



**T.C.
AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PUNTA KAYNAĞINDA FARKLI DESEN VE KAYNAK
PARAMETRELERİNİN ÇEKME DAYANIMI ÜZERİNE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT KARAKÖSE

AĞUSTOS

**PUNTA KAYNAĞINDA FARKLI DESEN VE KAYNAK
PARAMETRELERİNİN ÇEKME DAYANIMI ÜZERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Murat KARAKÖSE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman

Doç. Dr. Levent UĞUR

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2022

Yüksek Lisans Tezi Kabul ve Onay Sayfası

Murat KARAKÖSE tarafından hazırlanan “Punta Kaynağında Farklı Desen Ve Kaynak Parametrelerinin Çekme Dayanımı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Levent UĞUR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan : Prof. Dr. İbrahim KELEŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAZAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Amasya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 29/08/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Murat KARAKÖSE

28/07/2022

PUNTA KAYNAĞINDA FARKLI DESEN VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN ÇEKME DAYANIMI ÜZERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Murat KARAKÖSE

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2022

ÖZET

Otomotiv endüstrisi gövde montajında yüksek mukavemetli çeliklerin birleştirilmesinde elektrik direnç nokta kaynak işlemi önemli üretim süreçlerinden biridir. Direnç nokta kaynağı, ısı tesir altında kalan bölgenin küçük olması, hızlı uygulanabilirlik, güvenilirlik, gözle muayene edilebilme, kaynak makinesinin otomasyonu, iş parçalarına elektrotların kolay erişebilirliği sebebiyle birçok uygulamada tercih edilmektedir. Gövdenin kalitesi ve gücü esas olarak kaynağın kalitesi ile tanımlanır. Bu süreçteki en etkili parametreler; akım yoğunluğu, kaynak süresi, sac kalınlığı ve malzemesi, elektrotların geometrisi, elektrot kuvveti ve akım geçişidir. Kaynak mukavemetini artırmak için kaynak parametrelerinin seçimi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, direnç nokta kaynağı işleminde farklı kalınlıklardaki malzemelerin birleştirilmesinde kaynak süresinin çekme mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çekme mukavemetinin etkilerinin incelenmesi için 0.5, 0.7 ve 0.8 mm kalınlığındaki çelik saclar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çelik saclar 2, 4 ve 6 sn sürelerde elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak deseni baklava, yatay ve düşey olarak belirlenmiştir. Çekme testi sonucunda elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmiş farklı kalınlıktaki malzemelerin kopma yükleri farklı kaynak zamanına göre araştırılmıştır. Testler sonucunda en yüksek çekme mukavemetinin 0.7 mm kalınlığında 6 sn süre ile kaynak yapılmış deney numunesinde görüldüğü tespit edilmiştir. Test sonuçlarında en düşük çekme mukavemeti ise 0.5 mm kalınlığında 4 sn süre ile kaynak yapılmış deney numunesinde görüldüğü tespit edilmiştir.

Sayfa Adedi	: 94
Anahtar Kelimeler	: Elektrik direnç nokta kaynağı, paslanmaz çelik, çekme testi
Danışman	: Doç. Dr. Levent UĞUR

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT PATTERNS AND WELDING PARAMETERS ON TENSILE STRENGTH IN TAIL WELDING

(M. Sc. Thesis)

Murat KARAKÖSE

AMASYA UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2022

ABSTRACT

Electric resistance spot welding is one of the important manufacturing processes for joining high-strength steels in the automotive industry body assembly. Resistance spot welding is preferred because of the small area under heat exposure, fast construction, reliability, visual inspection, automation of the welding machine, and easy accessibility of the electrodes to the workpieces. The quality and strength of the body are mainly defined by the quality of the weld. The most effective parameters in this process are current density, welding time, sheet thickness and material, electrode geometry, electrode strength and current transmission. The selection of welding parameters is very important to increase the weld strength. In this study, the effect of welding time on tensile strength was investigated in joining materials of different thicknesses in the resistance spot welding process. Steel sheet with thicknesses of 0.5, 0.7 and 0.8 mm was used to examine the effects of tensile strength. The steel sheets used in the study were joined by electrical resistance spot welding for 2, 4 and 6 seconds. Welding pattern was determined as 4 vertical rows of welds. As a result of the tensile test, the breaking loads of materials of different thicknesses welded with electrical resistance spot welding were investigated according to different welding times. As a result of the tests, it was determined that the highest tensile strength was seen in the test sample, which was welded with a thickness of 0.8 mm for 6 seconds. In the test results, it was determined that the lowest tensile strength was seen in the test sample, which was welded with a thickness of 0.7 mm for 2 seconds.

Number of pages : 94
Keywords : Electrical resistance spot welding, steel sheet, tensile test
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Levent UĞUR

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve görüşleriyle yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Doç. Dr. Levent UĞUR' a, Yüksek Lisans Eğitimim süresince emeği geçen Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAZAN hocama ve ilgili herkese teşekkür ederim.

Yaşantım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen başta annem ve babam olmak üzere, çalışmalarımda destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli eşim Dr. Öğr. Üyesi Dilara ÇAYCI KARAKÖSE' ye ve tüm aile bireylerime sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
GRAFİKLER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1.Kaynağın Tanımı.....	8
2.2. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kaynak Yöntemleri.....	8
2.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı ve Prensibi.....	8
2.4. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi Donanımı.....	9
2. 5. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi Ekipmanlarındaki Kontrol Sistemleri.	10
2. 6. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi Mekanik Yapısı.....	11
2. 7. Direnç Nokta Kaynağı Makineleri Elektrik Devre Yapısı.....	12
2. 8. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isı Oluşumu.....	13
2. 9. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Oluşan Dirençler.....	14
2.10. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Çevrimi.....	16
2. 11. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri.....	18
2. 11. 1. Kaynak akımı.....	18
2. 11. 2. Sıçranti.....	18
2. 11. 3. Kaynak süresi.....	19
2. 11. 4. Elektrot malzemeleri ve çeşitleri.....	20

	Sayfa
2. 11. 5. Elektrot baskı kuvveti.....	22
2. 11. 6. Kaynak noktası sıklığı.....	23
2.12. Kullanım Alanları, Avantaj ve Sınırlamalar.....	25
2.12. 1. Kullanım alanları.....	25
2.12. 2. Avantaj ve sınırlamalar.....	25
3. TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE PARAMETRE OPTİMİZASYONU.....	26
3. 1. Taguchi Yöntemi.....	26
3. 2. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi.....	27
3. 2. 1. Sistem tasarım.....	28
3. 2. 2. Parametre tasarımı.....	28
3. 2. 3. Tolerans tasarımı.....	29
3. 3. Ortogonal Diziler.....	30
3. 4. Sinyal ve Gürültü(S/N) Oranı.....	30
4. MATERYAL METOT.....	32
4. 1. Giriş.....	32
4. 2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	32
4. 3. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	33
4. 4. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi.....	48
4. 5. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları.....	49
5. BULGULAR.....	53
5.1. Deney Parametreleri.....	53
5.2. S/N Oranı Hesaplamaları.....	54
5.3. Anova Varyansı.....	57

	Sayfa
5.4. Çekme Testi Analizleri.....	58
6. SONUÇLAR.....	86
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	94



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4. 1. 304 Kalite paslanmaz çelik spektral analiz değerleri.....	32
Çizelge 4. 2. 304 Kalite paslanmaz çelik mekanik özellikleri.....	33
Çizelge 4. 3. Kaynak parametrelerine etkileyen faktörler.....	33
Çizelge 5. 1. L9 dizininde ortalama kuvvet değerleri ve S/N oranları.....	53
Çizelge 5. 2. Kaynak malzemelerinin uzama yüzdeleri.....	54
Çizelge 5. 3. Kaynak faktörlerinin ortalama çekme kuvvetinin, S/N cevap değerleri...	55
Çizelge 5. 4. ANOVA'nın S/N oranları ile faktörler arasındaki ilişki.....	57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2. 1. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi genel yapısı ve kaynak bölgesi detayı (Yıldırım,2010).....	9
Şekil 2. 2. Kaynak kontrol sistemleri (RWMA, 2003).....	11
Şekil 2. 3. Direnç nokta kaynak makinesi tipleri (a) Külbütör tipi (b) Düz etkili tabanca tipi (c) Dengeleme tabancası tipi (d) Sıkıştırma tabancası tipi ve (e) Ayaklı kaynakçı tipi (Zhang ve Senkara, 2011).....	12
Şekil 2. 4. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi elektrik devre yapısı (RWMA, 2003).....	13
Şekil 2. 5. Elektrik direnç nokta kaynak makinesinde kaynak esnasında oluşan dirençler Yürük2015).....	15
Şekil 2. 6. Elektrot kuvveti ile temas direnci arasındaki etkileşim (Kimchi ve Phillips, 2017).....	16
Şekil 2. 7. Elektrik direnç nokta kaynak çevrim aşamaları (Yıldırım, 2010).....	17
Şekil 2. 8. TS EN 25822 standardına göre elektrot uç çeşitleri (European Standard, 1999).....	21
Şekil 2. 9. Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda şönt akımın gösterimi (Aktaş, 2008).....	24
Şekil 3. 1.Taguchi kayıp fonksiyon grafiği (Şirvancı, 1997).....	27
Şekil 3. 2. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi (Şirvancı, 1997).....	28
Şekil 3. 3. Taguchi yöntemi akış şeması (Mercan, 2019).....	29
Şekil 4. 1. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	34
Şekil 4. 2. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	35
Şekil 4. 3. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	35
Şekil 4. 4. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 4. 5. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	36
Şekil 4. 6. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	37
Şekil 4. 7. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	37
Şekil 4. 8. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	38
Şekil 4. 9. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	38
Şekil 4. 10. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	39
Şekil 4. 11. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	39
Şekil 4. 12. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	40
Şekil 4. 13. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	40
Şekil 4. 14. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	41
Şekil 4. 15. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	41
Şekil 4. 16. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	42
Şekil 4. 17. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	42
Şekil 4. 18. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	43
Şekil 4. 19. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	44
Şekil 4. 20. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	44

Şekil	Sayfa
Şekil 4. 21. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	45
Şekil 4. 22. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	45
Şekil 4. 23. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	46
Şekil 4. 24. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	46
Şekil 4. 25. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü.....	47
Şekil 4. 26. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü.....	47
Şekil 4. 27. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği.....	48
Şekil 4. 28. Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi.....	49
Şekil 4. 29. Deneylerde kullanılan elektroların ebatları(European Standard, 1999).....	49
Şekil 4. 30. Deney grubu kaynaklı birleştirme numuneleri.....	50
Şekil 4. 31. 2. Deney grubu kaynaklı birleştirme numuneleri.....	50
Şekil 4. 32. 3. Deney grubu kaynaklı birleştirme numuneleri.....	51
Şekil 4. 33. Çekme testi makinesi.....	52

