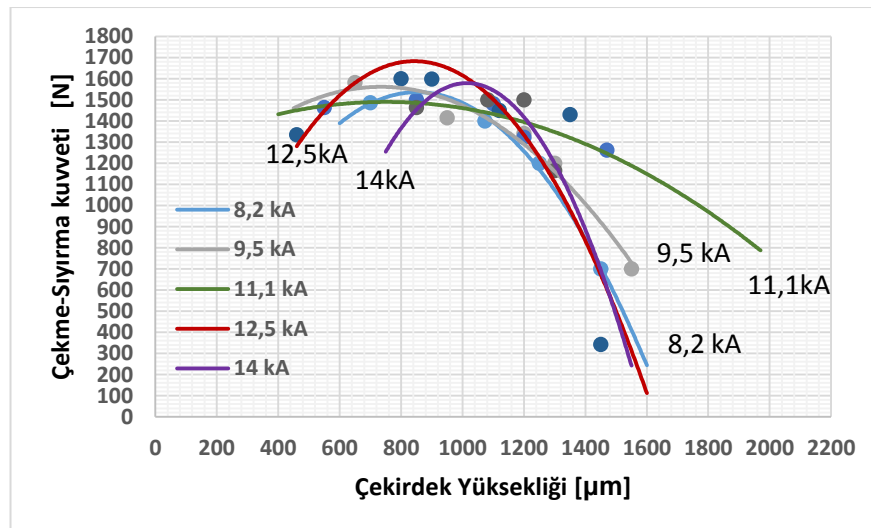
Tablo 5.25. DP600-DP 800 bağlantıları kaynak çekirdek yüksekliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyrma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Çekirdek yüksekliği [ $\mu\text{m}$ ]	Max. Çekme-sıyrma kuvveti [N]
8,2	850	1550
9,6	650	1580
11,1	650	1500
12,5	820	1690
14	1100	1500

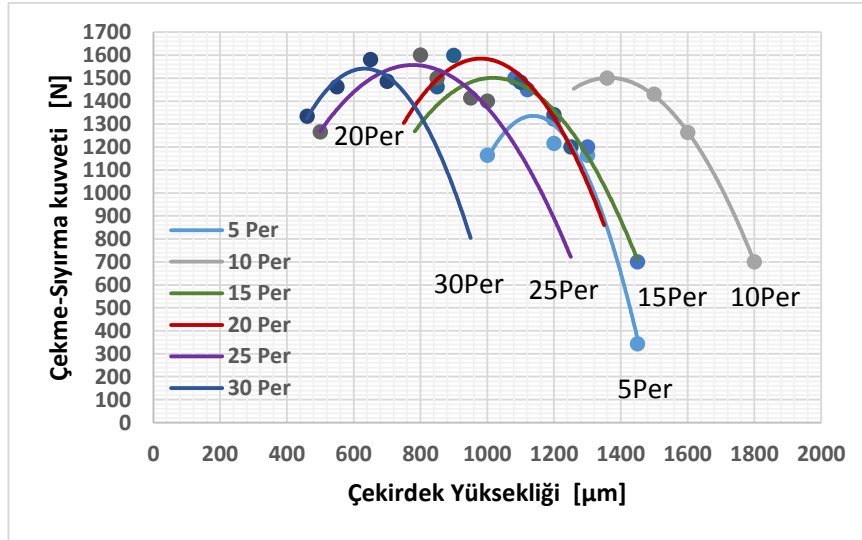
Tablo 5.25 ve Tablo 5.26 de görüldüğü gibi en yüksek çekme sıyrma değerleri (1600-1700 N) 12,5kA kaynak akım şiddetlerinde ve 20 per kaynak zamanlarında elde edilmiştir

Tablo 5.26. DP600-DP 800 bağlantıları kaynak çekirdek yüksekliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyrma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Çekirdek yüksekliği [ $\mu\text{m}$ ]	Max. Çekme-sıyrma kuvveti [N]
5	1600	1350
10	1250	1500
15	1000	1500
20	950	1600
25	750	1550
30	650	1550



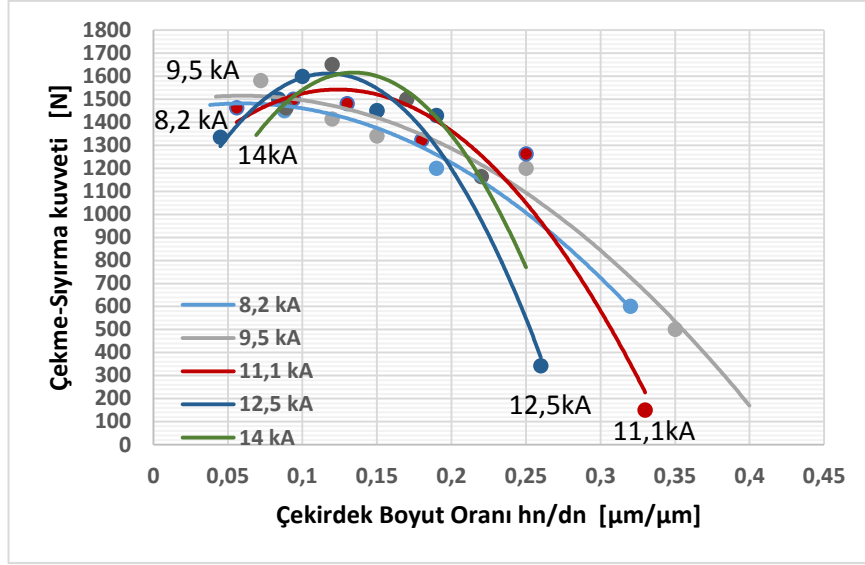
Şekil 5.31. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



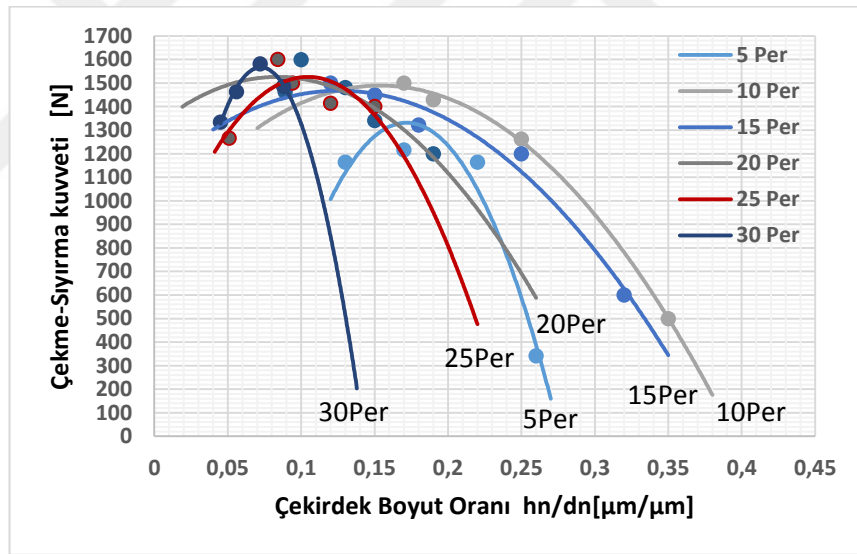
Şekil 5.32. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek yüksekliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

#### 5.4.8. DP600-DP800 bağlantıların çekirdek boyut oranının (çekirdek yüksekliği/çekirdek çapı) kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5,33. ve 5.34.'de ki diyagramlarda görüldüğü gibi çekirdek boyut oranı (çekirdek yüksekliği/çekirdek çapı) arttıkça, elde edilen bağlantının çekme-sıyırma kuvveti de azalmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kaynak çekirdek çapınının ve kaynak çekirdek yüksekliğinin etkisinde elde edilen sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Çekme-makaslama kuvveti diyagramlarında olduğu gibi kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının artmasına bağlı olarak kaynak çekirdeğine iletilen ısının artması sebebiyle kaynak elektrotlarının dalma derinlikleri artıyor ve buna bağlı olarak çekirdek yüksekliğinde azalma meydana gelirken, çekirdek çapında artış gözlemlenmekte, sonuç olarak kaynak çekirdek boyut oranı azalmaktadır. Çekirdek boyut oranının yüksek olduğu düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı değerlerinde ise ısı girdisinin düşük olmasından dolayı çekme-sıyırma kuvveti de düşük olmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [37,38,43].



Şekil 5.33. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.34. DP600-DP800 bağlantılarda çekirdek boyut oranının çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)



Tablo 5.27. DP600-DP 800 bağlantıları kaynak çekirdek Boyut oranında deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Çekirdek boyut oranı [hn/dn]	Max. Çekme-sıyırma kuvveti [N]
8,2	0,07	1490
9,5	0,07	1510
11,1	0,125	1550
12,5	0,12	1600
14	0,13	1620

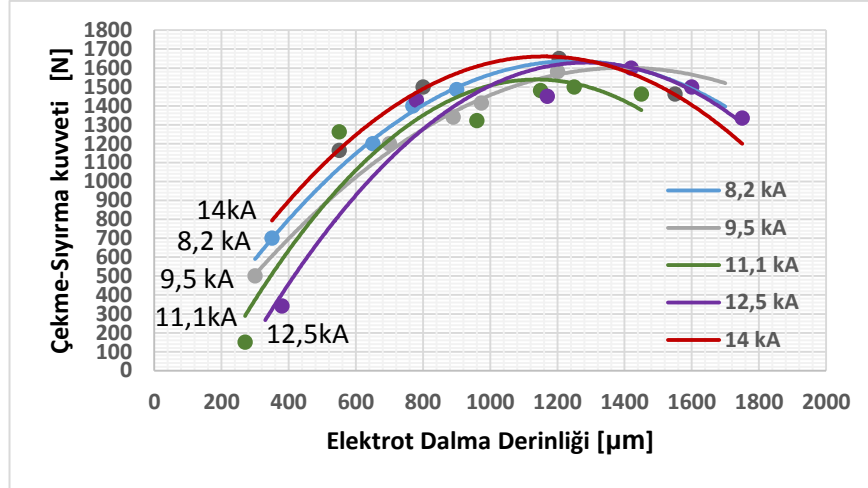
Tablo 5.28. DP600-DP 800 bağlantıları kaynak çekirdek Boyut oranında deney sonunda elde edilen max. Çekme-makaslama kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Çekirdek boyut oranı [hn/dn]	Max. Çekme-sıyırma kuvveti [N]
5	0,17	1320
10	0,15	1500
15	0,125	1480
20	0,09	1550
25	0,11	1550
30	0,07	1580

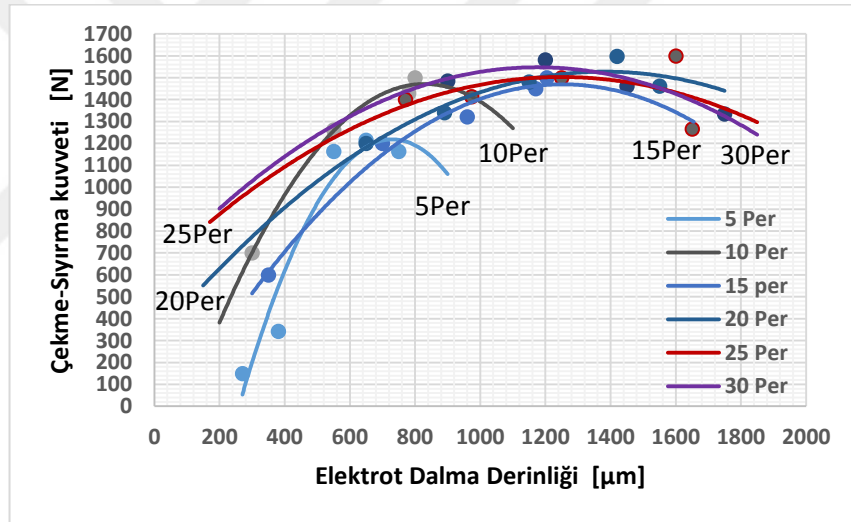
Tablo 5.27 ve Tablo 5.28 de görüldüğü gibi en yüksek çekme sıyırma değerleri (1550-1650N) yüksek kaynak akım şiddetlerinde (11kA, 14 kA) ve düşük kaynak zamanlarında (20 per , 30 per ) elde edilmiştir

#### 5.4.9. DP600-DP800 bağlantıların dalma derinliklerinin kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına etkisi

Şekil 5.35 ve 5.36'deki diyagramlar incelendiğinde kaynak zamanına ve kaynak akım şiddetine bağlı olarak kaynak elektrotlarının malzemeye dalma derinlikleri giren ısı miktarına ve kaynak elektrot kuvvetine bağlı olarak arttıkça, belli bir kaynak elektrot dalma değerine kadar bağlantının çekme-sıyırma kuvvetleri de artmaktadır. Bu kaynak elektrodu dalma derinliği değerinden sonra çekme-makaslama kuvvet diyagramında olduğu gibi malzeme ara kesitlerinde meydana gelen fişkirmalar nedeniyle çekme-sıyırma kuvvetlerindedeki düşmeler meydana gelmektedir.



Şekil 5.35. DP600-DP800 bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.36. DP600-DP800 bağlantılarda dalma derinliğinin çekme-sıyırma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

Tablo 5.29. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma derinliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Elektrot dalma derinliği [μm]	Max. Çekme-Sıyırma kuvveti [N]
8,2	500	1200
9,6	800	1250
11,1	850	1300
12,5	950	1450
14	1000	1450

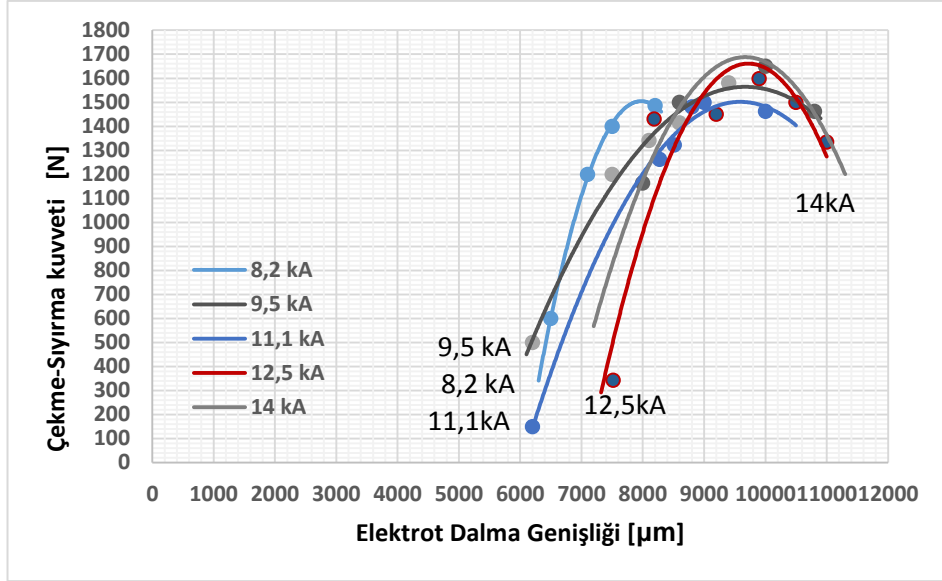
Tablo 5.30. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma derinliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyırma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Elektrot dalma derinliği [μm]	Max. Çekme-Sıyırma kuvveti [N]
5	1100	1550
10	1400	1550
15	1400	1450
20	1200	1300
25	850	1200
30	1000	1200

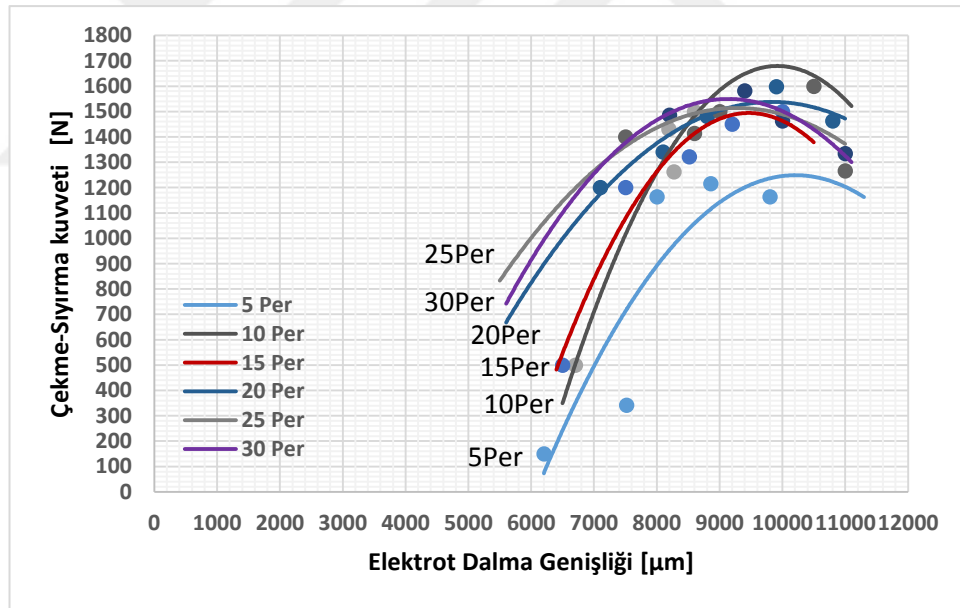
Tablo 5.29 ve Tablo 5.30 de görüldüğü gibi en yüksek çekme sıyırma değerleri (1450N-1550N) yüksek kaynak akım şiddetlerinde (12,5kA, 14 kA) ve düşük kaynak zamanlarında (10 per , 15 per ) elde edilmiştir

#### **5.4.10. DP600-DP800 bağlantıların elektrot dalma genişliklerinin kaynak ayar parametrelerine bağlı olarak çekme-sıyırma dayanımına etkisi**

Şekil 5.37 ve 5.38’da ki diyagramlarda görüldüğü gibi elektrot dalma genişliği arttıkça, bağlantının çekme-sıyırma kuvveti de artmaktadır. Elektrot dalma genişliği kullanılan elektrot çapı ile sınırlıdır ve elektrot dalma derinliğine bağlı olarak artar. Belli bir elektrot dalma genişliğinden sonra kaynak çekirdek bölgesine giren yüksek ısı girişi nedeniyle kaynak çekirdek çapının artması, çekirdek yüksekliğinin azalması, kaynak çekirdeğinin yassılaşması , elektrot kuvvetine bağlı olarak elektrot dalma derinliğinin artması sonucunda ve malzeme arakesitinde meydana gelen erimeye bağlı olarak kaynak çekirdeğinde fişkırmaların meydana gelmesi çekme- sıyırma kuvvetinin azalmasına sebebiyet vermektedir.



Şekil 5.37. DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti sabit -kaynak zamanı değişken)



Şekil 5.38. DP600-DP800 bağlantılarda Elektrot dalma genişliğinin çekme-sıyrma dayanımına etkisi (kaynak akım şiddeti değişken -kaynak zamanı sabit)

Tablo 5.31. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyrma kuvvetleri(kaynak akım şiddetine bağlı olarak)

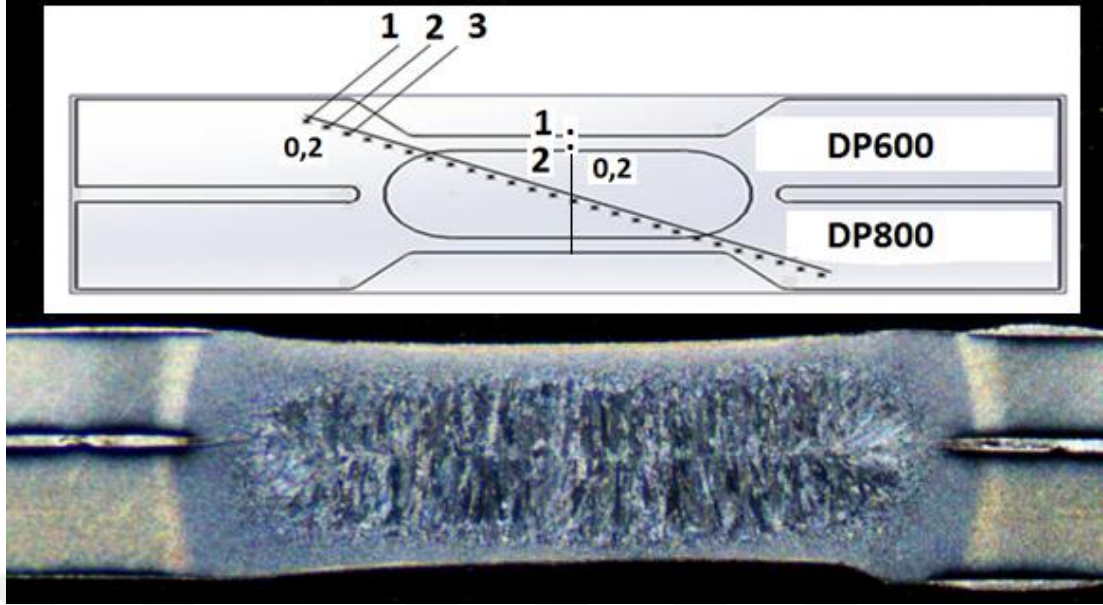
Kaynak Akım Şiddeti [kA]	Elektrot dalma genişliği [μm]	Max. Çekme-Sıyrma kuvveti [N]
8,2	8000	1500
9,5	9500	1580
11,1	9500	1500
12,5	9750	1650
14	9750	1690

Tablo 5.32.. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinde deney sonunda elde edilen max. Çekme-sıyrma kuvvetleri(kaynak zamanına bağlı olarak)

Kaynak Zamanı [Per]	Elektrot dalma genişliği [μm]	Max. Çekme-Sıyrma kuvveti [N]
5	10000	1250
10	9800	1680
15	9300	1500
20	9500	1550
25	9000	1550
30	9000	1500

### 5.5. Kaynak Değişkenlerinin Bağlantıların Sertlik Değerlerine Etkisi

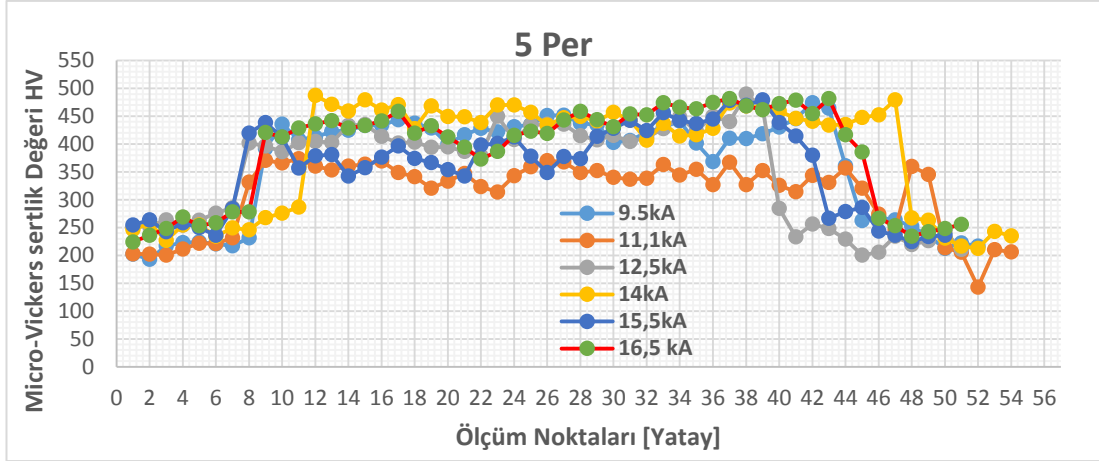
Nokta kaynağı yapılmış DP600-DP800 bağlantılarda Şekil 5.41’de şematize edildiği biçimde esas metalden, ITAB bölgesinden ve kaynak çekirdeğinden dikey ve çapraz doğrultularda 0,2 mm aralıklarla 200 gr yük uygulanarak mikro vickers sertlik değerleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri EN ISO 14271 standartına göre yapılmıştır [32].



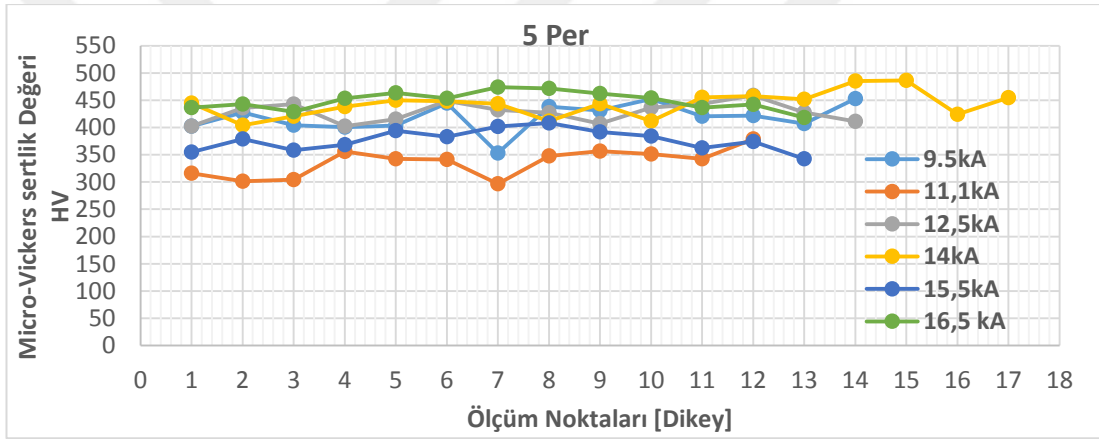
Şekil 5.39. DP600-DP800 Bağlantılarda Sertlik ölçüm doğrultuları

Kaynak çekirdeğinden esas metale doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir düşüş olmaktadır. Bağlantıların esas metal bölgesinde ki sertlik değerleri ortalama 250 HV iken kaynak çekirdeğine doğru gittikçe artmış ve kaynak bölgesinde ortalama 450 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak çekirdeğinin sertliği esas metalin sertliğinin 2 katıdır. Bunun nedeni kaynak bölgesinin çok kısa bir zaman içerisinde ısınıp soğumasına bağlı olarak oluşan martenzit yapısıdır [12,41,44,45].

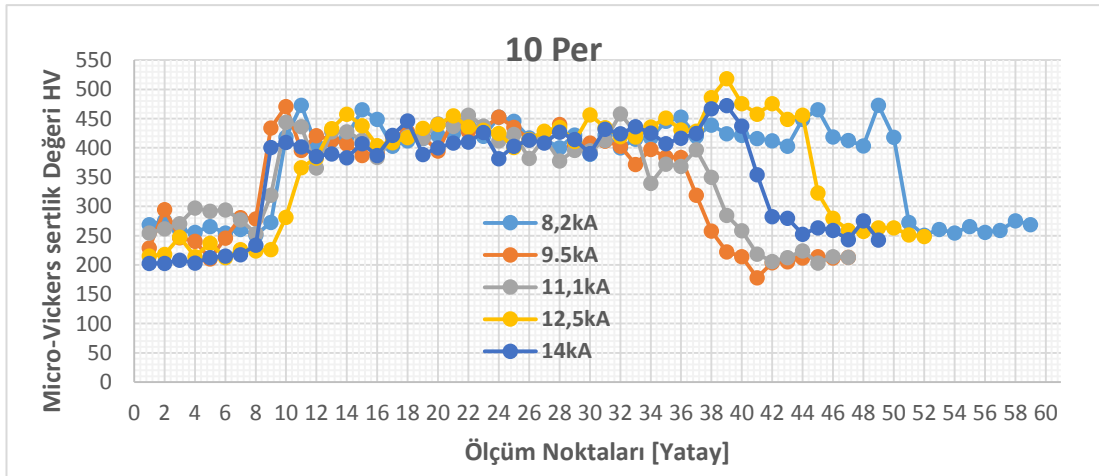
Şekil 5.40-Şekil 5.51'de 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 periyot kaynak zamanlarında değişik kaynak akım şiddetlerinde, Şekil 5.52-Şekil 5.65'de 8,2 -9,5 -11,1-12,5-14kA-15,5 kA-16,5 kA kaynak akım şiddetlerinde değişik kaynak zamanlarında elde edilen DP 600-DP800 çelik sac çiftlerinin bağlantılara ait sertlik grafikleri gösterilmiştir.



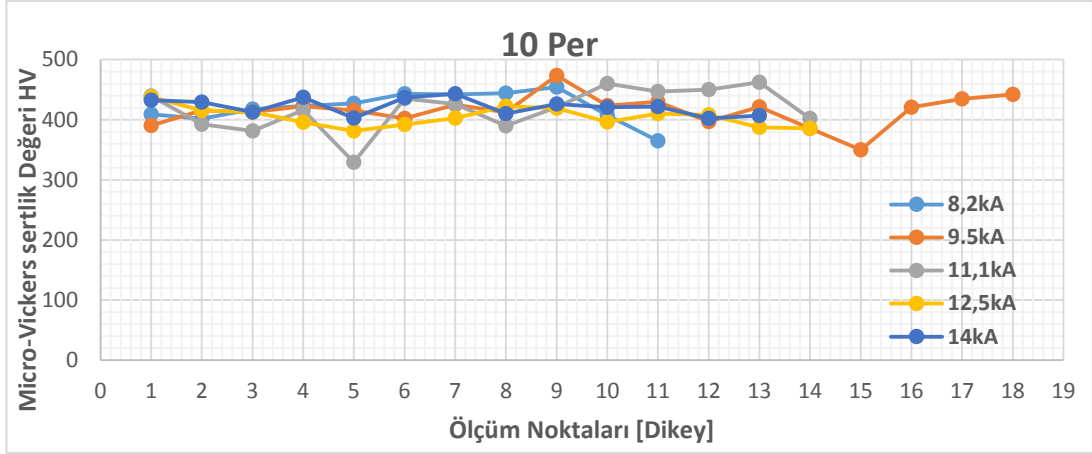
Şekil 5.40. DP600-DP800 bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay)



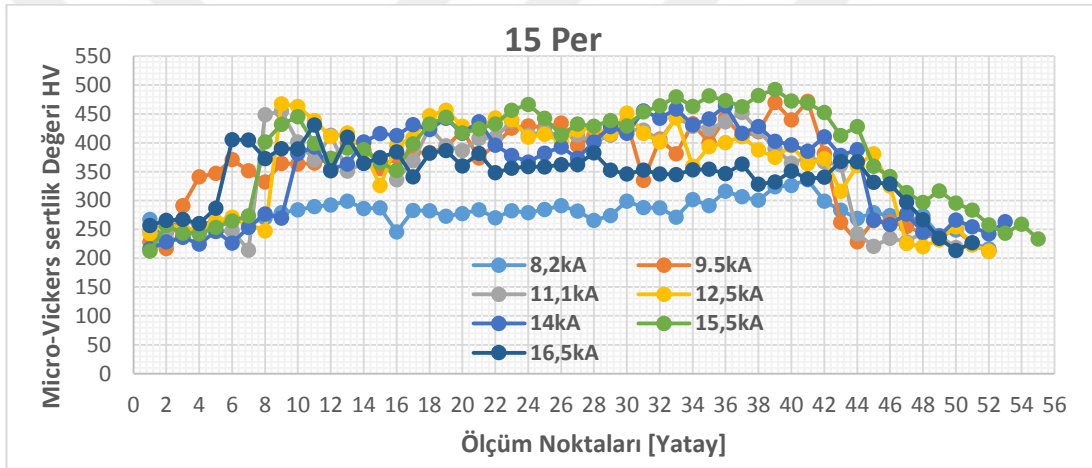
Şekil 5.41. DP600-DP800 bağlantıların 5 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey)



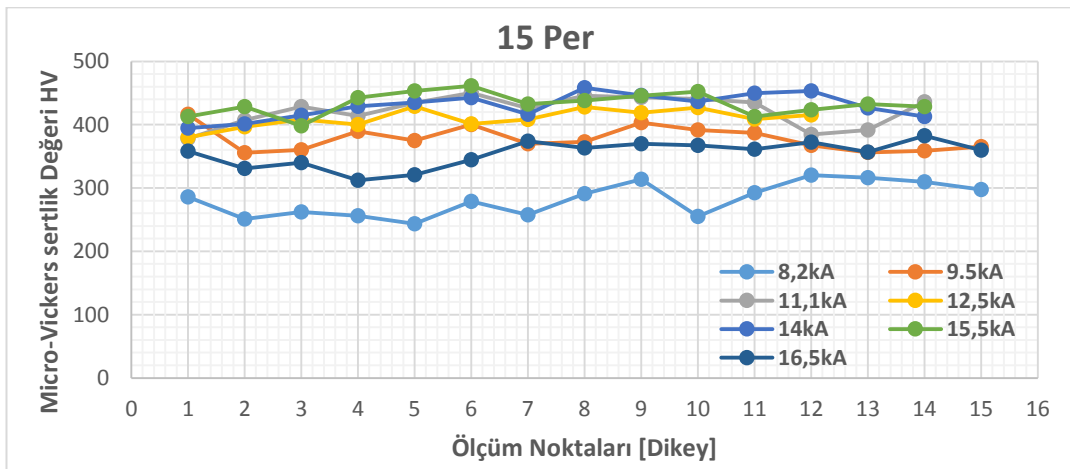
Şekil 5.42. DP600-DP800 bağlantıların 10 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay)



Şekil 5.43. DP600-DP800 bağlantıların 10periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey)

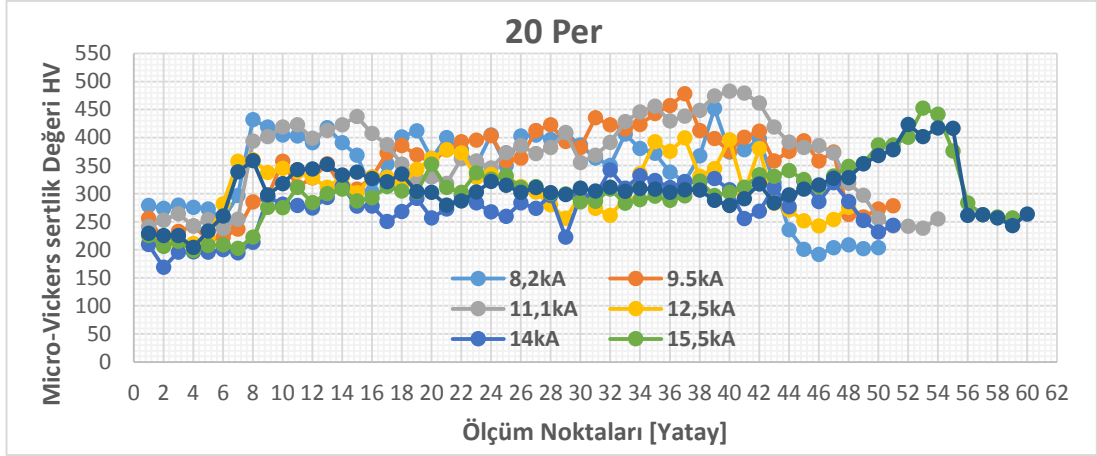


Şekil 5.44. DP600-DP800 bağlantıların 15 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay)