GRAFİKLER DİZİNİ

Grafik	Sayfa
Grafik 5. 1. 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	59
Grafik 5. 2. 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	60
Grafik 5. 3. 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	61
Grafik 5. 4. 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	62
Grafik 5. 5. 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	63
Grafik 5. 6. 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	64
Grafik 5. 7. 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	65
Grafik 5. 8. 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	66
Grafik 5. 9. 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	67
Grafik 5. 10. 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	68
Grafik 5. 11. 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	69
Grafik 5. 12. 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	70
Grafik 5. 13. 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama gerilme grafiği.....	71
Grafik 5. 14. 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	72

Grafik	Sayfa
Grafik 5. 15. 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	73
Grafik 5. 16. 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	74
Grafik 5. 17. 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	75
Grafik 5. 18. 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	76
Grafik 5. 19. 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	77
Grafik 5. 20. 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	78
Grafik 5. 21. 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	79
Grafik 5. 22. 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	80
Grafik 5. 23. 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	81
Grafik 5. 24. 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	82
Grafik 5. 25. 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	83
Grafik 5. 26. 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği.....	84
Grafik 5. 27. 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama gerilme grafiği... ..	85

1. GİRİŞ

Farklı malzemelerin çeşitli kaynak teknolojileri kullanılarak bir araya getirilmesi ile oluşturulan parçaların tasarlanması ve imal edilmesi otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük araç gövde ağırlığını sağlamak için araştırmacılar farklı malzeme ve birleştirme yöntemleri kullanarak yakıt tasarrufunu artırma eğilimindedirler (Pervaiz, Panthapulakkal, Sain, ve Tjong, 2016). Otomotiv sektöründe genel olarak farklı malzeme ve metallerin noktasal olarak birleştirilmesinde elektrik direnç nokta kaynağı veya sürtünme kaynağı kullanılmaktadır. Uygulamada karşılaşılan sıkıntı ve olumsuzlukları sebebiyle sürtünme kaynakları, kullanım olarak daha dar alana sahiptir (Che, Wang, Sun, Li, Geng, 2018; Mutlusu, 2019). Otomotiv endüstrisinde sıkça kullanılan kaynak yöntemleri; Direnç bileşim kaynağı, saplama ark kaynağı, MAG kaynağı, elektrik direnç nokta kaynağı olarak sıralanabilir (Anık, S., Anık, E. Vural, M., 2000). Bu bağlamda araç imalatında farklı birçok kaynaklı birleştirme yöntemi olmasına karşın yaygın olarak elektrik direnç nokta kaynak kullanılmaktadır (Doruk, Pakdil, Çam, Durgun, Kumru, 2015).

Direnç nokta kaynağı, su soğutmalı elektrot çeneler arasına konumlandırılmış iş parçalarının üzerinden geçen elektrik akımına karşı göstermiş oldukları direnç sonucu açığa çıkan ısı ve çeneler vasıtasıyla iş parçası üzerine yapılan basınç ile elde edilen kaynak yöntemidir (Kianersi, Mostafaei, Amadeh, 2014; Mutlusu, 2019, Kumar, Jasgurpreet, Rohit, ve Chauhan, 2020). Elektrik direnç nokta kaynağı, diğer kaynak yöntemleri ile kıyaslandığında daha düşük maliyetli olması, kaynak işlem hızının yüksek olması sebebiyle otomasyona uyarlanabilir olması, farklı türdeki malzemelerin ve çeliklerin birleştirilebilir olmasından dolayı otomotiv endüstrisinde bu kaynak yönteminin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Yapılan literatür araştırmasında direnç nokta kaynağı ile çelik sacların kaynak edilebilirliği ve malzeme üzerindeki etkilerine dair çalışmalar araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde bu alanda çok sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Bu alanda yapılmış olan çalışmalar incelenerek özet halinde sunulmuştur.

Çimen, Akkuş ve Vural (2003), direnç nokta kaynağındaki elektrotların uyguladığı basınç parametresi ve akım şiddetinin malzeme üzerindeki etkilerini inceleyerek, bu

parametrelerin kaynak bölgesinde meydana gelen çekme dayanımını etkileyen en önemli parametreler olduğunu tespit etmişlerdir.

Bir başka çalışmada, Marya ve Gayden (2005); DP600 tip 1,2mm ve 1,8mm kalınlığındaki çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile yaptıkları kaynaklı birleşimlerin geliştirilmesi üzerine araştırma yapmışlardır. Çalışma neticesinde akım ve basıncın etkisi ile sıvılaştıran kaynak bölgesinin soğuma sonrası katılaşma anında oluşan çatlakların ergime noktasının düşük olmasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir.

Diğer bir çalışmada ise Marashi, Pouranvari, Amirabdollahian, Abedi ve Goodarzi (2008), iki farklı çeliği elektrik direnç nokta kaynak yöntemi ile birleştirerek kaynaklı çelik malzemelerin mikro yapılarını ve malzemede meydana gelen kaynak hatalarını araştırmışlardır. Malzemede meydana gelen kaynak hatalarının, elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynatılan galvanizli çelik sacın mukavemetinin ergime bölgesi alanı tarafından kontrol edildiğini saptamışlardır.

Aynı alanda farklı türdeki çelikleri inceleyen, Kanga, Raoa, Siglerb ve Carlson (2017); çalışmalarında farklı kalınlıklardaki AA6022-T4 ve IF çelik saclarını elektrik direnç nokta kaynağı yöntemi kullanarak birleştirmişlerdir. Yorulma ve çekme-makaslama testlerini değerlendirerek elde ettikleri verilerin mekanik özelliklerini AA6022-T4 ve AA6022-T4 kaynak çifti ile karşılaştırma yapmışlardır. Çalışma neticesinde farklı malzemelerin kaynaklı birleştirmesinde çatlaklar meydana gelmesine karşın aynı tip malzemelerin kaynağına kıyasla daha yüksek mekanik özellikler elde etmişlerdir.

Yine benzer şekilde, Harlin, Jones ve Parker (2003); çalışmalarında sıcak daldırma yöntemi kullanılarak çinko kaplaması yapılmış düşük karbonlu çelik ile üzerinde herhangi bir kaplama bulunmayan düşük karbonlu çelik çiftini elektrik direnç nokta kaynağı makinesi ile kaynatmışlardır. Çalışma sonunda yapılan analizde üzerinde herhangi bir kaplama bulunmayan düşük karbonlu çelik malzemede meydana gelen ısı girdisinin çinko kaplı düşük karbonlu çelik malzemeye kıyasla daha fazla olduğunu saptamışlardır.

Benzer bir başka çalışmada, Dong, Kelkar ve Zhou (2002); ince tabaka halinde yüzeyi nikel kaplı çelik sac malzemelerin elektrik direnç nokta kaynağı işlemi esnasında elektroların kaynak malzemesine yapışması sorununu ortadan kaldırmak amacıyla elektrot

tipi, elektrot baskı kuvveti, kaynak malzemesi ile elektrot arasındaki mesafe, kaynak akım değeri, kaynak zamanı gibi parametreleri değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre ince tabaka halinde kaynak malzeme yüzeyini saran nikelin çelik saclar ile elektrotlar arasında oluşan metalurjik bağdan dolayı yapışmanın meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Meydana gelen yapışmanın, kaynak akım değeri ve kaynak zamanının azaltılması ve aynı zamanda elektrot baskı kuvvetinin artırılması ile minimum seviyeye indirilmesi sağlanmıştır. Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan standart elektrotlar(CuCrZr), TiC malzemesi ile kaplandıktan sonra yapılan elektrik direnç nokta kaynaklarda elektrot yapışmasının önüne geçildiği anlaşılmıştır.

Kaynak parametrelerinin ideal aralığının belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada, Kim, Lee, Choi ve Lee (2001); kaynak akım değeri, kaynak zamanı ve elektrot baskı kuvvetini değiştirerek ideal kaynak değerlerini bulmayı hedeflemişlerdir. Kaynak yapılan iş parçası üzerinde bu üç parametreni olduğunu belirtmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre bu parametreleri değiştirerek uyguladıklarında kaynak malzemesini olumlu etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Yapısal bozuklukların tespitinin amaçlandığı bu çalışmada, Hilditch, Speer ve Matlock (2007); otomotiv sanayinde sıkça kullanılan geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerin (TRIP) elektrik nokta direnç kaynağı ile yapılan birleştirme işlemlerinde kaynak malzemelerinin ara yüzeyinde meydana gelen mikro kırılmaları değerlendirmişlerdir. Yapılan testlerde TRIP çeliklerinin ara yüzeyinde meydana gelen kırılmalar, kaynak malzemesinin üzerinden geçen kaynak akımına göstermiş olduğu yüksek direnç ve statik ve dinamik olarak gerçekleşen kaynak işlemi esnasında kaynak malzemesinde oluşan yorulma ile elektrik direnç nokta kaynağı sonrasında kaynak sertliği ve kaynak malzemesini oluşturan mikro yapılar arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Elektrik direnç nokta kaynak işleminin ardından kaynak malzemesindeki mikro yapıyı değiştirmek amacıyla kaynak malzemesine basit ısı işlemler uygulamışlardır. TRIP çelikleri ile yüksek mukavemetli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile oluşturulan kaynaklı birleşimlerinde kaynak havuzunun inceltilmesi sonucu ara yüzeyde meydana gelen kırılmalara olan etkisini değerlendirmişlerdir. Kaynak çevrimlerinde düşük devirlerde ara yüzeyde kaynak kırılmalarının meydana geldiği ancak yüksek devirlerde yapılan kaynaklı birleştirme işlemlerinde ara yüzeyde kırılmaların meydana gelmediğini gözlemlemişlerdir.

Benzer şekilde, Cretteur ve Koruk (2003); çalışmalarında önceden elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiş TRIP çeliklerinin yapısal ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kaynak işlemleri esnasında farklı çevrim sayıları denemişlerdir. Dört adet TRIP çeliğinin kaynak kabiliyetini geliştirmek amacıyla kaynak öncesi ve kaynak sonrası bu malzemeleri ısıtılma işlemine tabi tutmuşlardır. Elektrik direnç nokta kaynak işlemine başlamadan önce kaynak malzemelerine ön tavlama yapılarak ve kaynak esnasında kaynak zamanını değiştirerek ara yüzeyde meydana gelen kırılmaları engellemişlerdir.