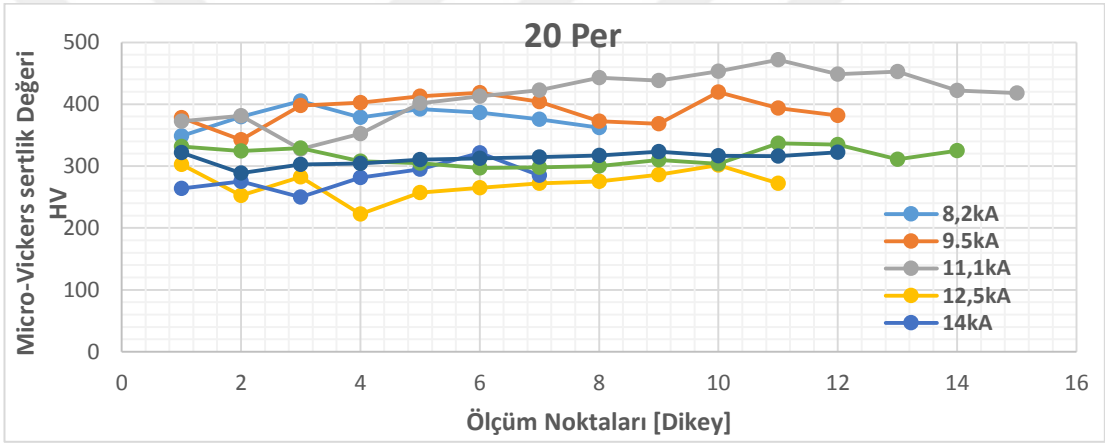


Şekil 5.45. DP600-DP800 bağlantıların 15periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (Dikey)

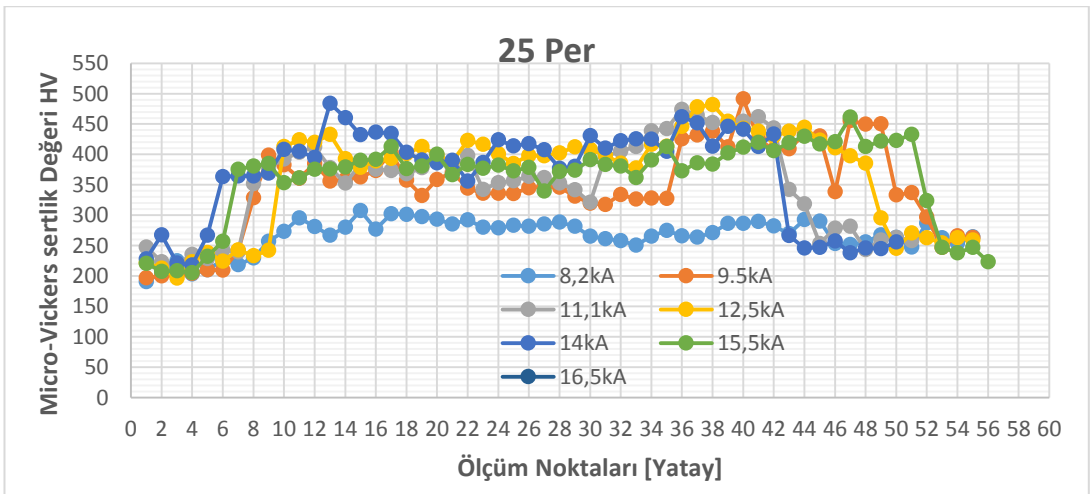




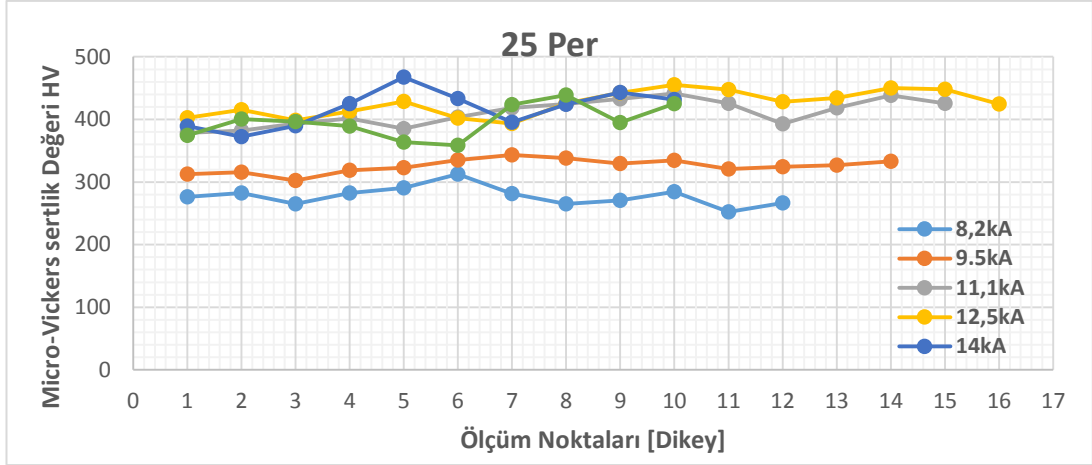
Şekil 5.46. DP600-DP800 bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay)



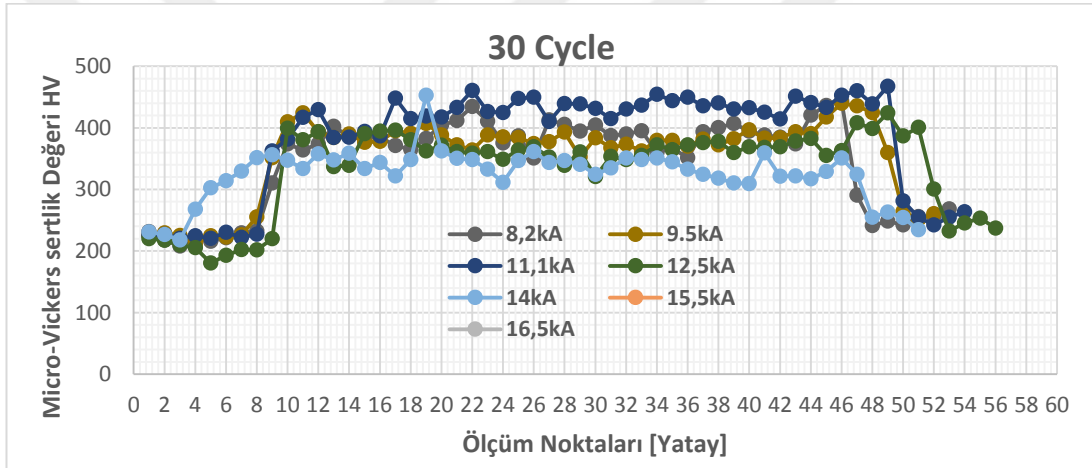
Şekil 5.47. DP600-DP800 bağlantıların 20 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (dikey)



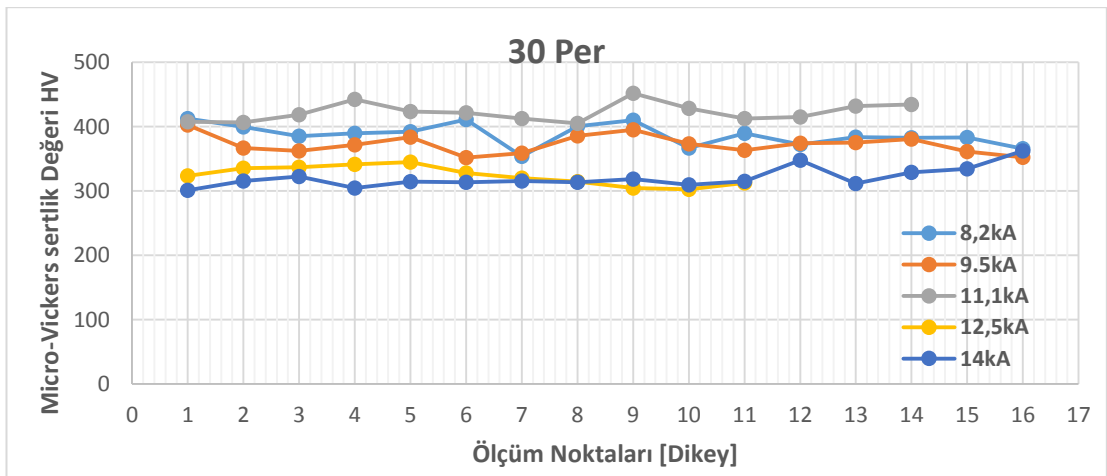
Şekil 5.48. DP600-DP800 bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay)



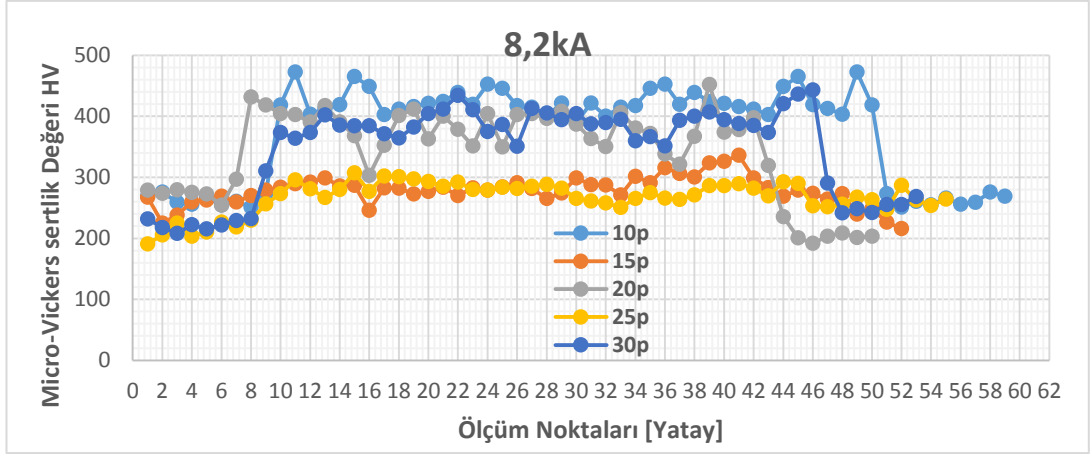
Şekil 5.49. DP600-DP800 bağlantıların 25 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (dikey)



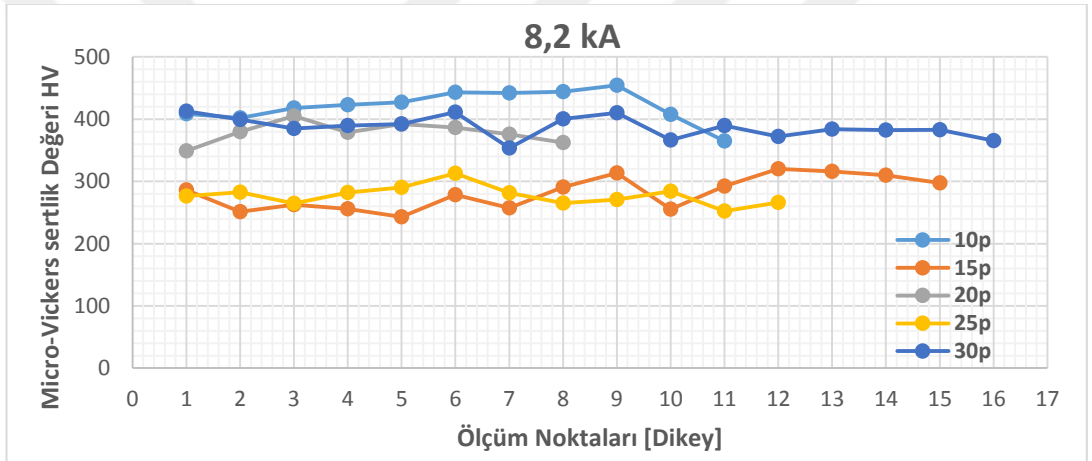
Şekil 5.50. DP600-DP800 bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (yatay)



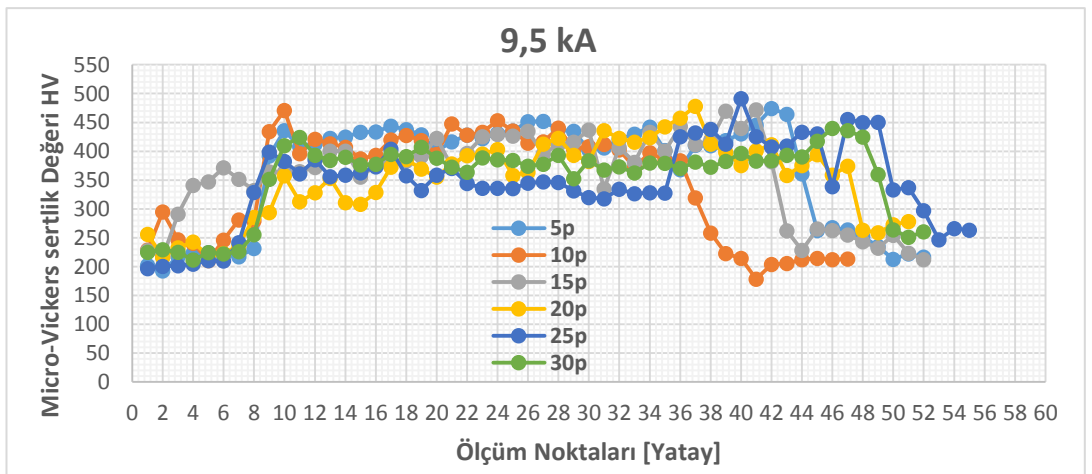
Şekil 5.51. DP600-DP800 bağlantıların 30 periyot kaynak zamanında kaynak akım şiddetinin sertliğe etkisi (dikey)



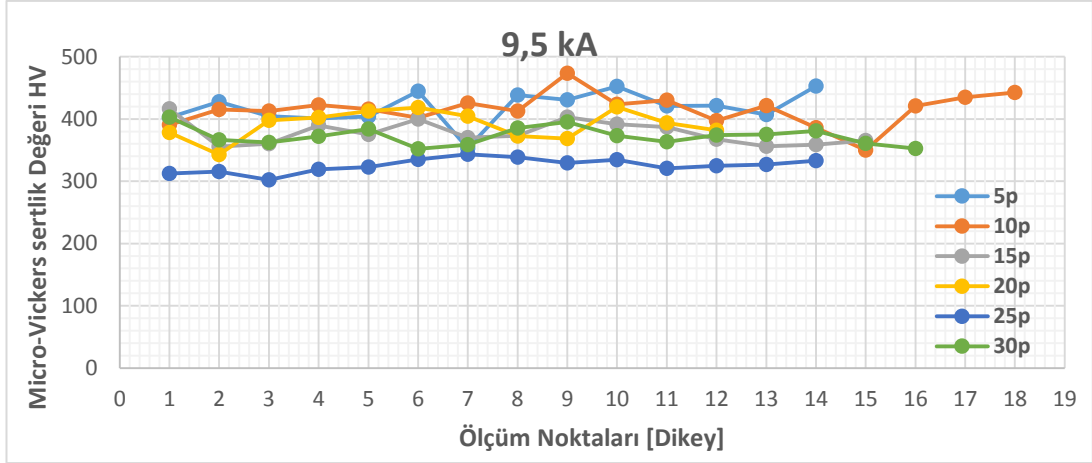
Şekil 5.52. DP600-DP800 bağlantıların 8,2 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay)



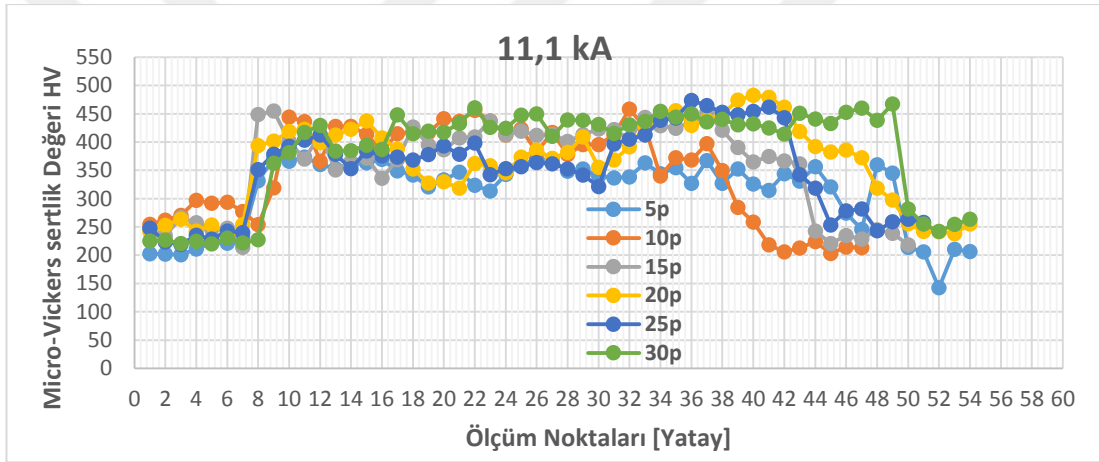
Şekil 5.53. DP600-DP800 bağlantıların 8,2 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey)



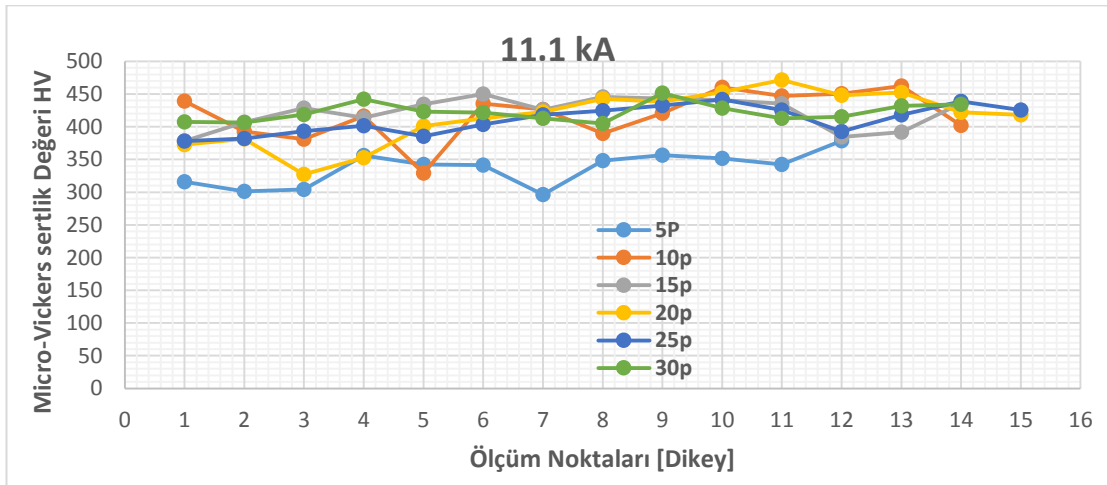
Şekil 5.54. DP600-DP800 bağlantıların 8,2 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay)



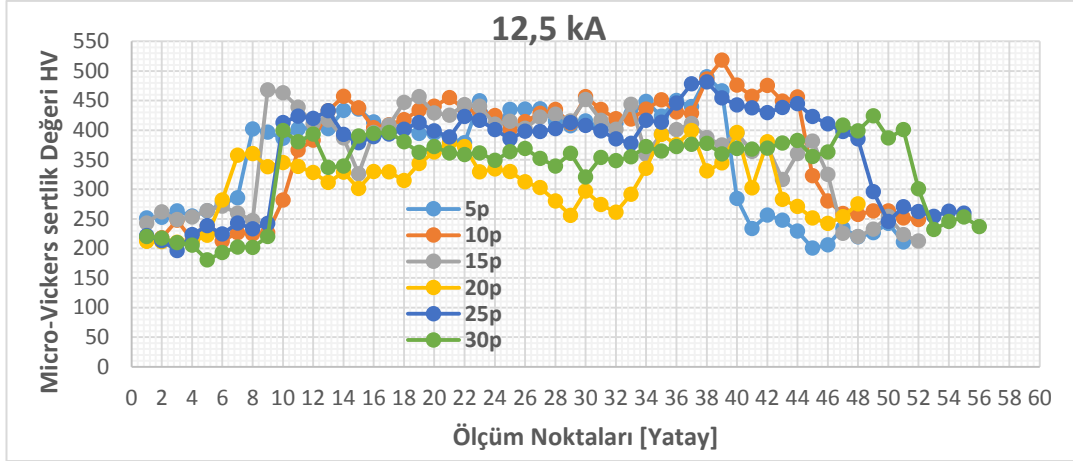
Şekil 5.55. DP600-DP800 bağlantılarının 9,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey)



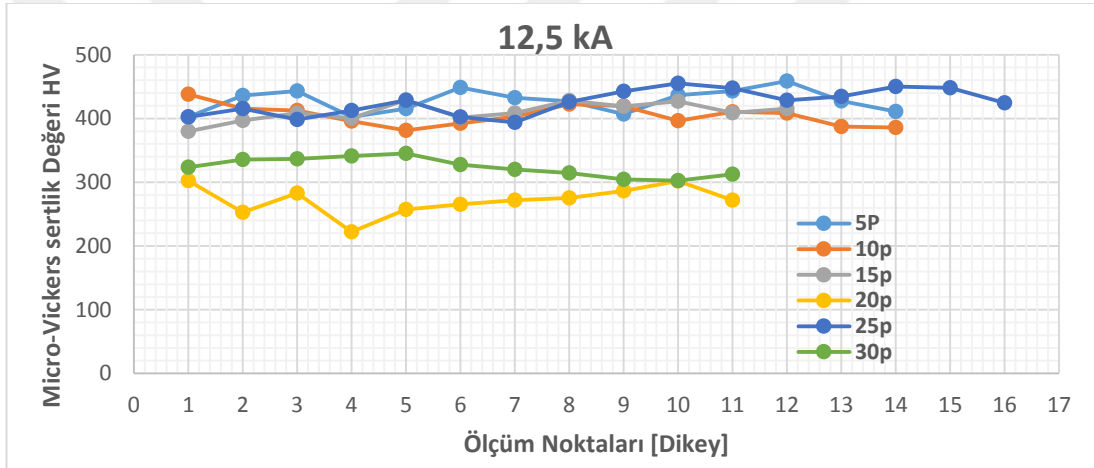
Şekil 5.56. DP600-DP800 bağlantılarının 11,1 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay)



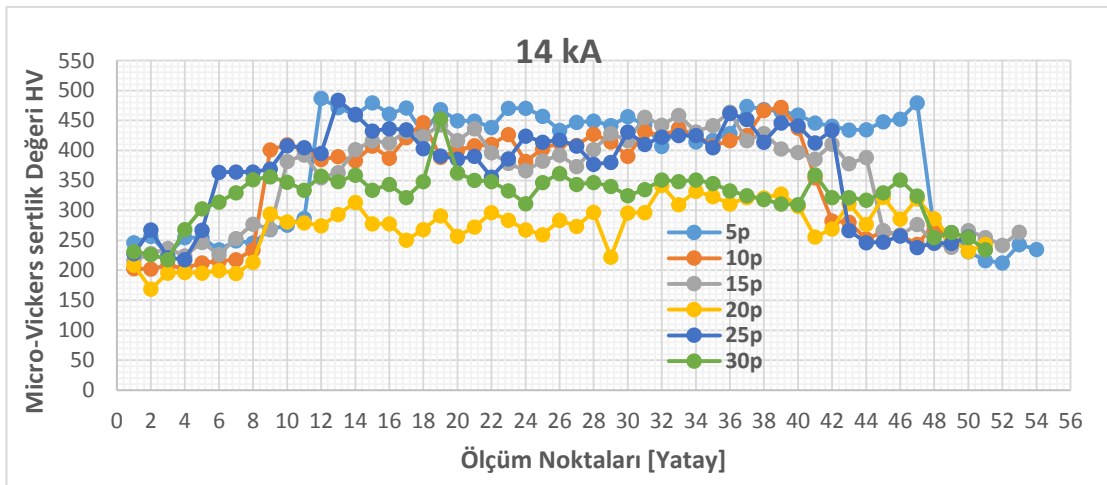
Şekil 5.57. DP600-DP800 bağlantılarının 11,1 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey)



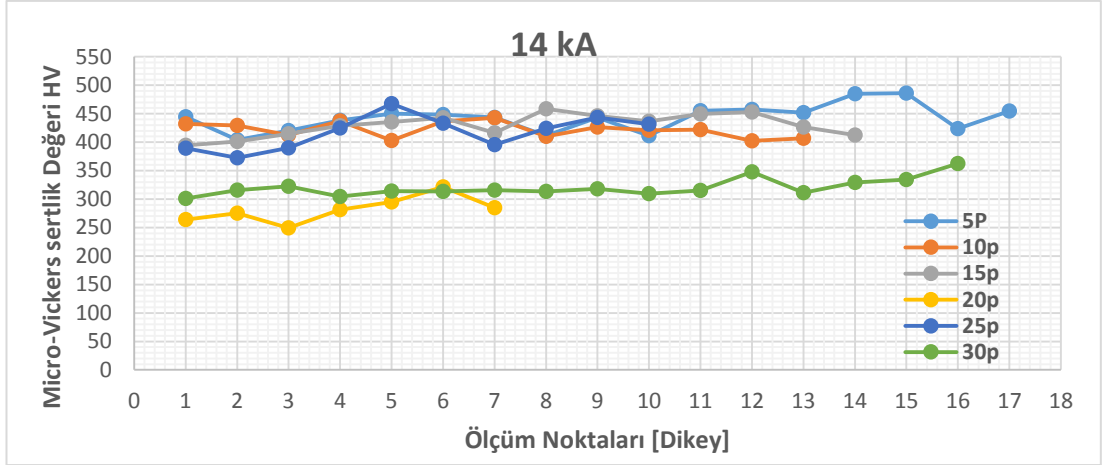
Şekil 5.58. DP600-DP800 bağlantıların 12,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay)



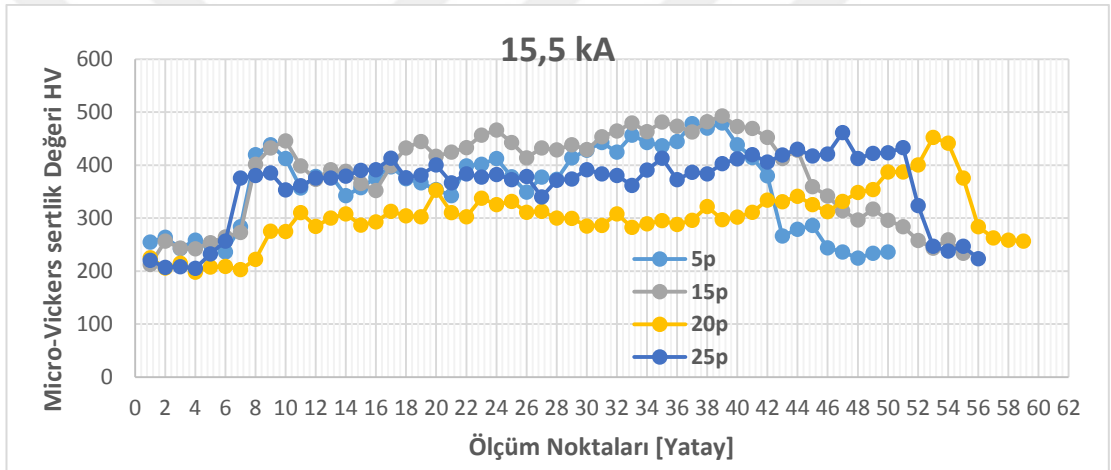
Şekil 5.59. DP600-DP800 bağlantıların 12,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey)



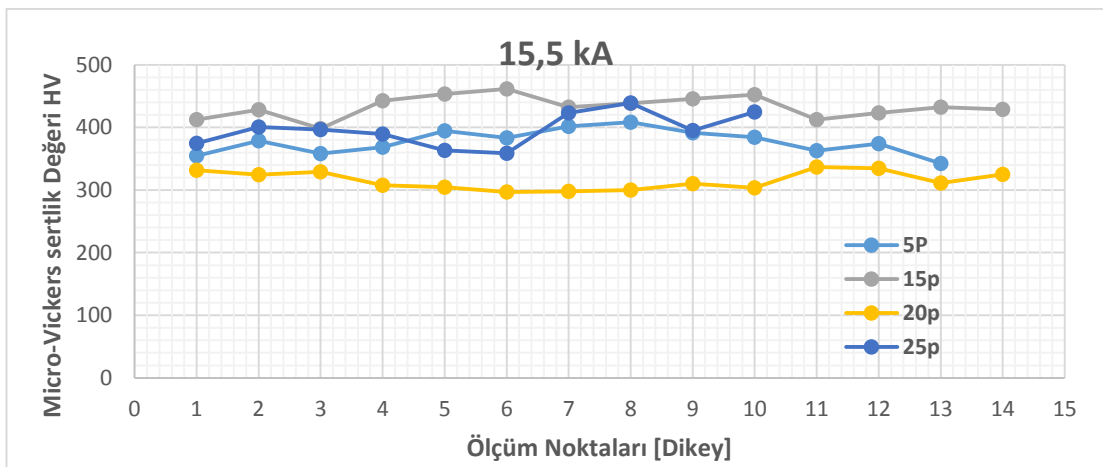
Şekil 5.60. DP600-DP800 bağlantıların 14 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay)



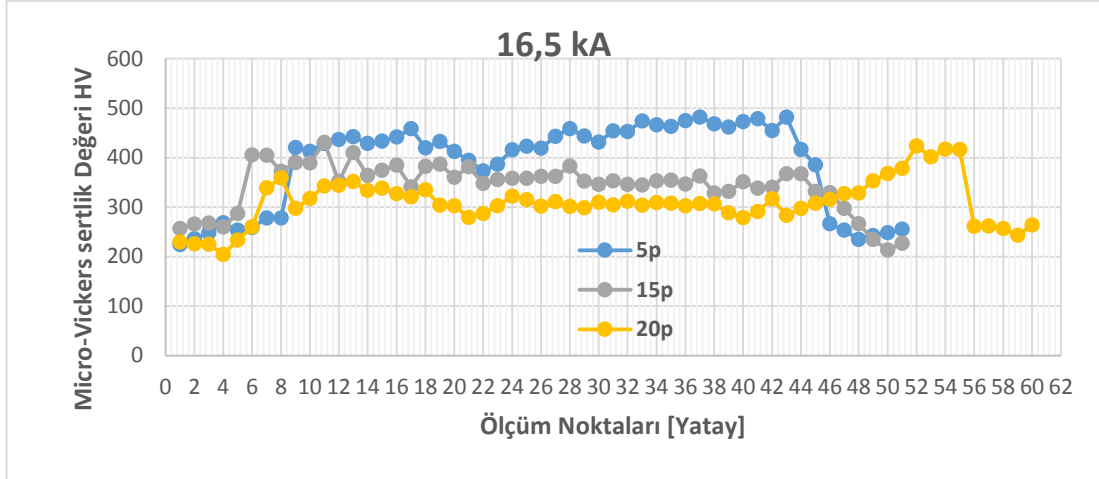
Şekil 5.61. DP600-DP800 bağlantıların 14 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey)



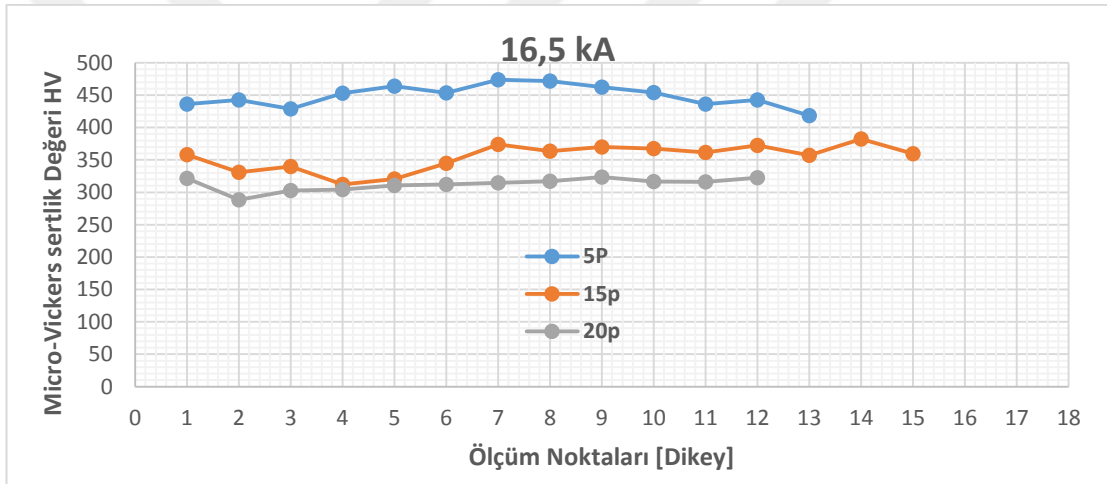
Şekil 5.62. DP600-DP800 bağlantıların 15,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay)



Şekil 5.63. DP600-DP800 bağlantıların 15,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey)



Şekil 5.64. DP600-DP800 bağlantıların 16,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (yatay)










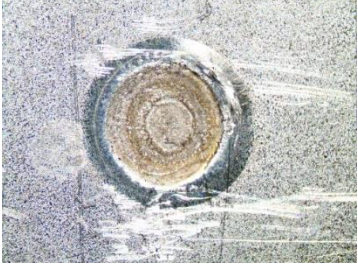

Şekil 5.65. DP600-DP800 bağlantıların 16,5 kA kaynak akım şiddetinde kaynak zamanının sertliğe etkisi (dikey)