Yapısal deformasyonun incelendiği bu çalışmada da Shi ve Westgate (2003), TRIP çelikleri ile yüksek mukavemetli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile oluşturulan kaynaklı birleşimlerinde ara yüzeyde meydana gelen değişimleri araştırmışlardır. TRIP çelikleri ile yüksek mukavemetli çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile oluşturulan kaynaklı birleşimlerinde ara yüzeyde tam ve kısmi kırılmalarının olduğunu gözlemlemişlerdir. Oluşan kırılmaları önlemek amacıyla kaynak sonrası kaynaklı malzemenin soğumasının hızlı yapılmasının önüne geçilmesini ve kaynak çevrimlerinin düşük devirlerde olması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Aynı kalınlıktaki çelik saclara uygulanan kaynak akım şiddetinin etkisinin incelendiği çalışmada, Anık, Oğur ve Aslanlar (1999); galvaniz kaplı kromat içeren mikro alaşımlı 1.2 mm kalınlığındaki çelik sacların elektrik direnç nokta kaynak makinesinde kaynak işleminin ardından, kaynak esnasında kaynak malzemesine uygulanan kaynak akım şiddetinin çekme-makaslama mukavemetine etkisini incelemişler ve ideal kaynak akım şiddetini belirlemişlerdir. Kaynak akım şiddetinin artması ile kaynak malzemesine ısı girdisinin arttığı buna bağlı olarak çekirdek çapının da doğru orantısal şekilde büyüdüğü sonuç olarak çekme-makaslama mukavemetinin de arttığını ortaya koymuşlardır. Yaptıkları testlerde en yüksek çekme-makaslama mukavemet değerini 10kA kaynak akım şiddetinde, 12 ve 15 kaynak çevrim değerinde; en yüksek çekme-sıyırma mukavemet değerini ise 11 kA kaynak akım şiddetinde, 10 kaynak çevrim değerinde elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Benzer şekilde, Anık ve Eryürek (1977); çalışmalarında düşük alaşımlı sacların elektrik direnç nokta kaynak işlemlerinde, kaynak malzemelerinin temas yüzeylerinde meydana gelen temas direnci sorununu farklı yüzeylerde uygulamışlar ve kaynak esnasında yüzeyler

arasında oluşan temas direnci ile kaynak işlemi sonrası malzemedeki çekme-makaslama mukavemeti arasında doğrudan bir bağlantının bulunmadığı ancak yüzeylerdeki pürüzlülük seviyesi artırıldığında temas direncinin de arttığını ortaya koymuşlardır.

Galvaniz çeliklerin kaynak kabiliyetinin incelendiği çalışmada, Brown (1987); düşük karbon ve alaşımlı, yüksek mukavemetli çeliklerin, çinko ile kaplanmış galvanizli ve kaplanmamış galvanizsiz durumlarda alternatif akım ve doğrusal akım kullanılarak kaynak işlemi uygulandığında kaynak kabiliyetlerini incelemiştir. Yaptığı deneyler neticesinde doğrusal akımla yapmış olduğu kaynak işlemlerinde elde edilen kaynakların, alternatif akımla yapılarak elde edilen kaynaklara kıyasla %27 daha az kaynak akım şiddeti kullanılarak kaynak elde etmenin mümkün olduğunu saptamıştır. Kaynak işlemi esnasında, kaynak zamanının herhangi bir anında kaynak malzemesine uygulanan kaynak akım şiddetinin etki ettiği kaynak alanının doğrusal akım kullanıldığında alternatif akıma göre daha geniş olduğu, doğrusal akımla elde edilen kaynaklarda elektrot ömrünün üç kat daha uzun olduğu sonucuna varmıştır.

Benzer bir çalışma yürüten Fidaner, Kurtulmuş ve Yükler (2010), çalışmalarında galvaniz kaplı çeliklerin elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynak işlemi sırasında elektrotlarda meydana gelen deformasyonu araştırmışlardır. Galvaniz kaplı çelik sacların elektrik direnç nokta kaynak işlemi esnasında kaynak çekirdeğinin oluşumu, elektrotun deforme olmasına neden olan mekanizmalar ve deformasyon hızının düşürülmesi için gerekli olan tedbirleri açıklamışlardır.

Kaynak parametrelerinin galvanizli çelikler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, Defourny ve Leroy (1989); elektrik direnç nokta kaynak işlemi esnasında elektrot yüzeyinde herhangi bir işlem ve kaynak akım şiddetinde değişiklik yapmadan belirlenmiş bir hızda yapılabilecek en fazla sayıda kaynak işlemi gerçekleştirmek için araştırma yapmışlardır. Elektroliz yoluyla galvaniz kaplanmış çelik saclar ile sıcak daldırma yöntemi kullanılarak galvaniz kaplanmış çelik saclar elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile kaynak işlemine tabi tutulmuş ve yapılan her kaynak işlemi kendi arasında karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri verilere göre kaynak hızının, elektrot aşınmasını en aza indirmek için ortalama 25 nokta/dk olduğu ve bu hız değerinin 50 nokta/dk hız değerini aşmaması gerektiği sonuca varmışlardır.

Benzer şekilde, Kimichi, Gould, Colombus, Helenius, Heppi ve Nipperet (1989); çalışmalarında elektrik direnç nokta kaynak makinesinde kaynaklı birleştirmelerini yaptıkları düşük karbonlu çelik sacların, kaynak makinesinin kaynak akım şiddeti ve kaynak sürelerinin değiştirilmesi ile oluşacak kaynaktaki değişiklikleri incelemişlerdir. Değiştirilen parametrelerin oluşan çekirdek çapına, yorulma ömrüne ve yorulma dayanımına etkilerini grafiklere dökerek açıklamışlardır.

Yine benzer bir çalışma ile Lane, Sorensen, Hunter, Gedeon ve Eagar (1987), galvaniz ile kaplanmış çelik sacların elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile kaynaklı birleştirmelerinde, kaynak akım şiddetinde meydana gelen değişikliklerin kaynak malzemeleri ve elektrotlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler neticesinde, daha düzgün ve ideale yakın kaynak çaplarının elde edildiğini, yapılan değişikliklerin elektrotlar ile kaynak malzemeleri ve kaynak malzemelerinin ara yüzeylerinde bulunan çinko kaplamanın erimesini de engelleyerek elektrotların yapışmasını geciktirdiği ayrıca malzemelerle elektrotlar arasındaki temas direncini olumlu olarak etkilediğini saptamışlardır.

Kaynak parametrelerinin galvanizli çelikler üzerindeki etkisinin incelendiği çalışmada, Vural (1992); galvaniz ile kaplanmış karbonlu ve ferritik çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile yapılan kaynaklı birleştirmelerinde, kaynak akımı, kaynak süresi gibi parametrelerin kaynak davranışına ve oluşan kaynak bağlantısının dayanımına etkisini incelemiştir. 120 kVA gücünde tek kol ile çalışan pnömatik sisteme sahip kaynak akım şiddeti ve kaynak zamanı ayarlama ve kontrol etmeye yarayan elektronik düzeneği bulunan elektrik direnç nokta kaynak makinesi kullanarak yaptığı deneylerde, kaynak akım şiddetini 4.5 kA' den 13.5 kA' e kadar her bir artırım aralığı sabit ve 1 kA olacak şekilde devam ettirdiği deney düzeneğinde, kaynak sürelerini 5, 15 ve 25 periyotlar halinde ve değiştirerek kullanmıştır. Elektrot baskı kuvvetini sabit tutmuş ve 5 kN olarak belirlemiştir. Elde ettiği sonuçlarda galvaniz kaplanmış karbonlu çelikler ile galvaniz kaplanmış ferritik krom kaplı paslanmaz çeliklerin elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile kaynaklı birleştirmelerinde çeşitli koşullara ve değişikliklere rağmen kaynak oluşumu ve kaynak çaplarının ideale yakın olacak şekilde değişiklik gösterdiğini saptamıştır.

Farklı malzemeler kullanılarak kaynak parametrelerinin etkilerinin incelendiği çalışmada, Karagoulis (1991); otomotiv endüstrisinde sıkça kullanılan SAE 1005 ve SAE 1080 kod

numaralı düşük karbonlu ve soğuk şekil verme ile elde edilen çeliklerin elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile kaynaklı birleştirme işlemlerinde kaynak oluşumu için gerekli olan kaynak parametrelerini araştırmıştır. Yaptığı çalışma neticesinde kaynak parametreleri arasında elektrot baskı kuvvetinin önemli bir yerinin olduğunu, kaynak akım şiddetinin ise kaynak zamanına kıyasla daha etkili olduğunu göstermiştir. Çalışmalarında kullanmış olduğu saclara ilişkin kaynak eğrisi diyagramı oluşturmuş ve otomotiv endüstrisinde deneyde kullandığı sacların kaynaklarına dair en ideal kaynak zamanı ile kaynak akım değerini ve elektrot baskı kuvveti değerlerini tablo haline getirerek kullanıma sunmuştur.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde aynı kalınlıklardaki çelik sacların, aynı türdeki çelik sacların, farklı türdeki çelik sacların ve galvanizli çeliklerin birbirleri ile kaynaklı birleştirmelerinde yapısal değişiklikleri, elektrotlar ile aralarında meydana gelen etkileşimler, kaynak parametreleri ki bunlar; kaynak akım şiddeti, kaynak zamanı ve elektrot baskı kuvveti değerlerinin kaynaklı malzeme üzerindeki etkilerinin araştırıldığı gözlenmiştir. Tüm bu çalışmalar irdelendiğinde farklı kalınlıklardaki çelik sacların, farklı desenlerde ve farklı kaynak zamanlarında birleştirilmeleri üzerine bir çalışmaya rastlanmadığı anlaşılmıştır. Bu sebeple bu çalışmanın yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur.

Bu çalışmada, farklı kalınlıklardaki paslanmaz çelik sacların elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilmesinde farklı zamanlar ve farklı desenler kullanılarak elde edilen kaynaklı malzemelerin çekme testi deneyleri yapılarak numunelerin mekanik özellikleri ve kaynak dayanımları incelenmiştir. Çekme testleri uygulanırken çekme ön yükü ve çekme ön yük hızı sabit tutulmuştur. Çekme ön yükü 3.5 kN ve çekme ön yük hızı 20 mm/dk olarak belirlenmiştir. Sac kalınlıkları 0.5 mm, 0.7 mm ve 0.8 mm; kaynak desenleri düşey, yatay ve baklava tipi; kaynak zamanı ise 2, 4 ve 6 saniyelik periyotlar olarak seçilmiştir. Her bir deney seti 9 adet olmak üzere 3' er tekrarlı deneyler yapılması sebebiyle 27 adet sac levhaya kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çekme testi deneylerinde çelik sacların kalınlıkları, desenleri ve kaynak süreleri karşılaştırılarak en yüksek ve en düşük dayanım değerlerine sahip numunelerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Çekme testi deneylerinde elde edilen veriler Taquchi yöntemi ile karşılaştırılarak en yüksek ve en düşük kaynak dayanım mukavemetine sahip numune belirlenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Kaynağın Tanımı

Kaynak, ergime dereceleri aynı veya birbirine yakın iki veya daha fazla termo plastik veya metal parçanın ısı, basınç veya her ikisinin etkisi altında tek parça haline getirilme işlemidir. Kaynak yapılacak parçalar arasına ilave malzeme eklemek suretiyle veya herhangi bir malzeme eklemekten doğrudan parçalar birbirleriyle temas ettirilerek yapılabilir (Akyıldız 2008).

2.2. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Kaynak Yöntemleri

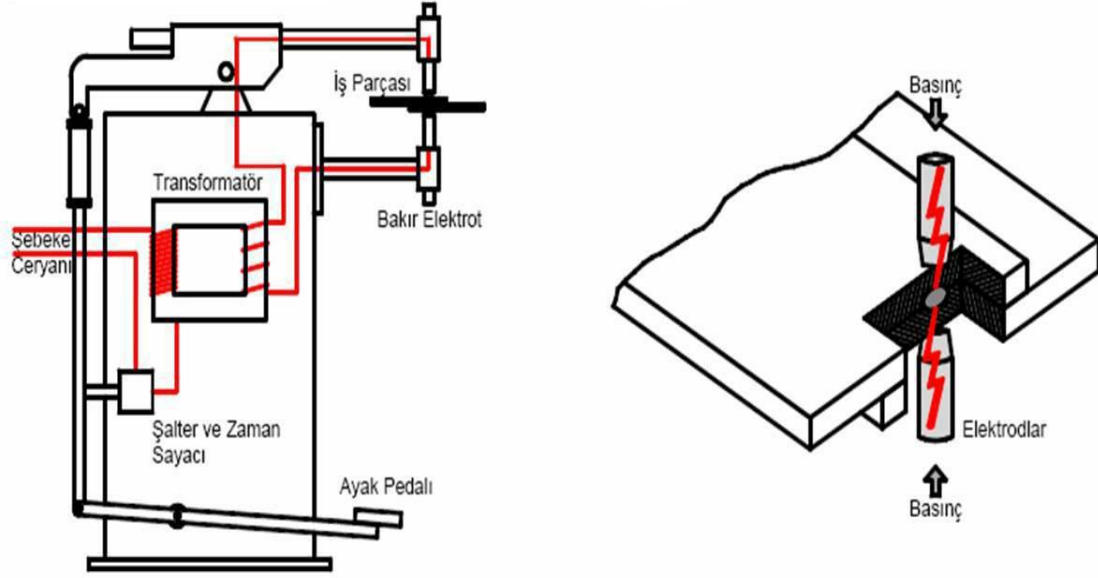
Otomotiv endüstrisinde sıkça kullanılan kaynak yöntemleri; Direnç bileşim kaynağı, saplama ark kaynağı, MAG kaynağı, elektrik direnç nokta kaynağı olarak sıralanabilir (Anık, S., Anık, E. Vural, M., 2000). Bu yöntemlerin içerisinde; pratik olması, ekonomik olması, kontrol edilebilirliğinin kolay olması, otomasyona uygun olması gibi özellikleri sebebiyle elektrik direnç nokta kaynağı en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemidir (Çebi, 2021). Bu yöntemin bakır, alüminyum, titanyum gibi malzemelerin alaşımları ile çelik ve demir esaslı malzeme gruplarına uygulanabilir olması ayrıca farklı malzeme gruplarını birbirine kaynak ederek bağlama kabiliyeti bu yöntemi öne çıkaran diğer durumlardır.

Günümüz otomotiv endüstrisinde üretilen araçların gövdelerinin oluşturulmasında %85 oranında direnç nokta kaynağından faydalanılmaktadır. Üretilen araçların gövdelerine ortalama 4000 ila 6000 arasında elektrik direnç nokta kaynağı uygulanmaktadır (Doruk, 2015).

2.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı ve Prensibi

Elektrik direnç nokta kaynağı, su soğutmalı elektrot çeneler arasına konumlandırılmış iş parçalarının üzerinden geçen elektrik akımına karşı göstermiş oldukları direnç sonucu açığa çıkan ısı ve çeneler vasıtasıyla iş parçası üzerine yapılan basınç ile elde edilen kaynak yöntemidir (Kianersi ve diğerleri, 2014; Mutlusu, 2019, Kumar ve diğerleri, 2020).

Elektrik direnç nokta kaynağının şematik görüntüsü ve kaynak bölgesi detayı Şekil 2. 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi genel yapısı ve kaynak bölgesi detayı (Yıldırım, 2010)

3. 4. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi Donanımı

Çoğunlukla sanayide kullanılan elektrik direnç nokta kaynak makineleri, enerji nakil hatlarından gelen 50 Hz frekans değerinde alternatif akım (AC) sağlayan ve 220V ila 400V arasında gerilim değerine sahip elektriği, doğru akım (DC) dönüştürücüleri kullanılarak 2 ila 20V değerine düşürerek elektrotları bu DC akım ile beslemektedir (Akyol, 2001).

Elektrik direnç nokta kaynak makinesi; kontrol mekanizması, elektrik devre mekanizması ve mekanik yapı olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır.

Kontrol mekanizması: Kaynak malzemelerine birleşmeleri için gerekli olan akımı sağlar ve sonrasında kaynak akımının elektrotlardan geçme süresini ayarlar. Kaynak malzemelerine elektrotlar vasıtasıyla uygulanan baskı miktarı da bu mekanizma tarafından kontrol edilir.

Elektrik devre mekanizması: Elektrik direnç kaynak makinesi içerisinde bulunan esnek iletken kablolar, transformatör çekirdeği, primer ve sekonder devre sargıları, konektörler(bağlayıcılar) ve elektrotlar bu mekanizmayı oluşturan temel parçalardır.

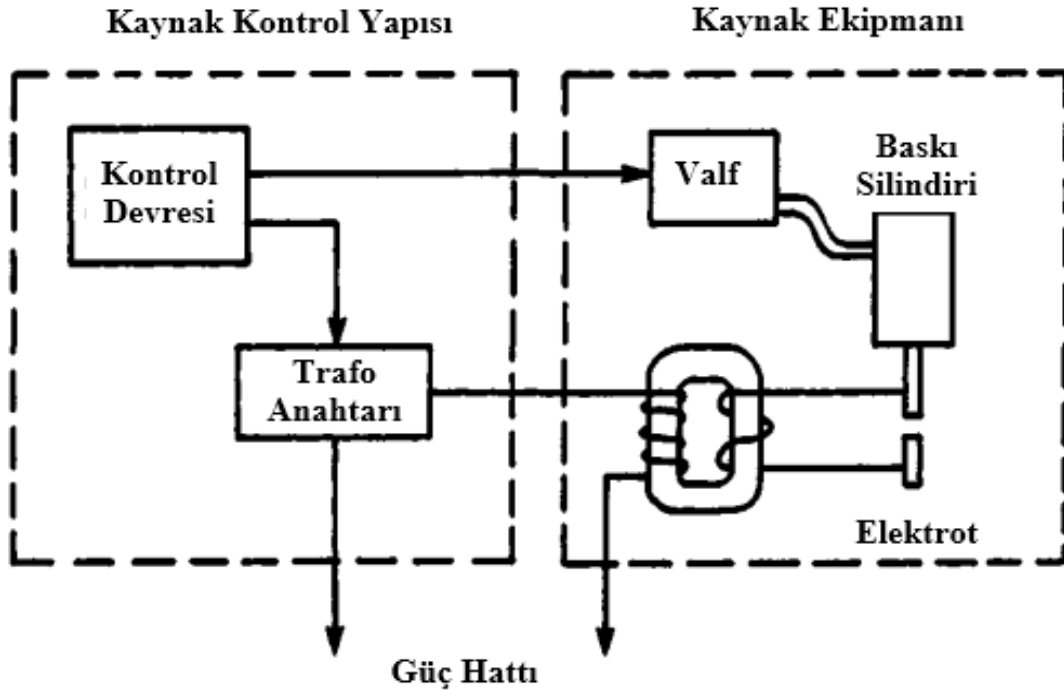
Mekanik yapı: Elektrotların elektrik direnç kaynak makinesi gövdesine bağlandığı, kaynak malzemelerine elektrot baskı kuvveti oluşturmayı sağlayan çene ve tutucu sistemlerden oluşur (Uijl, 2010).

2. 5. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi Ekipmanlarındaki Kontrol Sistemleri

Kontrol sistemlerinin elektrik direnç nokta kaynak makinesi üzerinde üç temel görevi bulunmaktadır.

- Güç devresinden gelen kaynak akımı başlatma ve sonlandırma,
- Primer devre kontrolü sağlayarak kaynak akımının gücünü ayarlama,
- Kaynak zamanını kontrol etme.

Şekil 2. 2.'de sistem yapısı gösterilen, kaynak kontrol sistemleri, kaynak kontrol yapısı ve kaynak ekipmanı olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kaynak kontrol yapısı içerisinde bulunan kontrol devresi; kaynak kontakları, zamanlama kontrolörü ve akım ayarlayıcıların oluşmaktadır (Donders, Brughmans, Hermans, Tzannetakis, 2005). Kaynak kontakları, elektrik direnç nokta kaynak makinesinin elektrik güç devresinin açılıp-kapanmasını kontrol eder. Çoğunlukla birincil devrede bulunurlar. Kaynak malzemesinin elektrotlar vasıtasıyla tutulma süreleri zamanlama kontrolü tarafından sağlanır. Kaynak işlemine başlamadan veya başladıktan sonra kaynak yaparken gerek duyulan akım gücü, primer devre üzerinde yer alan sargı anahtarı ve sargı sayısının değiştirilmesi ile sağlanır. Bu işlemin gerçekleşmesi ve kontrol edilmesi akım ayarlayıcıları tarafından sağlanır. Elektrik direnç nokta kaynak makinesinde bulunan bu kontrol sistemleri sayesinde kaynak işlemi devam ederken akım gücünde değişiklik yapılarak kaynak birleşiminde oluşan ısı miktarı kontrol altında tutulmaktadır (Donders ve diğ, 2005).