## 5.6. DP600- DP800 elik saç çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynak bağlantılarında Bağlantıların Makroyapısına Kaynak Ayar Parametrelerinin Etkisi

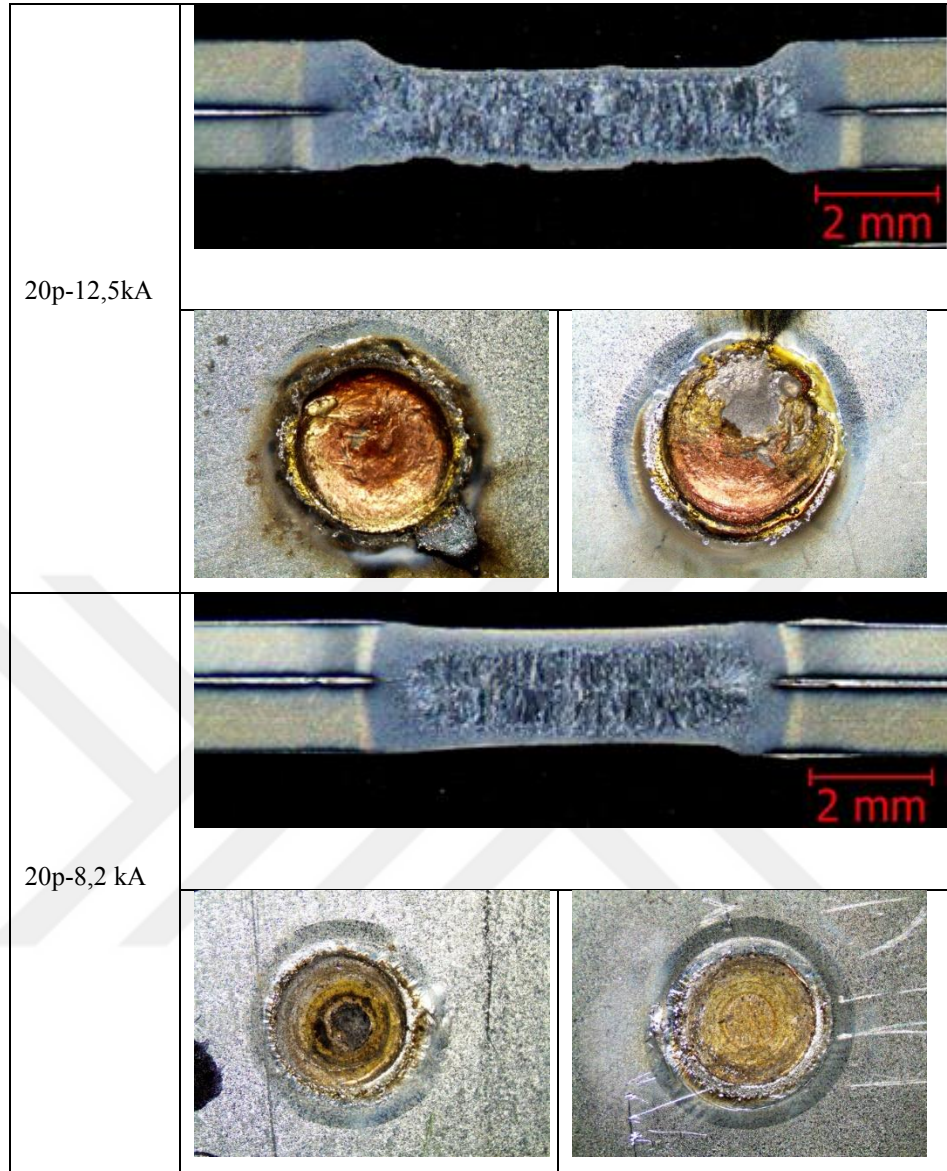
Tablo 5.33' teki Makro görüntüler incelendiğinde yüksek akım şiddetlerinde özellikle DP600 çelik saç kısmında sıçrıntılar, fişkırılmaların ve renklenmelerin DP800 e göre artışı gözlenmiştir. Kaynak elektrotlarında ana malzemeye daha fazla daldığı tespit edilmiştir.



Tablo 5.33. DP600-DP 800 bağlantıları elektrot dalma genişliğinin Makro görüntüleri

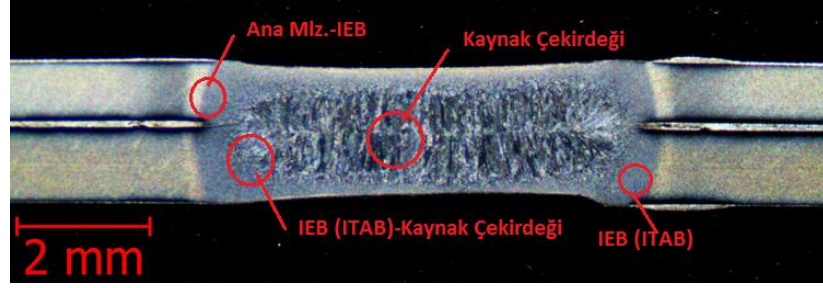
	DP600	DP800
10P-12,5 kA		
		
30p-8,2 kA		
		
10p-8,2kA		
		





### 5.7. DP600- DP800 Çelik saç çiftlerinin Elektrik Direnç Nokta Kaynak bağlantılarında Bağlantıların Mikroyapısına Kaynak Ayar Parametrelerinin Etkisi

Kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti ayar parametrelerinin oluşan DP600-DP800 bağlantılarının ana metal, ITAB ve kaynak çekirdeğinin 100x ve 200x büyütmelerde mikroyapı görüntüleri Tablo 5.34.'de görülmektedir. DP600-DP800 çelik çiftten oluşan bağlantılarda ITAB'a doğru yönelen tanelerin büyüdüğü gözlemlenmiştir. Literatürde elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir.

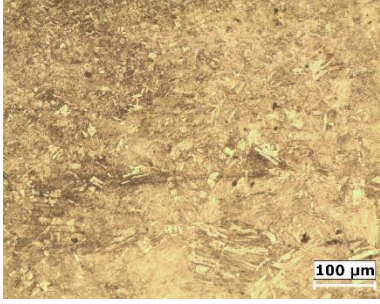
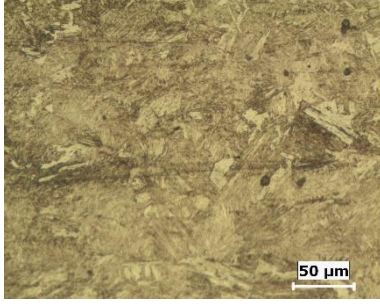
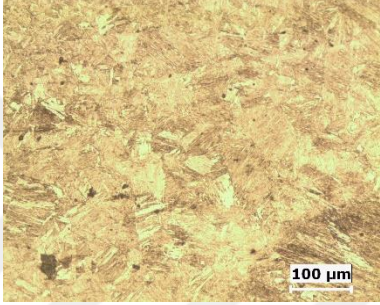
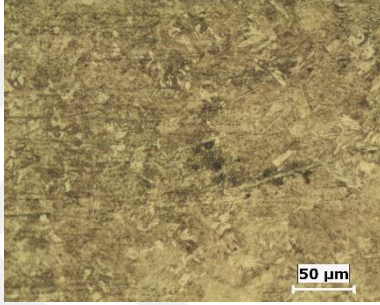
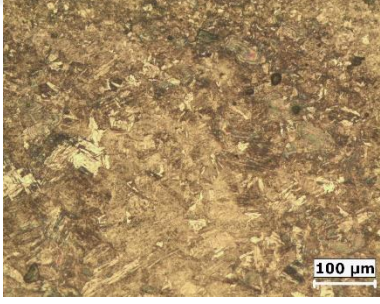
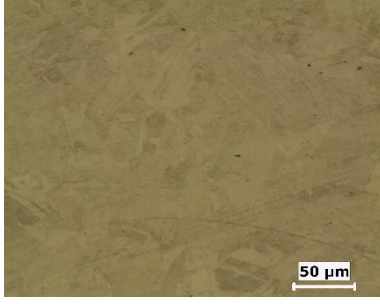
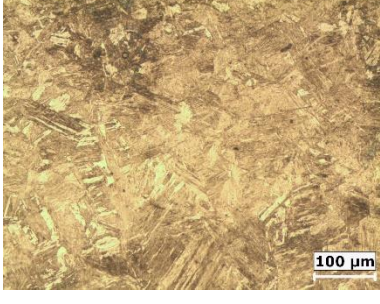
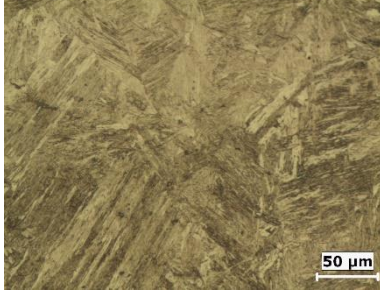


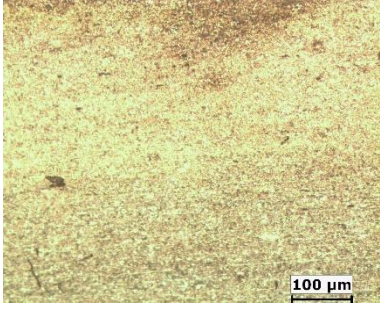
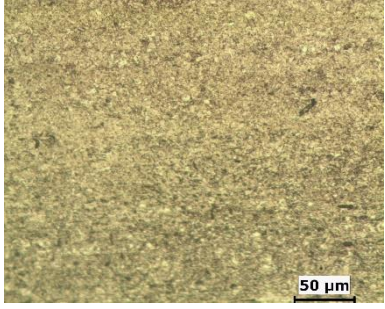
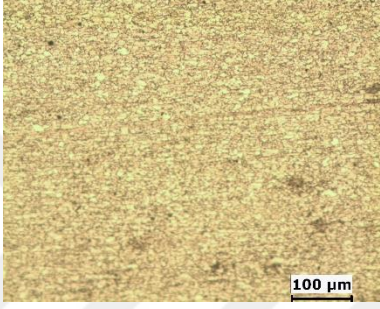
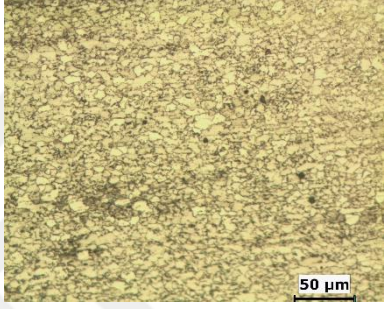
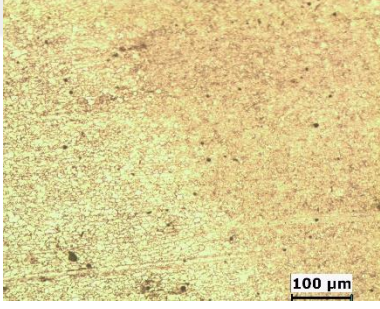
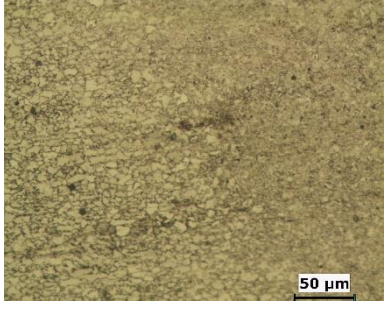
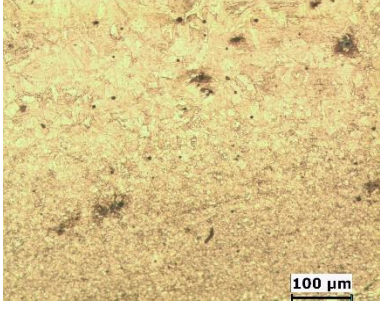
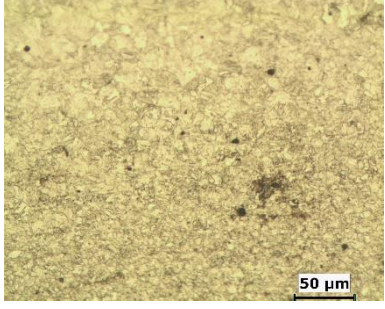
Şekil 5.66 . DP600-DP800 Bağlantılarda mikro yapı görüntülerin alındığı bölgeler.

Tablo 5.24. Farklı büyütme ve bölgelerden alınan mikroyapı görüntüleri.

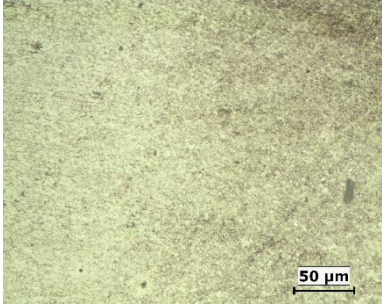
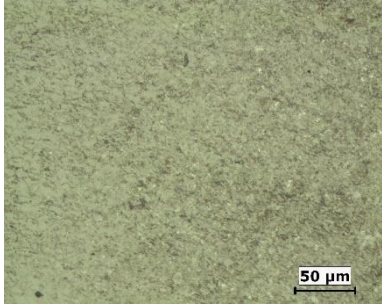
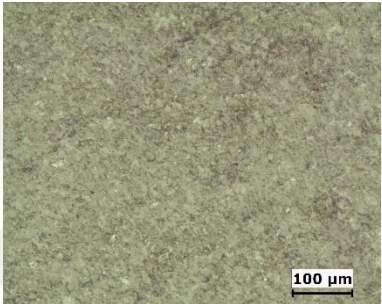
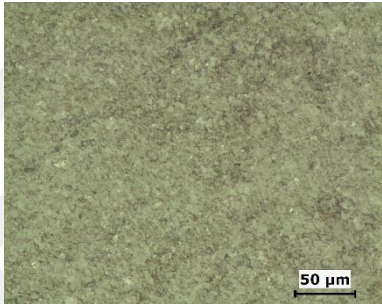
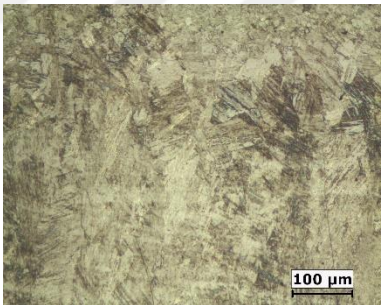
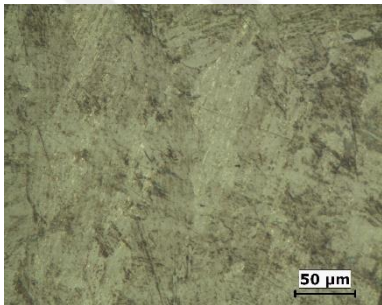
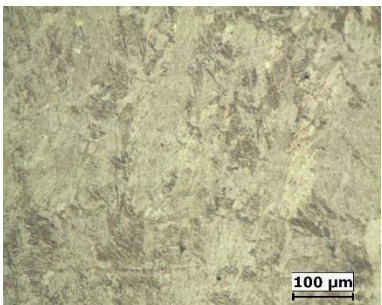
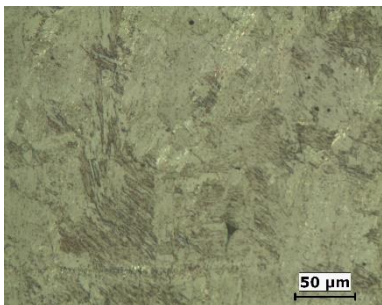
10P-12,5 kA	100X	200X
Ana Malz.- İEB(İTAB)		
İEB(İTAB)		
İEB(İTAB)- Çekirdek		
Çekirdek		

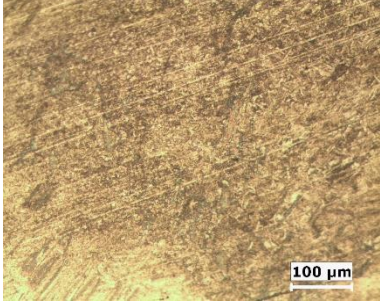
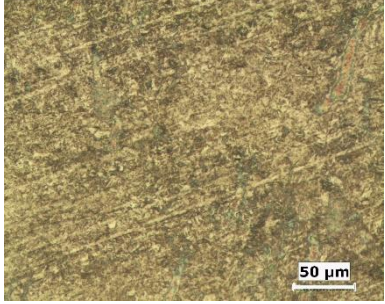
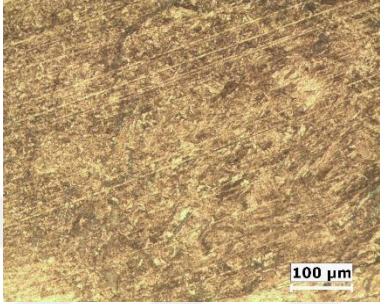
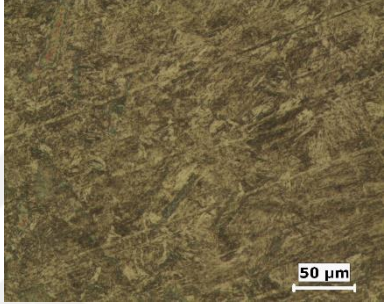
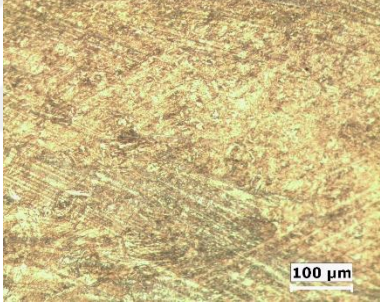
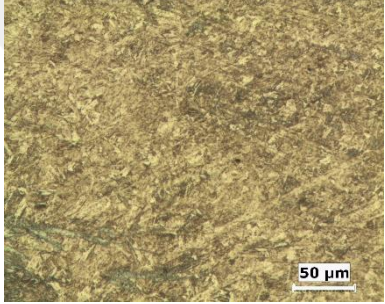
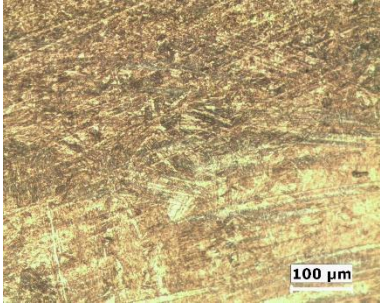
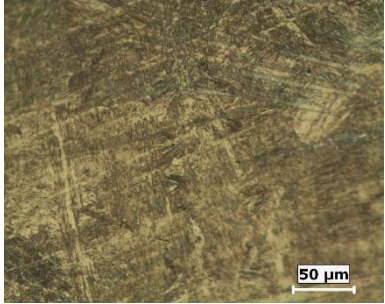