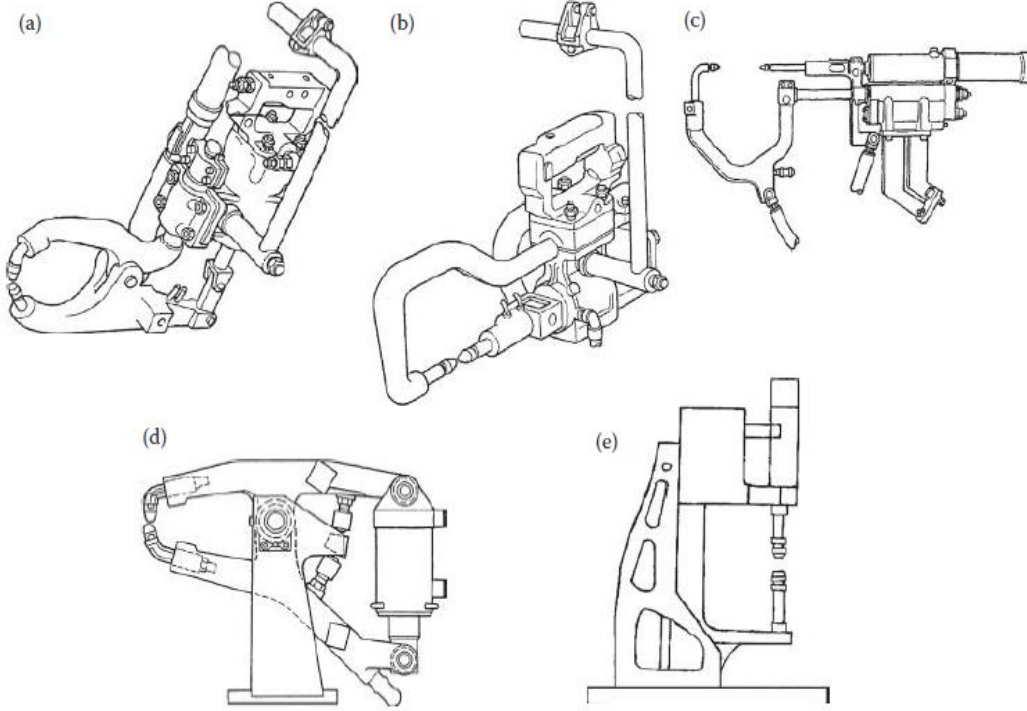
Şekil 2. 2. Kaynak kontrol sistemleri (RWMA, 2003)

2. 6. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi Mekanik Yapısı

Bir elektrik direnç nokta kaynak makinesinin hareketli kısmı basit olarak, ayak pedalından elektrotların bağlı olduğu çeneleri de kapsayan gövdeden oluşmaktadır. Daha karmaşık ve pnömatik sistemle çalışan elektrik direnç nokta kaynak makinelerinde ise hareketli kısım, pistonlardan başlayıp elektrotları da kapsayan bir gövdeden oluşmaktadır. Kaynak malzemeleri piston vasıtasıyla hareket ettirilen elektrotlar tarafından tutulur ve bu işlemin gerçekleşmesi için elektrotlar tarafından kaynak malzemesi üzerinde baskı kuvveti oluşturulur. Genel olarak karmaşık yapıya sahip elektrik direnç nokta kaynak malzemelerinde elektrotları tutan kollardan biri sabit iken diğeri hareketlidir. Kaynak malzemesi üzerinden geçirilecek kaynak akımının oluşabilmesi ve sonrasında malzemede oluşan kaynağın kaliteli olması bu baskı kuvveti ile orantılıdır. Elektrot uçları arasında oluşabilecek eksen kaçıklığı veya herhangi bir sebepten elektrotların oluşturduğu baskı kuvvetinde doğabilecek kesintilerden malzemede oluşacak kaynak birleşimi doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz etkilenmektedir.

Elektrik direnç nokta kaynak makineleri, gövdelerine bağlı çenelerde bulunan elektrotların kaynak malzemelerini tutma ve kaynak yapma mekanizmalarının hareket yönlerine göre

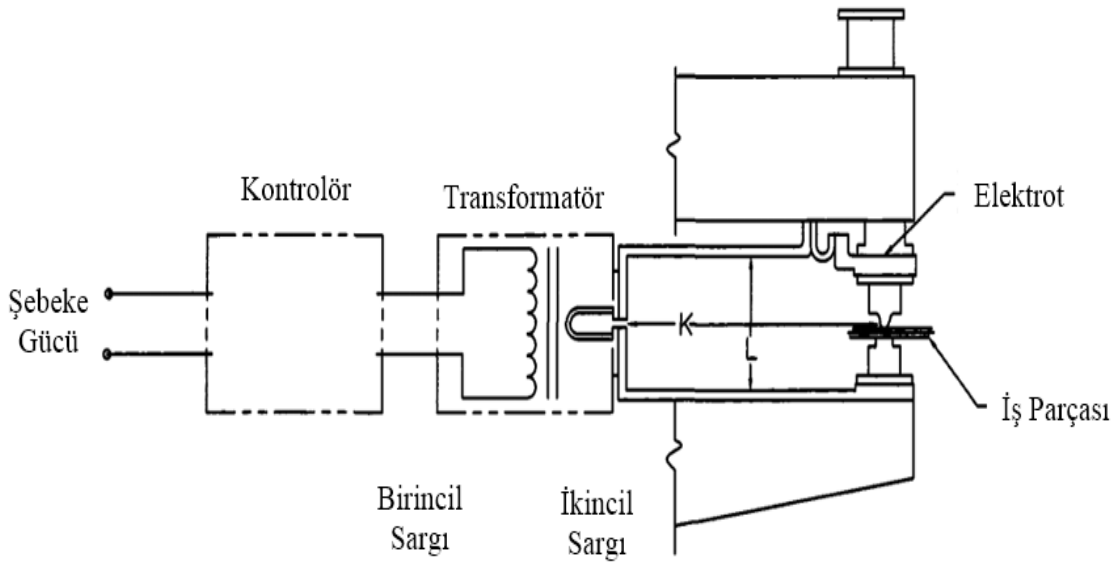
isimlendirilirler. Elektrik direnç nokta kaynak makineleri genel olarak özel imalat uygulamalarında kullanılmak üzere farklı eksen ve yönlerde üretilmeleri nedeniyle tip ve tanımlamalarında farklılıklar söz konusudur. Beş farklı tipte üretilmiş olan elektrik direnç nokta kaynak makinesi çizimleri Şekil 2. 3.'te gösterilmiştir (Zhang ve Senkara, 2011).



Şekil 2. 3. Direnç nokta kaynak makinesi tipleri (a) Külbütör tipi (b) Düz etkili tabanca tipi (c) Dengeleme tabancası tipi (d) Sıkıştırma tabancası tipi ve (e) Ayaklı kaynakçı tipi (Zhang ve Senkara, 2011)

2. 7. Direnç Nokta Kaynağı Makineleri Elektrik Devre Yapısı

Elektrik direnç nokta kaynak makinelerinde kaynak malzemelerinin birleştirilmesi için gerekli olan yüksek kaynak akımı, enerji hattından gelen yüksek gerilimin transformatörler yardımıyla yüksek akım elde edecek şekilde düşük gerilime dönüştürülmesiyle sağlanır (Sarı, 2002). Transformatörler en basit haliyle nüve ve bobinden oluşur. Üzerinde birincil(primer) ve ikincil(sekonder) sargılar bulunur. Sargı sayılarının oranı gerilim oranını belirlemektedir. Yüksek gerilim, primer ve sekonder devrelerin sargı oranları kadar düşük gerilime dönüştürülür. Şekil 2. 4.'te elektrik direnç nokta kaynak makinesinin elektrik devre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2. 4. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi elektrik devre yapısı (RWMA, 2003)

Elektrik direnç kaynak makinelerinde bulunan transformatörlerin birincil sargıları yüksek gerilime tabii olurken ikincil sargıda 2V ila 5V arasında düşük gerilim oluşur. Düşük gerilim akım değerini artırdığı için ikincil sargı devresinde yüksek ısı meydana gelir. Oluşan bu ısıyı ortadan kaldırmak ve sargı devresinin hasar görmesinin önlemek için elektrotlar üzerinden soğutucu su çevrimi yapılır (Akyol, 2001).

2. 8. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Isı Oluşumu

Kaynak yapılacak malzemeler yüzeyleri birbirleri ile temas edecek şekilde alt ve üst çenelerde bulunan elektrotlar arasında sabit bir şekilde tutulur. Elektrotların uyguladığı baskı kuvvetinin yardımı ile birbiri ile temas halindeki kaynak malzemeleri üzerinden elektrik akımı geçirilir. Kaynak malzemelerinin üzerlerinden akım geçirilerek oluşan direnç neticesinde temas eden yüzeylerinde meydana gelen ısı meydana gelir. Isının etkisi ile beraber kaynak malzemelerinin temas yüzeylerinde sıvılaşma oluşur ve üzerinden akım geçen elektrotlar tarafından uygulanan baskı kuvveti ile iki malzemenin birleştirilmesi sağlanır (Ramazani, Mukherjee, Abdurakhmanov, Abbasi, Prahl, 2015). Birbiri ile temas eden kaynak malzemelerinin kaynak yüzeyleri arasında meydana gelen ısı, Joule Teorisi ile açıklanabilir (Denklem 2.1).

$$Q = K \times I^2 \times R_{toplam} \times t \quad (2.1)$$

Q : Oluşan ısı değeri

K : Sabit değer (0,239)

I : Akım değeri

R_{toplam} : Elektrik dirençlerinin toplam değeri (Denklem 2.2)

t : Akımın uygulandığı süre

Denklemde yer alan elektrik dirençlerinin toplam değerinin düşük olması sebebiyle gerekli kaynak ısısının meydana gelmesi için yüksek akıma ihtiyaç duyulmaktadır. Gerekli olan bu akım transformatörden sağlanır.