	30P-8,2 kA	100X	200X
Ana Malz.- İEB(İTAB)			
İEB(İTAB)			
İEB(İTAB)- Çekirdek			
Çekirdek			

10P-8,2 kA	100X	200X
Ana Malz.- İEB(İTAB)		
İEB(İTAB)		
İEB(İTAB)- Çekirdek		
Çekirdek		



	20P-12,5 kA	100X	200X
Ana Malz.- İEB(İTAB)			
İEB(İTAB)			
İEB(İTAB)- Çekirdek			
Çekirdek			

	20P-8,2 kA	100X	200X
Ana Malz.- İEB(İTAB)			
İEB(İTAB)			
İEB(İTAB)- Çekirdek			
Çekirdek			

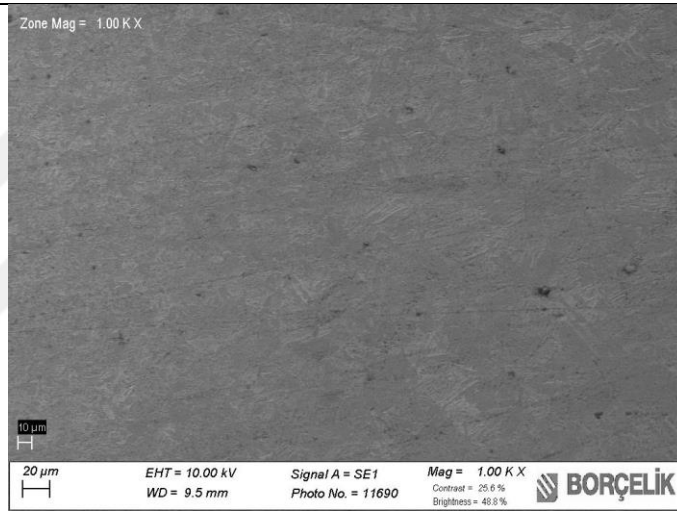
## 5.8. DP600-DP800 Çelik Çiftlerinden Elde Edilmiş Olan Kaynaklı Birleştirmeler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri ve EDS Analizleri

DP600-DP800 Çelik çiftlerinden elde edilmiş olan kaynaklı birleştirmelerdeki İEB'ye (İTAB'a) ve kaynak çekirdeğine ait SEM görüntüleri sırasıyla Tablo 5.35, Tablo 5.36'da görülmektedir.

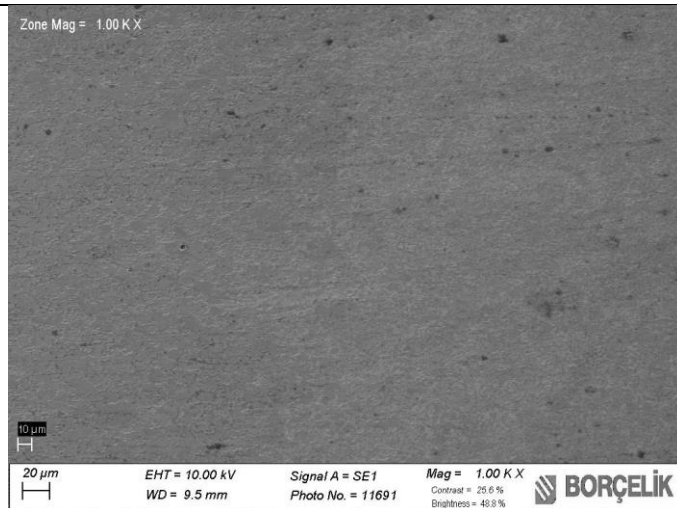
Tablo 5.35. DP600-DP800 Çelik çiftlerinden elde edilmiş olan kaynaklı birleştirmelerinin SEM görüntüsü.

10P-12,5kA

İEB(İTAB)

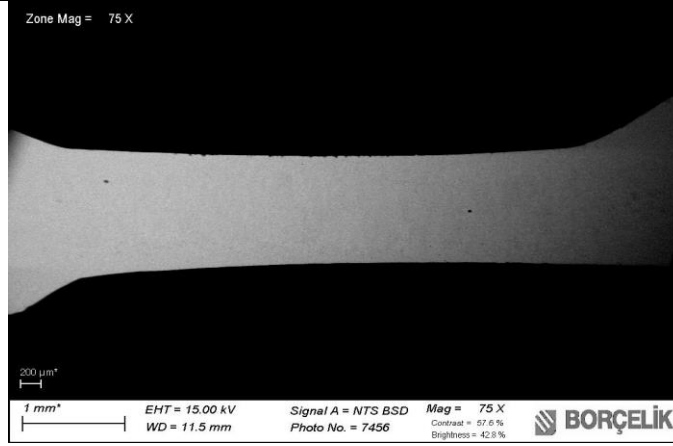


Çekirdek



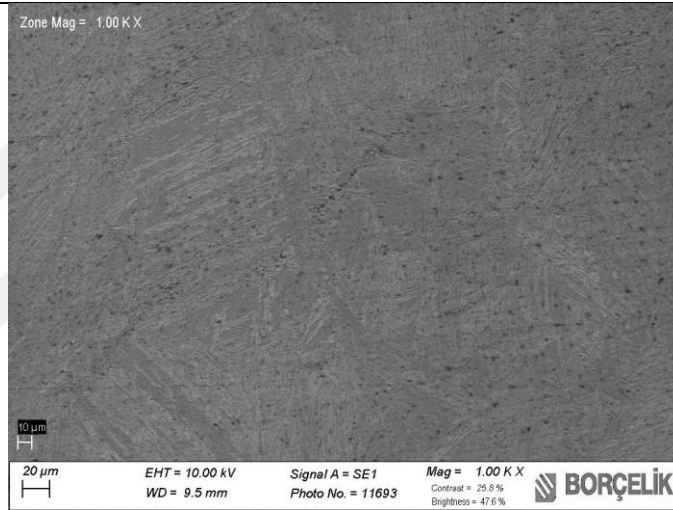


Ana Malz.-  
İEB(İTAB)-  
Çekirdek

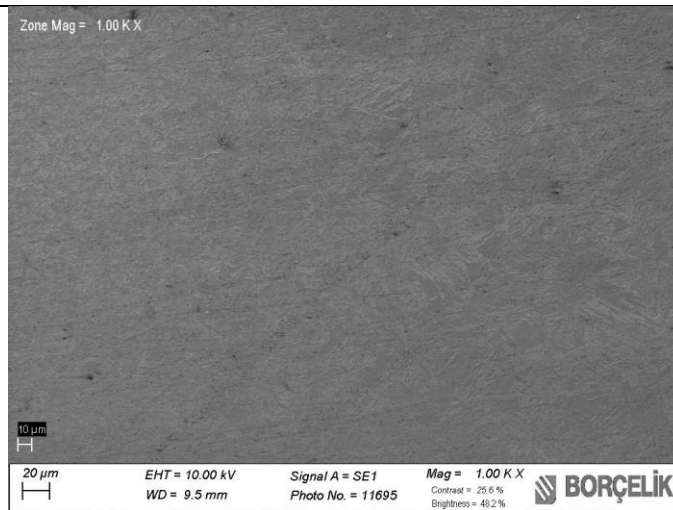


30P-8,2kA

İEB(İTAB)

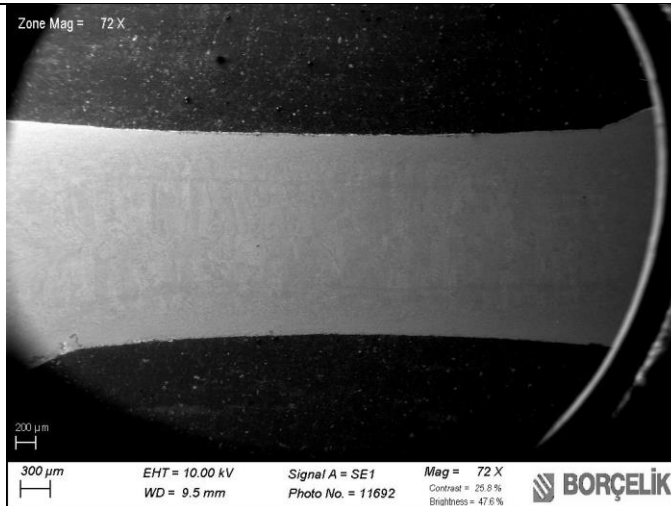


Çekirdek



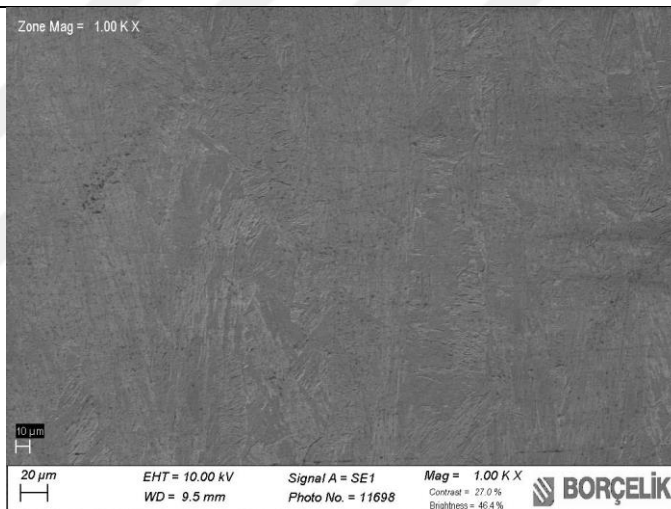


Ana Malz.-  
İEB(İTAB)-  
Çekirdek

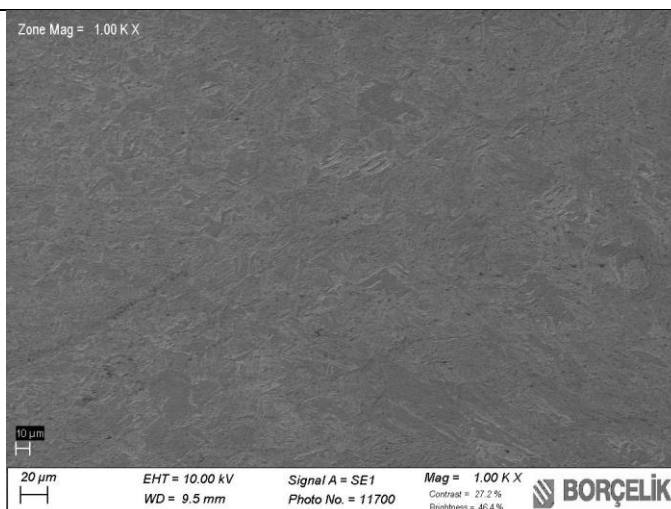


10P-8,2kA

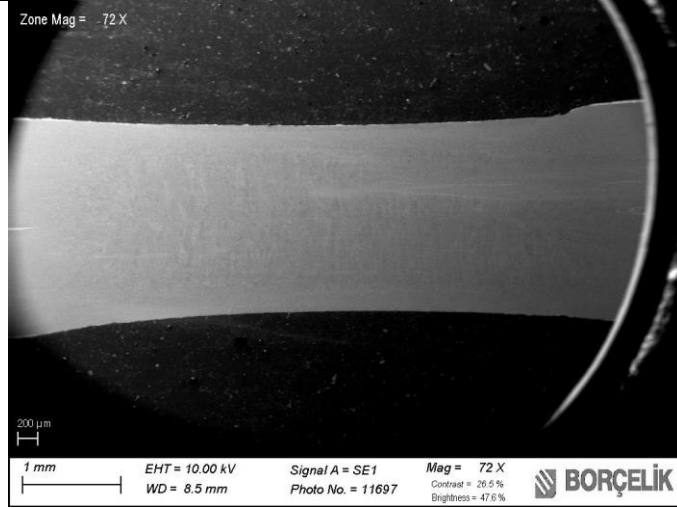
İEB(İTAB)



Çekirdek

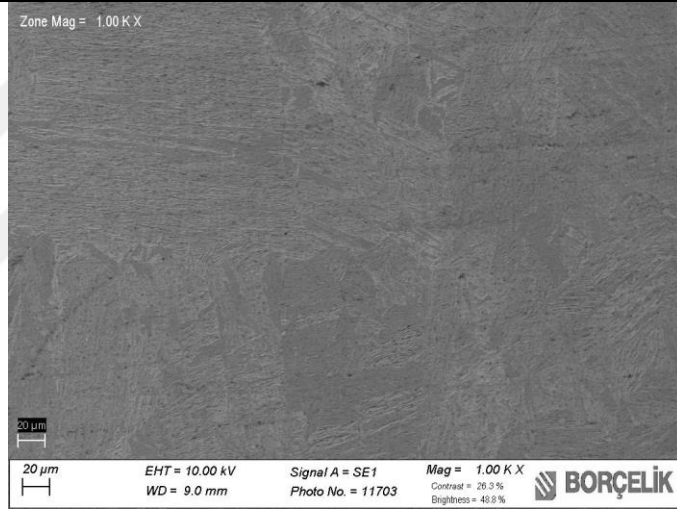


Ana Malz.-  
İEB(İTAB)-  
Çekirdek

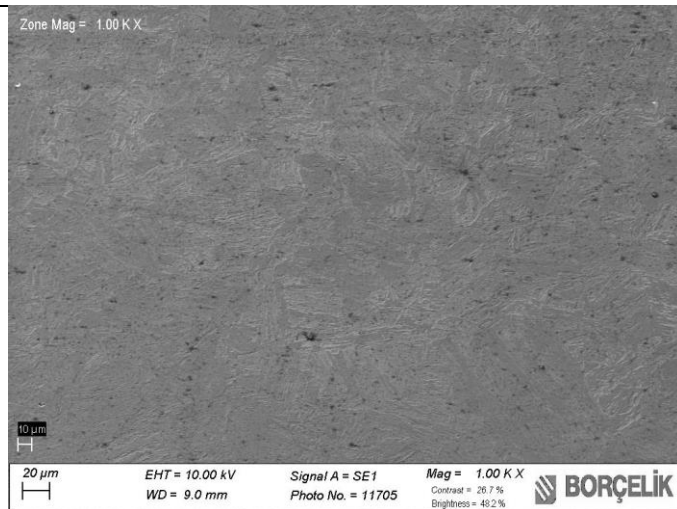


20P-12,5kA

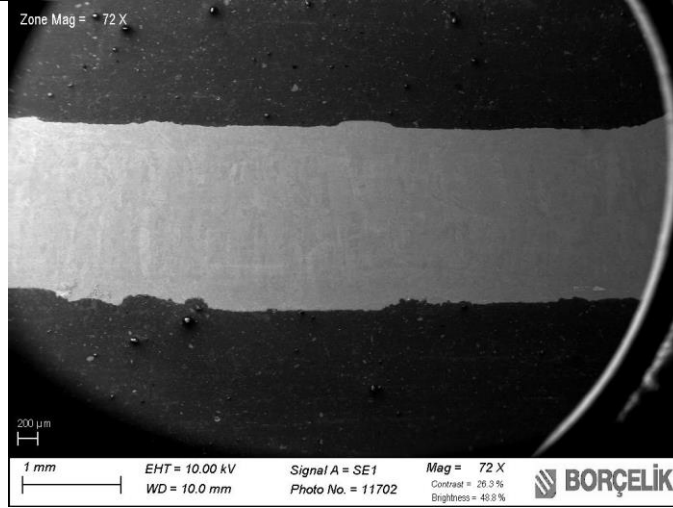
İEB(İTAB)