2. 9. Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Oluşan Dirençler

Elektrik direnç nokta kaynağı ile iki sac levhanın kaynatılması esnasında elektrotlar ve malzemeler arasında teknik olarak 7 farklı direnç meydana geldiği bilinmektedir. Meydana gelen dirençler denklem 2.2’de gösterilmiştir.

$$R_{Toplam} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2.2)$$

R_1 : Üst çenedeki elektrot ile üstteki ana malzeme arasındaki temas direnci

R_2 : Üstteki ana malzemenin direnci

R_3 : Üst ana malzeme ile alt ana malzeme arasındaki temas direnci

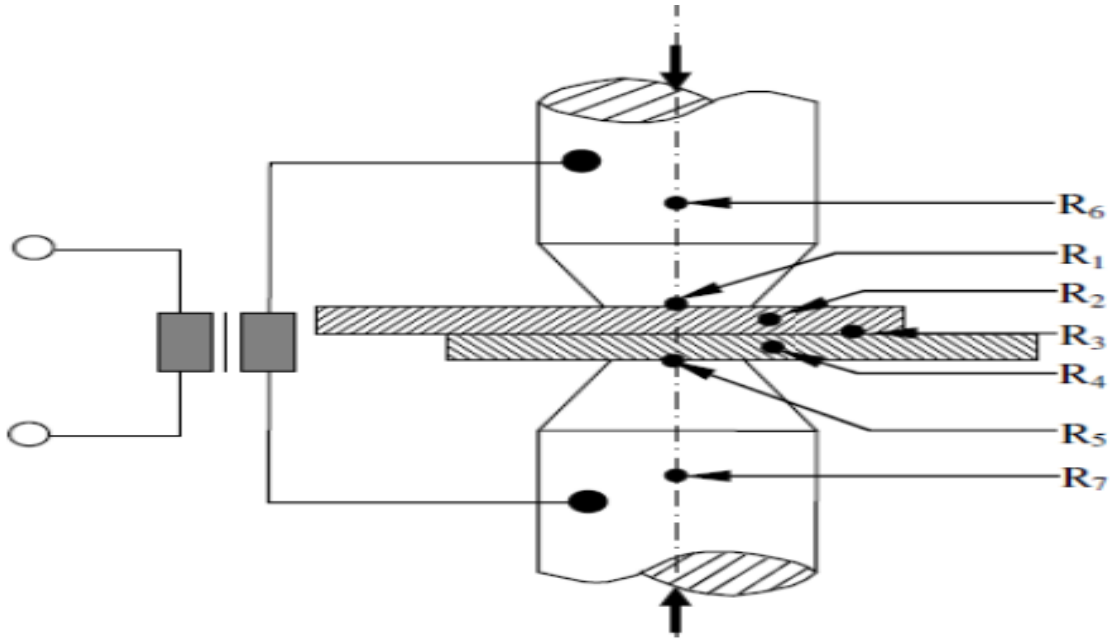
R_4 : Alttaki ana malzemenin direnci

R_5 : Alt çenedeki elektrot ile alttaki ana malzeme arasındaki temas direnci

R_6 : Üst çenedeki elektrotun direnci

R_7 : Alt çenedeki elektrotun direnci

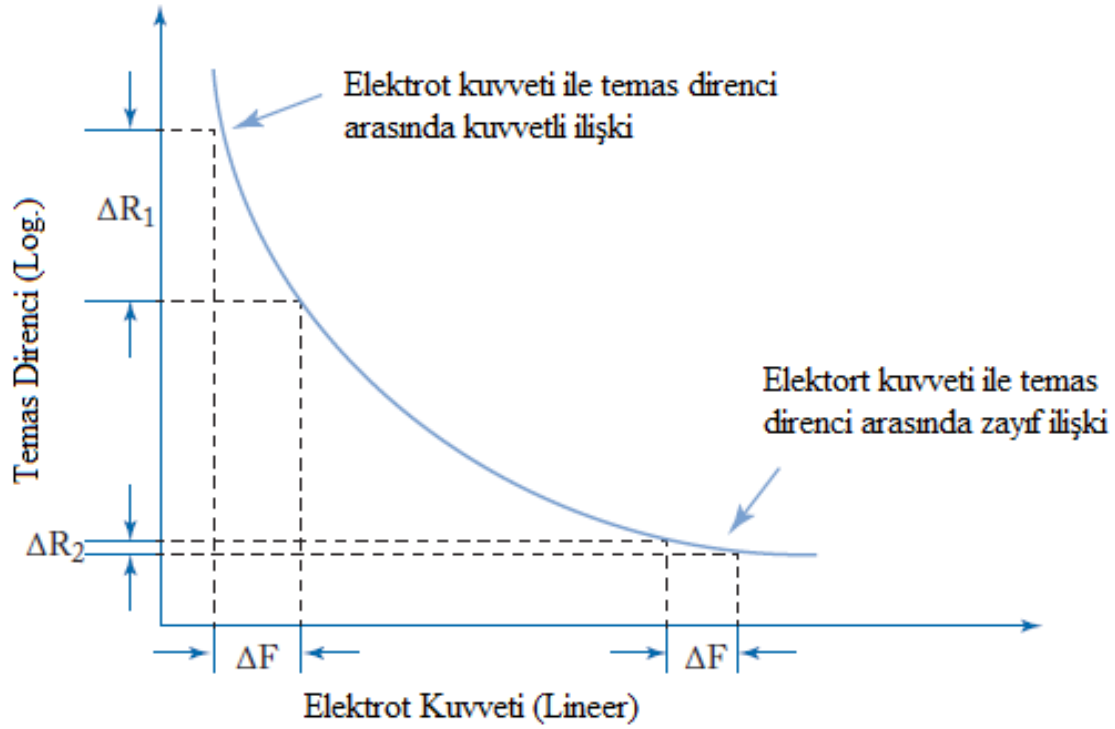
Malzeme direnci, kaynak malzemelerinin fiziksel özellikleri ile ilgili olmasından dolayı değişkenlik göstermez. Temas direnci ise, elektrotların ucu ve kaynak malzemelerinin kaynak yüzeyi ile ilişkili olmasından dolayı farklılık gösterir (Erik 2010). Elektrik direnç nokta kaynak makinesinde kaynak esnasında oluşan dirençler Şekil 2. 5.’te gösterilmiştir.



Şekil 2. 5. Elektrik direnç nokta kaynak makinesinde kaynak esnasında oluşan dirençler (Yürük 2015)

Kaynak malzemelerine akım ve basınç verildikten sonra kaynak malzemeleri arasında meydana gelen R_3 direncinin olduğu temas bölgesi, kaynak malzemelerinin sıvılaşması ile kaynak çekirdeğinin meydana geldiği bölgedir. R_3 direncinin şiddetine bağlı olarak kaynak kabiliyeti orantısal olarak değişiklik gösterir. Bu direncin şiddetinin yeterli seviyede olmaması durumunda kaynak işlemi gerçekleşmez. R_3 temas direnci haricinde elektrotlar ile kaynak malzemeleri arasında meydana gelen tüm dirençlerde, ısının olabildiğince küçük olması istenir. Bundan dolayı kaynak malzemesine uygulanan akım, kaynak süresi ve elektrot baskı kuvveti değerleri iyi seçilmelidir (Oğuz, 2018). Ayrıca elektrotlar ile kaynak malzemesi arasında R_1 ve R_5 temas dirençlerinin oluşturduğu ısıyı düşük tutmak için, ısı iletkenliği iyi olan elektrot kullanımı ve kaynak malzemeleri üzerinde olabilecek pas, yağ, boya gibi elektrik akımının geçmesini engelleyecek tabakaların olmaması gerekir. (Erik, 2010)

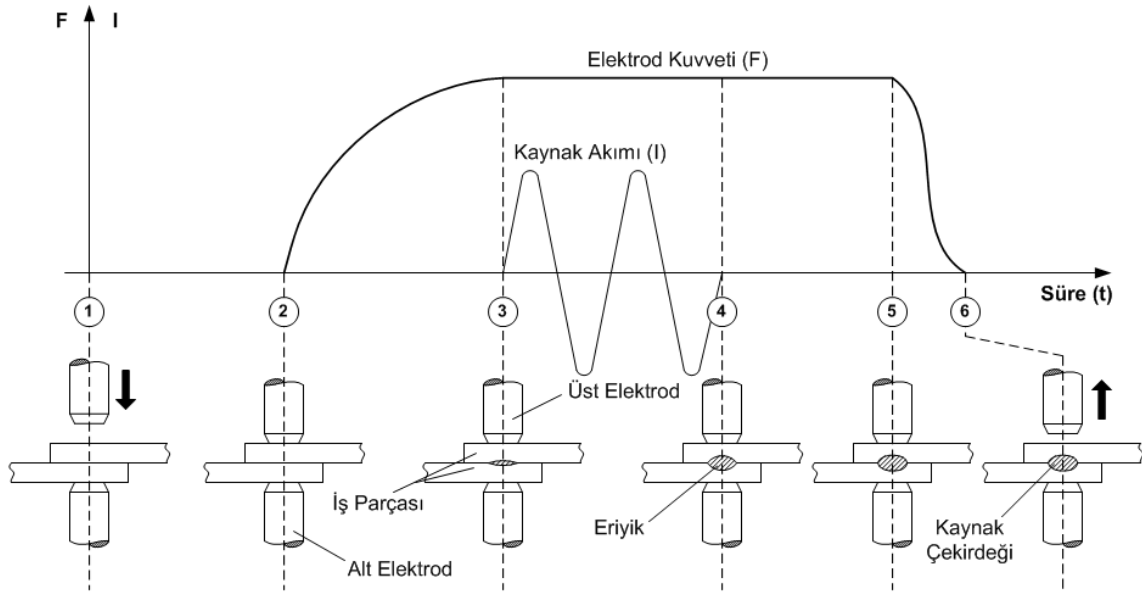
Elektrik direnç nokta kaynağında dikkat edilmesi gereken yer, kaynak malzemeleri arasındaki temas direnci ile uygulanan elektrot kuvveti arasındaki etkileşimdir. Şekil 2. 6.'da, elektrot kuvvetlerinin düşük olduğu anlarda, kuvvetlerde meydana gelebilecek küçük değişikliklerin, temas yüzeylerinde oluşan dirençlerde büyük değişikliklere sebep olacağı görülmektedir. Şekil 2. 6. temas direnci ile elektrot kuvveti arasında oluşan eğriyi göstermektedir.



Şekil 2. 6. Elektrot kuvveti ile temas direnci arasındaki etkileşim (Kimchi ve Phillips, 2017)

2.10. Elektrik Direnç Nokta Kaynak Çevrimi

Elektrik direnç nokta kaynağında kaynak malzemelerinin birleştirilmesi işlemi; yaklaşma, ön tutma, ön ısıtma, kaynaklama, kaynak sonrası tutma ve ayrılma olmak üzere 6 aşamada gerçekleşmektedir. Elektrik direnç nok kaynak çevrim aşamaları Şekil 2. 7.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 7. Elektrik direnç nokta kaynak çevrim aşamaları (Yıldırım, 2010)

1. Yaklaşma: Kaynatılarak birleştirilecek malzemeler, elektrotlar arasına yerleştirildikten sonra elektrotların kaynatılacak malzemelerle temas etmesi sağlanır.
2. Ön tutma: Kaynak malzemeleri, elektrotlar aracılığıyla baskı kuvveti oluşturularak sıkıştırılır.
3. Ön ısıtma: Malzemeler kaynak akımına maruz bırakılmadan önce küçük akım uygulanır.
4. Kaynak: Akım elektrotlardan belirli bir süre geçirilerek kaynak malzemeleri arasında ısı üretimi sağlanır. Akım devam ettiği sürece kaynak malzemeleri arasında sıvılaşma meydana gelir.
5. Kaynak sonrası tutma: Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra kaynak malzemeleri soğumaya bırakılır.
6. Ayrılma: Soğumaya bırakılan kaynak malzemeleri, kaynak birleşim bölgeleri homojen yapıya ulaştıktan sonra elektrotlar bırakılarak malzeme alınır.

Ön ısıtma işleminin amacı kaynak malzemelerinin birleştirilmesi için gerekli olan kaynak akım miktarında azalma sağlanırken aynı zamanda malzemeler arasında oluşan kaynağın da soğuma hızında azalma sağlanır. Ek olarak, bazı imalat işlemlerinde kaynak malzemelerinin kaynak sonrası tanecik yapılarını korumak için tavlama yapılabilir. Bu işlem, kaynak yapılarak birleştirilmiş olan ve halen elektrotlar arasında bulunan malzeme üzerinden düşük miktarda akım geçirilerek gerçekleştirilir (Yuan, Li, Chen, Li, Liang, Pan, 2017; Ramazani ve diğerleri, 2015).

2. 11. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Parametreleri

2. 11. 1. Kaynak akımı

Kaynak için gerekli olan akım, transformatörde gerilimin düşürülmesi ile elde edilir. Oluşan kaynak akımı, transformatör sekonder sargı üzerinden geçerek sargı ile çeneler arasında bağlantıyı sağlayan esnek bantlar, çeneler, elektrotlar ve kaynak malzemesi üzerinden geçer. Kaynak esnasında açığa çıkan ısıнын bir bölümü elektrotlar ve kaynak malzemesi yüzeylerinden iletim, taşınım ve ışıınım yoluyla ortama yayılarak kaybolur (Nêmeček, Mužík, Míšek, 2012).

Bakır malzemenin ısııl iletimi diğer malzemelere oranla daha yüksektir. Bu sebeple kaynak elektrotları bakır alaşımdan imal edilir. Bakırın saf halde yüksek ısıya dayanımı düşük olması sebebiyle kaynak makinelerinde alaşım halinde kullanılır. Çeliğın ısııl iletimi bakıra kıyasla %12'dir. Bakır alaşımlı elektrotlarla yapılan çelik malzemelerin kaynak işleminde, yeterli düzeyde kaynak akımı sağlandığında, kaynak malzemelerinin ara yüzeylerinde oluşan ısı, su ile soğutulan elektrotlara kıyasla daha yavaş dağılmaktadır. Bu nedenle, önce kaynak malzemelerinin ara yüzeyleri ergime sıcaklığına ulaşmakta ve kaynak bu malzemeler arasında meydana gelmektedir (Uijl, Tata Steel, 2010, Marashi, Pouranvari, Amirabdollahian, Abedi, Goodarzi, 2008).

2. 11. 2. Sıçrıntı

Kaynak malzemelerinin birleştirilmesi için kaynak akımına ve elektrot baskı kuvvetine ihtiyaç vardır. Enerji nakil hatlarından gelen yüksek gerilim transformatörlerden geçirilerek düşük değerlerde voltaja dönüştürülmesi ile yüksek değerlerde kaynak akımı

elde edilir. Ancak elektrik direnç nokta kaynak makinesinde üretilen kaynak akımı için de üst sınır vardır. Kaynak işlemi esnasında oluşan kaynak akımı çok yüksek olursa elektrotlar arasında bulunan kaynak malzemesinin tamamı, kaynak noktasının erime sıcaklığına ulaşması sonucunda sıvılaşarak malzemenin akma dayanım sınırı üstünde bulunan plastik deformasyon bölgesine kadar ısınmış olur ve kaynak akımının yanı sıra baskı kuvveti de oluşturan elektrotlar derinlemesine kaynak malzemesine gömülür. Kaynak akımının üst sınırdaki olması elektrot yüzeylerinde aşırı ısınma ve yüzeysel yanmalara sebep olur. Elektrotlar ile kaynak malzemeleri arasındaki temastan malzeme yüzeyinde oluşan sıvılaşma elektrotların kaynak malzemelerine yapışıp tahrip olmasına yol açar. Bu durumda kaynak malzemesi ergime noktasına ulaşacağından sıvılaşarak sıçrantı oluşmasına neden olur. Kaynak akımının üst sınır ve üzerindeki değerlerde, kaynak bölgesindeki ergimiş metal, plakalar arasında oluşan kaynak noktasından dışarı doğru sıçrama yapar. Bu sıçrama, kaynak noktasındaki mukavemetin düşmesine neden olur. Bu durumun oluşmaması için malzemelerin kaynak işlemi yapılırken kaynak akım değeri iyi ayarlanmalıdır. (Uijl, Tata Steel, 2010).

2. 11. 3. Kaynak süresi

Elektrik direnç nokta kaynak makinesinde, kaynak işlemi esnasında kaynak malzemeleri ile elektrotlar arasındaki ısı dağılımı ve dengesi önemlidir. Joule Teorisi formülünde ($Q = K \times I^2 \times R_{toplam} \times t$) kaynak esnasında malzemeye etki eden dirençler toplamının sabit kalması şartıyla, oluşan ısı, kaynak akımının karesi ve kaynak süresi ile doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Oluşan ısı, zamana göre değişmesinden dolayı ideal çekirdeğin oluşabilmesi için gerekli olan süre kaynak akımında değişiklik yapılarak ayarlanabilir.

Kaynak akımının fazla olması halinde kaynak malzemesi yüzeyinde ısı oluşumu hızlı olacağından elektrot temas noktalarında sıvılaşmalar meydana gelecektir. Sıvılaşma neticesinde malzeme yüzeyinde oyuk ve sıçrantılar oluşur. Bu durumu ortadan kaldırmak için elektrot baskı kuvveti artırılarak kaynak süresinin azaltılması gerekir. İdeal kaynak çapına ulaşmak için kaynak akımı ve kaynak süresi arasında ters orantısal değişiklik yapılabilir. Kaynak akımı yüksek ise düşük kaynak süresi veya kaynak akımı düşük ise yüksek kaynak süresi uygulanır. Bu uygulamalardan ilki kısa süreli kaynak işlemi, ikincisi ise uzun süreli kaynak işlemi olarak tanımlanır (Akyol, 2001).

Kısa süreli kaynak işlemi, ısının kaynak malzemesi yüzeyinde belli bir bölgede yoğunlaşması istenilen özel olarak tasarlanmış malzemelerin kaynaklanmasında veya ısı iletkenliği yüksek olan alüminyum ve benzeri malzemelerin kaynaklanmasında tercih edilmektedir. Uzun süreli kaynak işleminde ise, kaynak malzemelerinin kaynak noktaları dışında kalan yüzeylerde ısı birikmesinden dolayı sıcaklık oldukça artar. Artan sıcaklıkla beraber malzemelerin dış yüzeyleri sıvılaşır ve elektrotların malzemeye batması neticesinde derin izler oluşur (Marashi ve diğerleri, 2008).

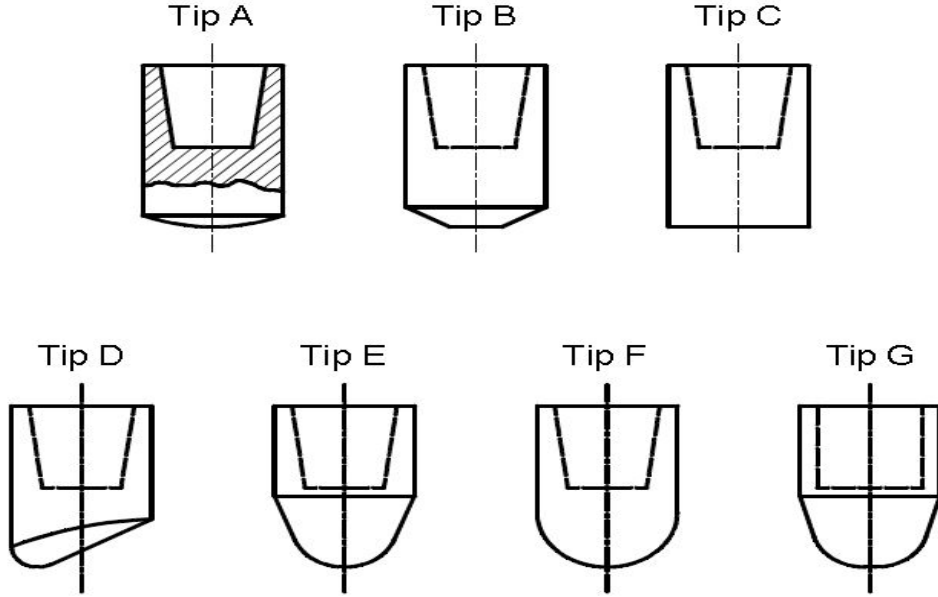
Elektrik direnç nokta kaynak makinelerinde, kaynak süresi, kaynak işlemi tamamlandıktan sonra kaynak bölgesinde oluşan sıcaklığın soğuma hızını da etkiler. Uzun süreli kaynak işleminde, kaynak noktaları dışında kalan yüzeylerde sıcaklığın artması sebebiyle kaynak işlemi tamamlandıktan sonra kaynak malzemesinin soğuma hızı düşer. Bu sebeple, yapısında %0,3 karbon barındıran çeliklerde ani soğuma neticesinde yapısal olarak sertleşme olacağından bu tip çelik malzemelere uzun süreli kaynak işlemi uygulanır. Aynı şekilde sac kalınlığı fazla olan ve elektrotlar ile sıkıştırılması zor olan malzemeler de uzun süreli kaynak işlemine tabi tutulur (Uijl, Tata Steel, 2010).

2. 11. 4. Elektrot malzemeleri ve çeşitleri

İletkenlik seviyesinin diğer malzemelere kıyasla daha yüksek olması sebebiyle elektrik direnç nokta kaynak makinelerinde bakır elektrotlar kullanılmaktadır. Mekanik özelliklerinin iyi iletim açısından iyi olmasına karşın kaynak esnasında oluşan yüksek sıcaklıklara dayanımı düşüktür. Bu sebeple ısıl direncinin artırılması ve sahip olduğu ısı iletkenliği kullanabilmek amacıyla saf bakır farklı malzemelerle alaşım oluşturularak iyileştirilmiştir.