Çekirdek

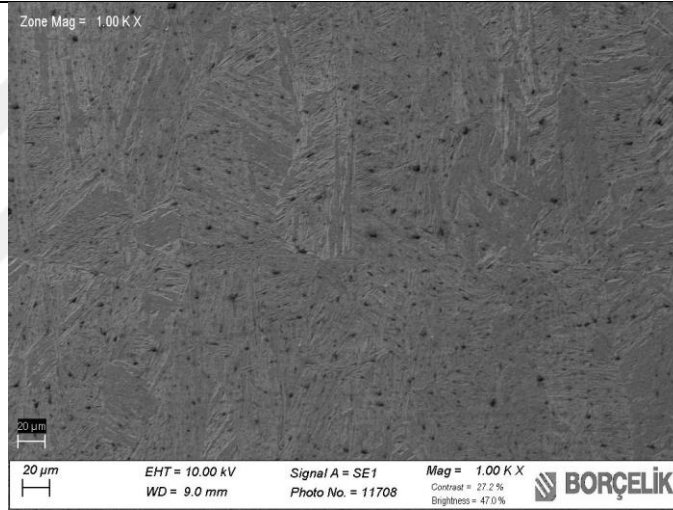


Ana Malz.-  
İEB(İTAB)-  
Çekirdek

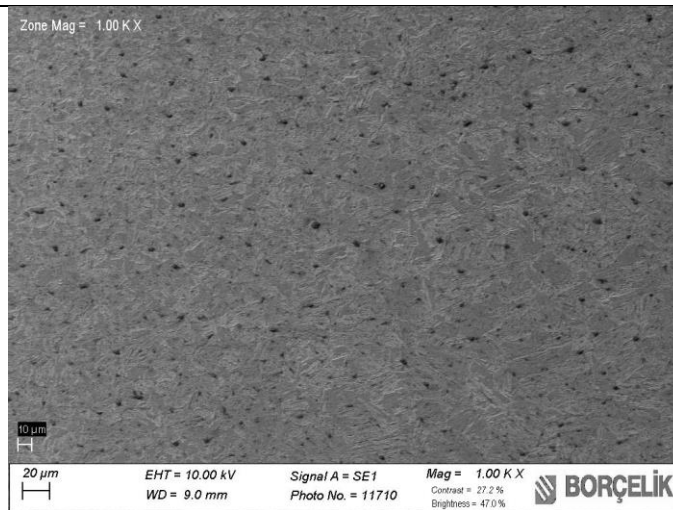


20P-8,2kA

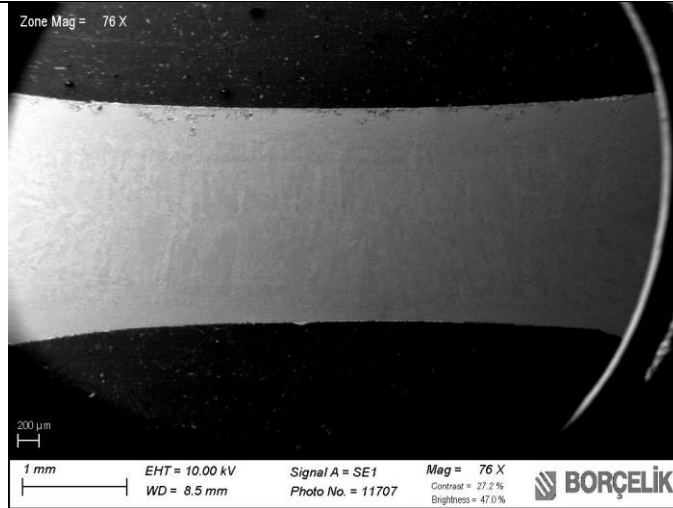
İEB(İTAB)



Çekirdek



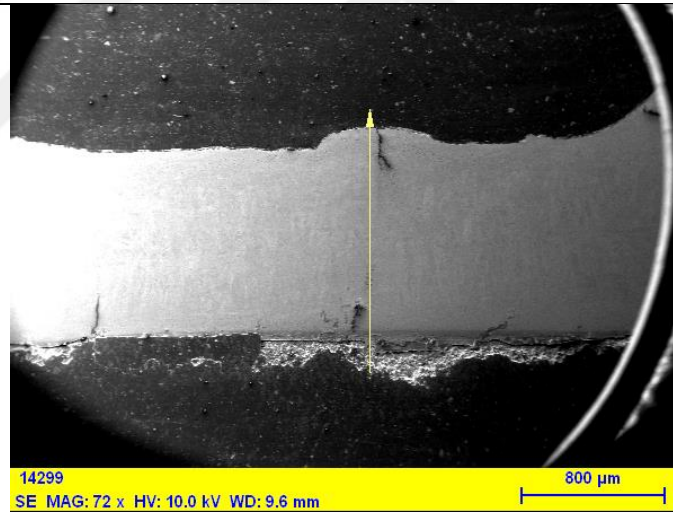
Ana Malz.-  
İEB(İTAB)-  
Çekirdek



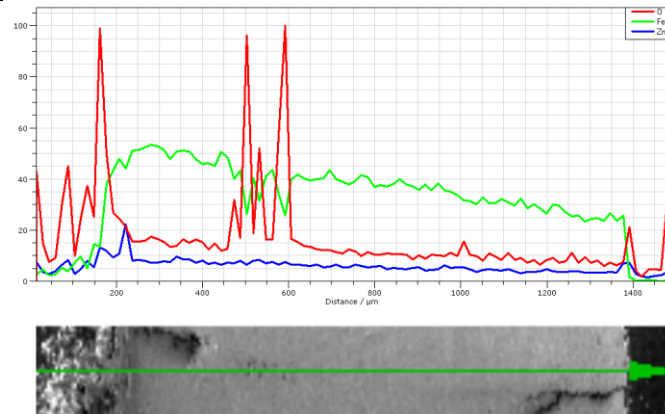
Tablo 5.36. DP600-DP800 Çelik çiftlerinden elde edilmiş olan kaynaklı birleştirmelerinin çizgisel EDS analiz doğrultusu ve analizi

10P-12,5kA

EDS analiz  
doğrultusu.



EDS analiz  
grafığı.

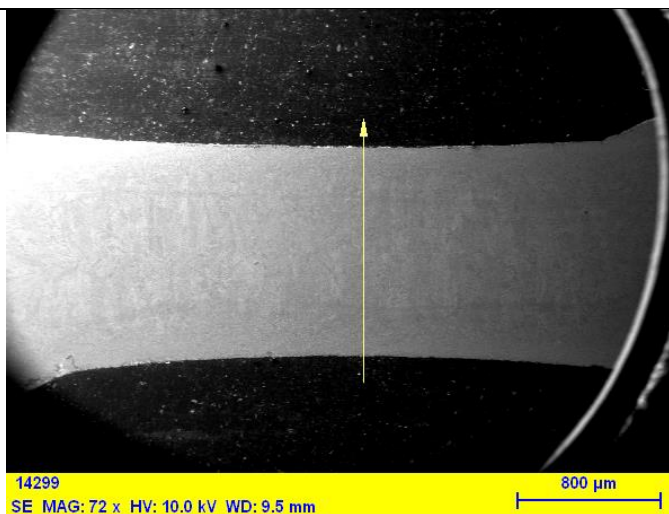


---

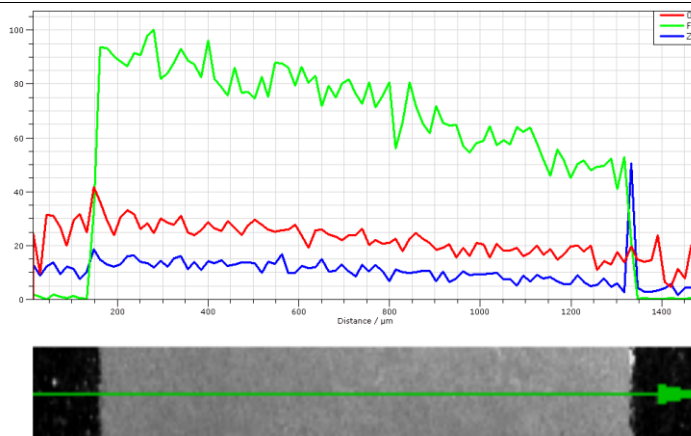
30P-8,2kA

---

EDS analiz  
doğrultusu.



EDS analiz  
grafığı.

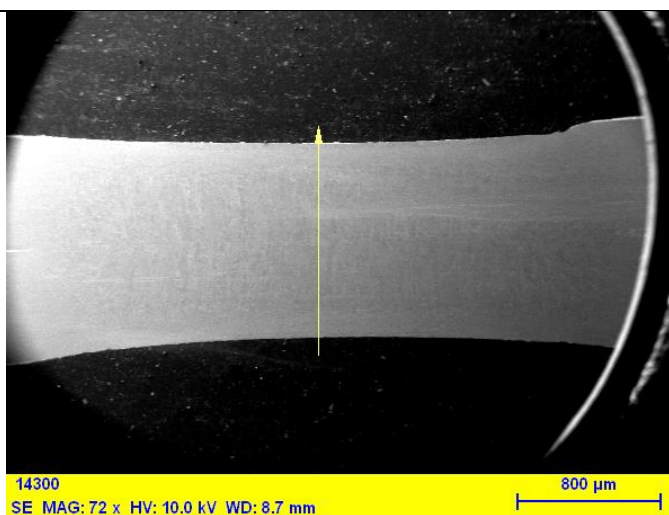


---

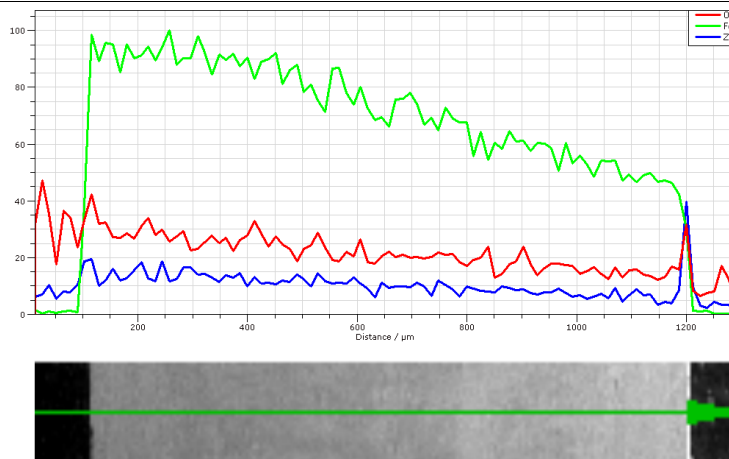
10P-8,2kA

---

EDS analiz  
doğrultusu.

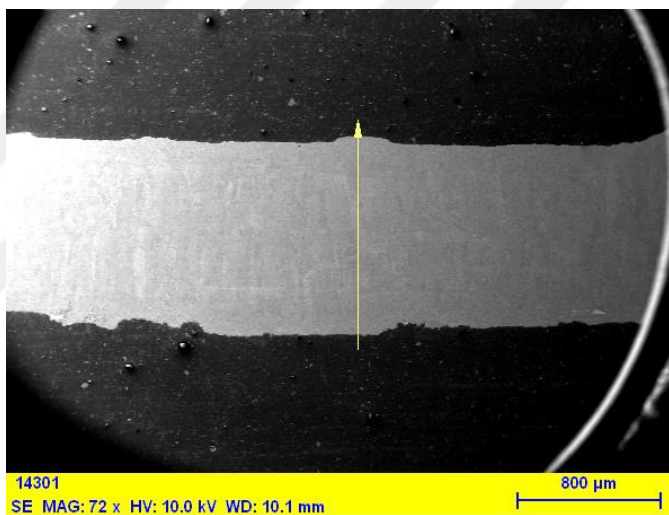


EDS analiz  
grafığı.

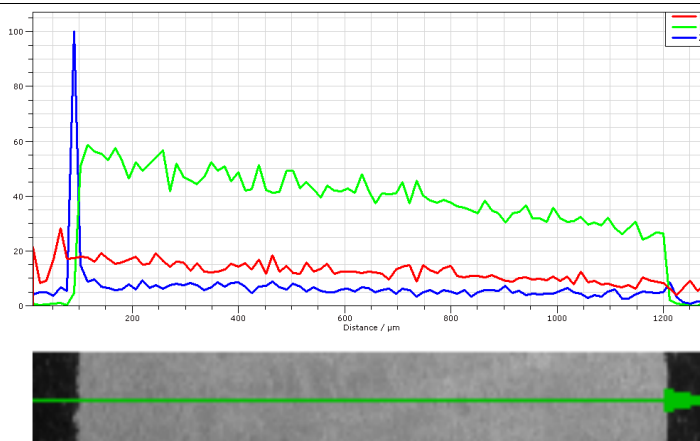


20P-12,5kA

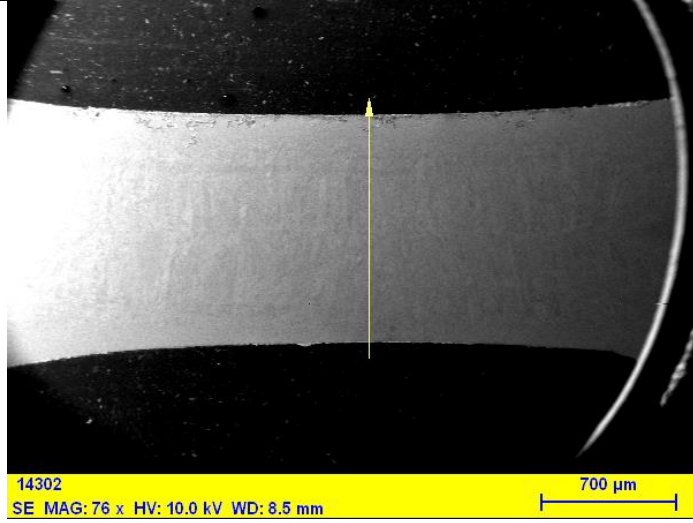
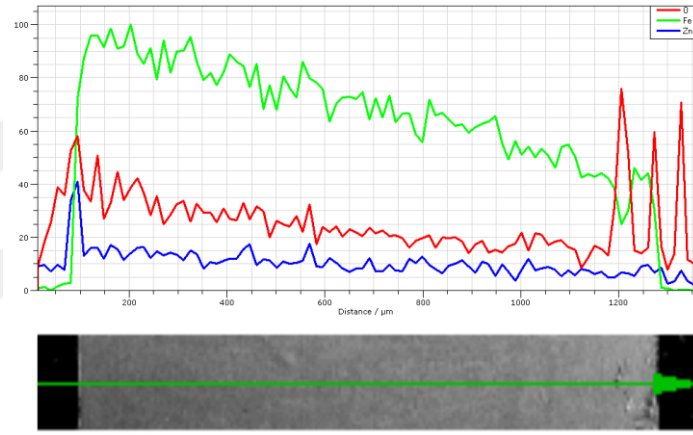
EDS analiz  
doğrultusu.



EDS analiz  
grafığı.



20P-8,2kA

EDS analiz  
doğrultusu.EDS analiz  
grafığı.

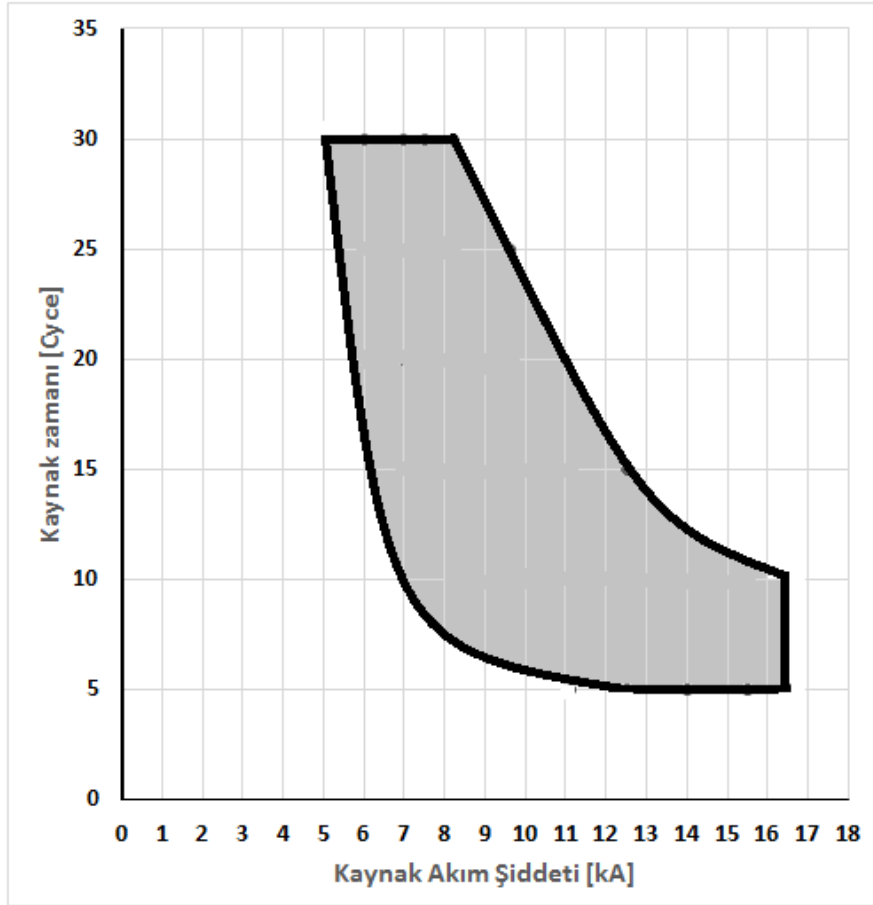
DP600- DP800 kaynaklı bağlantılardan elde edilen numunelere boyuna tablodaki şekillerde görüldüğü gibi çizgisel EDS analizi uygulanmıştır. Yapılan EDS analizinin sonucunda DP600- DP800 kaynaklı bağlantılarında kaynak çekirdek dayanımında azalmalar, kırılmalık gibi sorunlara neden olabilecek elemente (galvaniz) rastlanmamıştır. Buda elde edilen bağlantının sağlıklı bir şekilde oluştuğu anlamına gelmektedir.

### 5.9. DP600-DP800 Elektrik Direnç Nokta kaynaklı Bağlantıların Kaynak Eğrisi (Weld Lobe)

Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantıların kalitesini tanımlamada kullanılan en önemli özelliklerden biri çekirdek geometrisi ve boyutlarıdır. Çekirdek geometrisini



etkileyen en önemli parametreler kaynak elektrot kuvveti, kaynak esnasında uygulanan kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanıdır. Diğer değişkenler sabit tutulmak kaydıyla kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanının değiştirilmesiyle DP600-DP800 çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağında elde edilen kabul edilebilirlik sınırı içindeki bağlantıların olduğu alan kaynak eğrisi grafiği olarak Şekil 5.68'de verilmiştir.



Şekil 2.67. DP600-DP800 bağlantılara ait kaynak eğrisi (weld lobe)



## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 6.1.Sonuçların İrdelenmesi ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, otomotiv sektöründe kapı yan iskeletlerinde, taban takviye saçlarında ve tavan takviye saçlarında kullanılan DP 600 ve DP800 çelik saçların birbirleri ile elektrik direnç nokta kaynağında birleştirilmek suretiyle nokta kaynak bağlantılı numune serileri elde edilmiştir. Deneylerde elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma zamanları sabit bırakılmış, kaynak zamanı ve kaynak akım şiddeti değiştirilmiştir. Ön deneylerde kaynak akım şiddeti ve zamanı değiştirilerek, kaynak işleminin gerçekleştiği en küçük değerden malzemelerin delindiği en büyük değere kadar kaynak yapılmıştır. Ön deneylerin sonuçlarına göre her deney koşulunda yedi seri olarak elektrik direnç nokta kaynak bağlantılı parçalar elde edilmiştir. İlk üç seri çekme-makaslama dört, beş ve altıncı seriler çekme-sıyırma deneyine tabi tutulmuş, yedinci seri ise mikro vickers sertlik ölçümleri ile çekirdek boyut ölçümlerinin yapılması, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile mikro yapı fotoğraflarının çekilmesi için kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- DP600-DP800 çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağında maksimum çekme-makaslama dayanımı 20 periyot-25 periyot kaynak zamanı ve 10 kA kaynak akım şiddetinde (15000 N) elde edilmiştir.
- Maksimum çekme-sıyırma dayanımına ise 20-25 periyot kaynak zamanı ve 12,5 kA kaynak akım şiddetinde (1700 N) ulaşıldığı görülür. Elde edilen bu değer maksimum çekme-makaslama kuvvetinin yaklaşık olarak dokuz katı kadardır.Bu sebepten dolayı bu tür birleştirmelerin dayanım hesapları

yapılırken sıyırma dayanımı göz önünde bulundurulması ve sıyırmaya ve yarıлма zorlamalarına karşı ek konstruktif tedbirlerinin alınması gerekir.

- Maksimum çekme-makaslama 8000-9000  $\mu\text{m}$  çekirdek çapı, 900-1150  $\mu\text{m}$  çekirdek yüksekliği, 0,1-0,13 çekirdek boyut oranında, 9000-10000  $\mu\text{m}$  elektrot dalma genişliğinde, 1100-1300  $\mu\text{m}$  elektrot dalma derinliğinde ve maksimum çekme-sıyırma kuvvetlerine 8000-10000  $\mu\text{m}$  çekirdek çapı, 800-1000  $\mu\text{m}$  çekirdek yüksekliği, 0,09-0,13 çekirdek boyut oranında, 9000-10000  $\mu\text{m}$  elektrot dalma genişliğinde, 1100-1300  $\mu\text{m}$  elektrot dalma derinliğinde ulaşılmıştır.
- Bağlantılarda iyi bir yüzey görüntüsü elde edilmek isteniyorsa uygun bağlantılar 10 periyot kaynak zamanında 11,1 kA'de; 15 periyot kaynak zamanında 9,5 kA'de; 20 periyot kaynak zamanında 9,5 kA'de; 25 periyot kaynak zamanında 8,2 kA'de; 30 periyot kaynak zamanında 8,2 kA'de yapılması tavsiye edilmektedir.
- DP600-DP800 çelik sac çiftlerinin düşük kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanında kaynak bölgesine giren ısı girdisi miktarı düşük olduğu için çekirdek boyut ölçüleride küçük olacaktır. Buna bağlı olarak çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetleride düşük çıkmıştır. Bu yüzden bu tip bağlantıların çekme-makaslama ve çekme-sıyırma deneylerinde ayrılma tipi kopma oluşmuştur.
- DP600-DP800 çelik sac çiftlerinden oluşturulmuş elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda kaynak zamanının artması ve kaynak akım şiddetinin artmasıyla çekirdek boyut ölçüleride artmakta ve bunun sonucunda birleştirmelerin çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetlerindedede artış meydana gelmektedir. Bundan dolayı birleştirmelerin çekme-makaslama ve çekme-sıyırma numunelerinde düğmelenme ve yırtılma tipi kopmalar meydana gelmiştir.

- Kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin aşırı yüksek olduğu durumlarda kaynak bölgesine giren ısının artması nedeniyle ve elektrot kuvvetinin etkisi ile iki çelik sac malzeme ara kesitinde ki erime miktarı artmaktadır. Erimiş metal miktarının artması ile birlikte elektrotların üst ve alt malzemeye dalma derinlikleri de artar, kaynak çekirdeğinden fişkirmalar ve malzemede delinmeler oluşur. Bunun sonucunda kaynak çekirdek kesitinde azalma meydana gelir. Kaynak çekirdek boyutlarındaki (çekirdek yüksekliğinde) azalmalardan dolayı çekme-makaslama ve çekme-sıyırma kuvvetleride hızla düşmektedir. Ayrıca elektrotun malzemeye yapışması, malzeme üzerinde derin elektrot izleri, aşırı renklenmelerde ve kaynak yüzeyinde bakır kalıntıları meydana gelmektedir.
- DP600-DP800 çelik sac çiftlerinden oluşturulmuş elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda ana malzemedan kaynak çekirdeğine doğru sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir (ortalama 220 HV-490HV). Kaynak çekirdek bölgesinin çok kısa bir zaman içerisinde ısınıp soğumasına bağlı olarak oluşan martenzit yapı kaynak çekirdeğinin sertliğinin artmasına sebebiyet vermektedir (yaklaşık olarak ana malzemenin sertlik değerinin 2 katı).
- DP600-DP800 çelik sac çiftlerinden oluşturulmuş elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarının kaynak çekirdek bölgesinden alınan SEM ve EDS görüntülerinde kaynak çekirdeğinde ve ısının etkisi altındaki bölgede (İEB-İTAB) dayanımı olumsuz yönde etkileyecek yabancı kalıntılar tespit edilmemiştir.

## 6.2.Konuyla İlgili İleride Yapılabilecek Çalışmalar

Bu tez çalışmasında, otomotiv sektöründe kapı yan iskeletlerinde, taban takviye saçlarında ve tavan takviye saçlarında kullanılan DP600-DP800 çelik saclar elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmek suretiyle nokta kaynak bağlantılı numune serileri elde edilmiştir. Deneylerde kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı

değiştirilirken elektrot kuvveti, sıkıştırma ve tutma zamanları sabit bırakılmıştır. Elde edilen bağlantılarda kaynak akım şiddetinin ve kaynak zamanının çekme-makaslama kuvveti, çekme-sıyırma kuvveti, sertlik, mikroyapı ve makroyapı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların ışığında, aşağıda ana hatlarıyla verilen çalışmalara devam edilmesi düşünülmektedir.

- DP600-DP800 çelik sac çiftlerinin elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak zamanının ve kaynak akım şiddetinin bağlantıların yorulma dayanımlarına etkisi incelenebilir.
- DP600-DP800 elektrik direnç nokta kaynağında elde edilen bağlantıların korozyon dayanımları incelenebilir.
- DP600-DP800 kombine olarak elektrik direnç nokta kaynağı ve yapıştırma ile birleştirilmesi incelenebilir.
- DP600-DP800 elektrik direnç nokta kaynağında elde edilen bağlantılarında ortaya çıkan ısının mikro yapı, mekanik özelliklere ve sertliğe etkisi incelenebilir.
- DP600-DP800 elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen bağlantıların burulma dayanımları incelenebilir.

DP600-DP800 elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen bağlantıların farklı sıcaklıklarda darbe dayanımları incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] [http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/e9a7776c9ae8ab7\\_ek.pdf](http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e9a7776c9ae8ab7_ek.pdf), Erişim Tarihi: 08.11.2018.
- [2] Aslanlar S., Öz Saraç U., Ferik E., Varol F., Ekici M. MIG-Lehimleme İle Birleştirilmiş Trip 800 Çelik Bağlantıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, 14th International Materials Symposium (IMSP'2012), s.833-839, 2012, Denizli.
- [3] Ertaç, A.H., Fatigue Behaviour Of Spot Welds, Graduate Program in Mechanical Engineering, Boğaziçi University, Doktora Tezi, 120 s., 2004.
- [4] Şık, A., Otomobil saclarının MIG/MAG kaynağından gaz karışımlarının bağlantının mekanik özelliklerine etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [5] Satoh, T. Abe, H. Nakaoka, T. and Hayata, Y. The fatigue life of the spot welded joint under a repeated load of R=-1, Welding in The World, 12, 1996.
- [6] Ding, H. Song, D. Tang, Z. and Yang P., Strain hardening behavior of a TRIP/TWIP steel with 18.8% Mn, Material Science and Engineering A, 528: 868873, 2011..
- [7] Marya, M., Gayden, X.Q., Development of Requirements for Resistance Spot Welding Dual-Phase (DP600) Steels Part 2: Statistical Analyses and Process Maps, Welding Journal, 197-204, 2005.
- [8] Onar, V., Trip çelikler ile mikroalaşımli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında birleştirilebilirliğinin incelenmesi, Doktora Tezi, SAÜ, 2017

- [9] GOULD, J.E., An examination of nugget development during spot welding, using both experimental and analytical techniques, AWS Welding Research Supplement January 1987: 1-11, 1987.
- [10] KARAGOULIS, M.J., Control of materials processing variables in production resistance spot welding, Ph.D., Michigan State University, 1991.
- [11] POURANVARI, M., MARASHI, S.P.H., On the failure of low carbon steel resistance spot welds in quasi-static tensile–shear loading, *Materials and Design* 31: 3647–3652, 2010.
- [12] POURANVARI, M., MARASHI, S.P.H., Failure behaviour of resistance spot welded low carbon steel in tensile-shear and coach-peel tests: a comparative study, *Association of Metallurgical Engineers of Serbia, MJoM Vol 15 (3): 149-157, 2009.*
- [13] AL-MUKHTAR, A. M., DOOS, Q., The Spot Weldability of Carbon Steel Sheet, *Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2013, 6 pages, 2013.*
- [14] ASLANLAR, S., Galvanizli kromatlı mikro alaşımlı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağında uygun hasar modunun tespiti, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [15] AKTAŞ, S., Otomotiv sektöründe kullanılan dual faz sacların direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [16] AKKAŞ, N., Raylı sistem araçlarında kullanılan atmosferik korozyona dayanıklı çelik sacların birleştirilme kabiliyetinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014
- [17] KEKİK, M., 1200M-DP800HF Saclarının elektrik direnç nokta kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde hasar modunun tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018

- [18] FERİK, E., TRIP 800 Çeliklerinin elektrik direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017
- [19] A. ChabokE. GalinmoghaddamJ. T. M. De HossonY. T. Pei, Micromechanical evaluation of DP1000-GI dual-phase high-strength steel resistance spot weld, Journal of Materials Science 54(2), pp. 1703-1715),2019.
- [20] Varis, J.P. The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel, Journal of Materials Processing Technology, 132, 242-249, 2006..
- [21] Öztürk, F., Toros, S., Esener, E., Uysal, E., Otomotiv endüstrisinde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanımının incelenmesi, Mühendis ve Makina, Cilt:50, Sayı:596, 2009..
- [22] Stuart Keeler, Menachem. Kimchi, AHSS Guidelines V5.0 20140514, 2014
- [23] Bilir., Y., Çift Fazlı Çeliklerde Mikrpyapının Mekanik Özelliklere Etkisi, 18th Uluslararası Metalurji&Malzemeler Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt 1 İstanbul, 942 – 947, 2016.
- [24] <http://slideplayer.biz.tr/slide/2310693/>, Erişim Tarihi: 10.12.2018.
- [25] Varol F., MIG lehimleme yöntemi ile dual fazlı çelik sacların birleştirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [26] AWS, Welding handbook, Volume 3, Welding processes: Resistance welding and solid-state welding and other joining processes, 7.Ed, Miami, 1980
- [27] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14273, Specimen dimensions and procedure for shear testing resistance spot, seam and embossed projection welds, 2001.

- [28] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14270, Specimen dimensions and procedure for mechanized peel testing resistance spot, seam and embossed projection welds, 2001.
- [29] <https://www.arslankaynakmetal.com/puntalik-bakir/> Erişim Tarihi: 18.12.2017
- [30] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14373, Resistance welding-Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon steels, 2007.
- [31] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14329, Resistance welding-Destructive tests of welds - Failure types and geometric measurements for resistance spot, seam and projection welds, 2003.
- [32] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14271, Resistance welding-Vickers hardness testing (low-force and microhardness) of resistance spot, projection, and seam welds, 2011.
- [33] TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, EN ISO 14271, Resistance welding-Vickers hardness testing (low-force and microhardness) of resistance spot, projection, and seam welds, 2011.
- [34] KALUÇ, E., Ferritik-Ostenitik paslanmaz çelik çiftinin nokta kaynağında kaynak parametrelerinin çekme-makaslama mukavemetine ve taneler arası korozyona etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1988.
- [35] HAN, Z., Expulsion in resistance spot welding of a high strength cold rolled sheet steel, Ph.D., University of Illinois at Chicago, 1992
- [36] GHOSH, P. K., GUPTA, P. C., RAMAVTAR, JHA, B. K., Weldability of Intercritical Annealed Dual-Phase Steel with the Resistance Spot Welding Process, AWS Welding Research Supplement January 1991: 7-14, 1991.
- [37] ASLANLAR, S., OĞUR, A., ÖZSARAÇ, U., İLHAN, E., DEMİR, Z., Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromided steel sheets in electrical resistance spot welding, Materials and Design 28: 2–7, 2007.
- [38] ASLANLAR, S., OĞUR, A., ÖZSARAÇ, U., İLHAN, E., Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding, Materials and Design 29: 1427–1431, 2008.



- [39] AKKAŞ, N., İLHAN, E., ASLANLAR, S., VAROL, F., The Effect of Nugget Sizes on Mechanical Properties in Resistance Spot Welding of SPA-C Steel Sheets Used in Rail Vehicles, *Materials Testing*, Volume 56, No 10: 879-883, 2014.
- [40] NIETO, J., GUERRERO-MATA, M.P., COLAS, R., MANİ, A., Experimental investigation on resistance spot welding of galvanized HSLA steel, *Science and Technology of Welding and Joining*, Volume 11, No 6: 717-722, 2006.
- [41] AKKUŞ, A., Galvanizli ve ostenitik paslanmaz çelik sacların nokta kaynaklı bağlantılarının yorulma dayanımlarının araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [42] HAYAT, F., DEMİR, B., The effect of the weld time on dept intensity factor and strength at RSW junctions of commercial DP600 sheet steel, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.
- [43] GOODARZI, M., MARASHI, S.P.H., POURANVARI, M., Dependence of overload performance on weld attributes for resistance spot welded galvanized low carbon steel, *Journal of Materials Processing Technology* 209: 4379–4384, 2009.
- [44] ASLANLAR, S., The effect of nucleus size on mechanical properties in electrical resistance spot welding of sheets used in automotive industry, *Materials and Design* 27:125–131, 2006.
- [45] MARASHI, P., POURANVARI, M., AMIRABDOLLAHIAN, S., ABEDI, A., GOODARZI, M., Microstructure and failure behavior of dissimilar resistance spot welds between low carbon galvanized and austenitic stainless steels, *Materials Science and Engineering A* 480: 175–180, 2008.

## ÖZGEÇMİŞ

Yusuf Sadi ASLANLAR, 10.05.1993'de Sakarya'da doğmuştur. İlk, orta, lise ve üniversite eğitimini Sakarya'da tamamlamıştır. Lise eğitimini 2011'de Figen Sakallıoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümüne girmiş ve 2016 yılında mezun olmuştur. 2016 yılında başladığı İmalat Mühendisliği yüksek lisans eğitimine halen devam etmektedir. 2017 tarihinde Yıldız Kalıp Sanayi ve Ticaret şirketinde Proje Mühendisi olarak başladığı görevinden 2019 tarihinde ayrılmıştır. 2019 tarihinde Alimex Alüminyum A.Ş'de başladığı Satınalma Uzmanı görevi hala devam etmektedir.