Akım değeri, elektrot baskı kuvveti, kaynak hızı gibi özelliklerin ön plana çıktığı kaynak işlemlerinde bakırın düşük mukavemeti, elektrot malzemesi olarak kullanımına engel oluşturmuştur. Bakırın, kaynak işlemi esnasında kaynak malzemesi üzerine uygulanan dinamik ve statik baskı kuvvetlerine karşı mukavemetinin düşük olması ve düşük sıcaklıklarda yumuşaması gibi olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması için bakır alaşımların geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır (Nemecek ve diğerleri, 2012).

Elektrik direnç nokta kaynak makinelerinde, yukarıda izah edilen durumların önüne geçmek için bakır-krom-zirkonyum alaşımlı elektrotlar kullanılmaya başlanmıştır. Elektrotların şekil ve tipleri, kaynak işleminin gerçekleştirileceği kaynak malzemesinin şekil ve boyutuna göre belirlenmektedir. Elektrot uç çeşitleri Şekil 2. 8.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. TS EN 25822 standardına göre elektrot uç çeşitleri (European Standard, 1999)

Direnç nokta kaynak işlemlerinde tercih edilen elektrot tipleri, kesik koni uçlu (Tip A, B, C ve D) ve küresel (Tip E, F ve G) olanlardır. Kesik koni uçlu elektrotlar, kaynak malzemesine paralel şekilde ve tam bir temas halinde tutunurlar. Kesit olarak köşeli olmaları sebebiyle yüksek akım çekerler. Bunun sonucunda da kısa sürede aşırı ısınma davranışı gösterirler.

Küresel uçlu elektrotların tercih edilmesi durumunda, kaynak esnasında elektrot temas yüzeyinin kaynak malzemelerinin yüzeylerine paralel şekilde ve hassas bir biçimde tutunması istenir. Bu sebeple, küresel uçlu elektrotlar alt çene sabit üst çene hareketli olan elektrik direnç kaynak makinelerinde rahatlıkla ve kolayca kullanılabilir. Bu tip elektrotlar yeterli derecede baskı uygulanarak kullanıldığında düzgün bir nokta kaynak görünümü elde edilir (European Standard, 1999).

2. 11. 5. Elektrot baskı kuvveti

Elektrot baskı kuvveti veya kaynak kuvveti, kaynak malzemelerine kaynak çevrimi boyunca elektrotlar tarafından uygulanan kuvvettir. Elektrik direnç nokta kaynak makinelerinde çenelere sabit olarak konumlanan elektrotların kuvvet değeri, kaynak malzemesine baskı uygulayana kadar statik, kaynak malzemesine baskı uygulamaya başladıktan sonra ise dinamik olarak değerlendirilir. Elektrot baskı kuvveti, elektrik direnç nokta kaynak makinesinin hareketli parçalarının sahip olduğu ataletten ve kaynak malzemeleri ile arasında oluşan sürtünme dirençlerinden etkilenir (Donders ve diğerleri, 2005).

Elektrik direnç nokta kaynak makinelerinde kaynak yapılacak malzemelerin kaynak bölgelerinden kaynak akımının geçişinin sağlanması için sıkı bir şekilde monte edilmesi gerekir. Bu sebeple kaynak malzemeleri yüzeylerinde pas, kir, boya vb. kalıntıların olmaması gerekir. Elektrot baskı kuvvetinin artışı kaynak malzemelerinin temas direncini azaltacağından dolayı kaynak akımı ile kaynayacak olan malzemelerin kaynak bölgesi yüzeyleri arasında oluşan ısının azalmasına neden olur. Bu durumun ortaya çıkmaması için elektrot baskı kuvveti çok yüksek olmamalıdır. Elektrot baskı kuvveti, kaynak makinesinin kaynak akımı ile orantılı olması gerekir. Tekrar kaynak oluşmasını sağlayacak derecede kaynak zamanının uzun şekilde kullanımına imkan vermelidir. Kaynak yapılacak malzemelerin kaynak bölgesi, yüksek değerlerde elektrot kuvvetine maruz kalmadan kaynak işlemini kısa sürede tamamlayacak şekilde konumlandırılmalıdır. Aksi halde kaynak malzemelerinin kaynak bölgesindeki yüzeylerin birbirine teması olmayacak şekilde deformasyon söz konusu ise kaynak işleminin tamamlanması için bu deformasyonu yenmek amacıyla yüksek derecede kuvvet uygulamak gerekebilir. Özellikle preste elde edilmiş parçaların, özel tasarıma sahip sacların veya iş parçasının sahip olduğu kesit kalınlıkları farklı olacağından, bu parçaların kaynak mukavemeti ve kaynak kalitesinde oluşabilecek farklılıklar, kaynak malzemelerinin birbirleri ile temas edecek şekilde bir araya getirilmesinde uygulanan elektrot kuvvetindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu durum özellikle ince taneli yapıya sahip çelik malzemelerin kaynağında ortaya çıkmaktadır. Bu tip çelikler yüksek dayanımın yanı sıra esnek yapıya sahip olmaları sebebiyle elektrik direnç nokta kaynağı yapılırken az karbonlu çeliklere göre daha yüksek elektrot baskı kuvvetine ihtiyaç duyulur. Çoğu zaman kaynak yapılacak malzemeleri birbirlerine temas edecek şekilde tutmak için normalden daha uzun bir sıkıştırma süresine

ihtiyaç duyulur. Bu sıkıştırma çevriminden sonra tutma süresi kaynak yapılan malzemenin katılaşmasına imkan sağlayacak kadar uzun olmalıdır (Akyol, 2001).

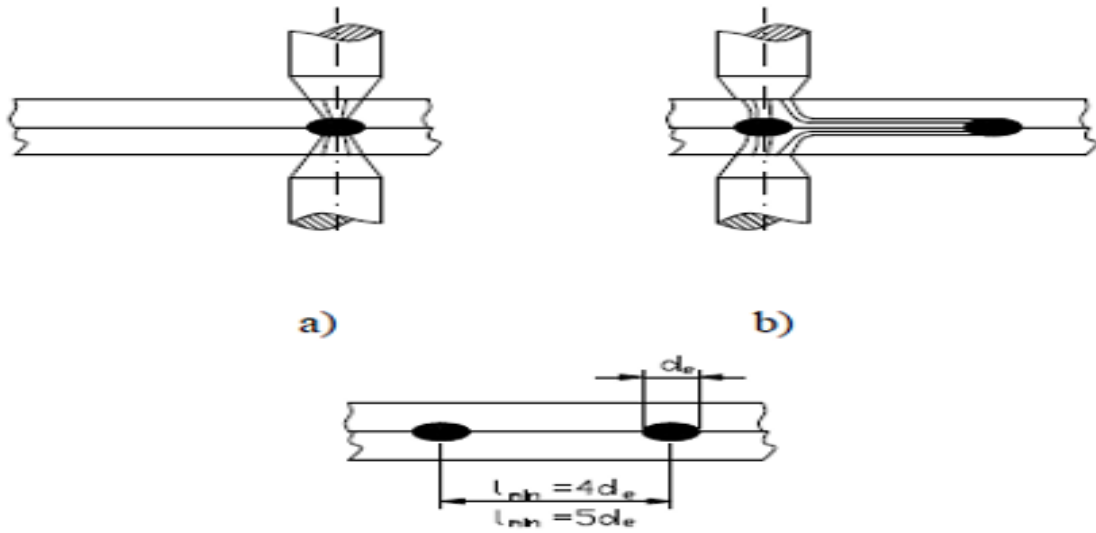
Elektrot baskı kuvveti, kaynak çevriminde yer alan basıncın sağlandığı safha, kaynak işlemi sırasında ve kaynak işlemi bittikten sonra bekleme safhasında önemli rol üstlenmektedir. Kaynak kuvveti, kaynak sırasında üç safhada da önemli bir rol üstlenmektedir. Basıncın sağlandığı safhada, elektrot baskı kuvveti olarak, kaynak malzemeleri arasında ideal bir temas direncinin oluşmasında, aynı şekilde elektrotlar ile kaynak malzemesi arasında da oluşan düşük temas direnci oluşmasında görev yapmaktadır. Bunun yanı sıra kaynak malzemelerinin bir bölgesine baskı uygulayarak o bölgenin kaynak edilmesini sağlamaktadır. Nokta kaynak işlemi sırasında, kaynak akımının etkisi ile malzeme yüzeyinde oluşan yüksek sıcaklık sonucu meydana gelen ve sıçrantaıya sebep olan sıvılaşmış metali katı halde bulunan kaynak çukuru içerisinde baskı altında tutarak bu sıvılaşmış metalin sıçramasını engellemektedir. Bekleme safhasında ise ısı tesiri altındaki bölgede bulunan eriyik metalin sıcak ve sıvı fazdan soğuk ve katı faza geçmesi sırasında, malzemenin içyapısında meydana gelen gerilmeler sebebiyle oluşabilecek çatlak, oyuk ve boşluk gibi deformasyonların oluşumunu baskı kuvveti ile ortadan kaldırmaktadır (Uijl, Tata Steel, 2010).

2. 11. 6. Kaynak noktası sıklığı

Elektrik direnç nokta kaynağı ile yapılan ilk kaynaktan sonra yapılacak olan ikinci kaynak, ilk nokta kaynak bölgesine yakın yapıldığı zaman, ilk kaynak noktası ile ikinci kaynak noktası arasında yeteri kadar mesafe bulunmadığı takdirde, iki kaynak noktası arasında şönt akımı (atlama) meydana gelmesine sebep olur. Kaynak akımı, iki kaynak noktası arasındaki mesafenin direnciyle ters orantılı bir şekilde geçiş yaparken, akım bölünmesi sebebiyle ikinci kaynak noktasında kaynak malzemesinin direnci ile ara yüzey direnci arasında doğru orantısal bir geçiş meydana gelir (Marashi ve diğerleri, 2008). İlk kaynaktan sonraki devam eden kaynaklarda elektrotlar arasında bulunan kaynak malzemesinde bölünmüş devre meydana gelir; akımın bir kısmı kaynak malzemesinden bir önceki nokta kaynağına bölünürken, kalan kısmı devam eden kaynak noktasında bulunan ve elektrotlar arasında yer alan kaynak malzemesinden geçer. İkinci ve sonraki kaynak noktaları önceki kaynak noktasına yeteri kadar uzak mesafede bulunuyorsa, yapılan kaynaklarda kaynak malzemesinden geçen akım miktarı önceki kaynak noktasına olan

mesafeden dolayı aradaki direnç yüksek olacağından meydana gelebilecek şöntleme yok sayılabilir. İlk kaynak noktası ile sonraki kaynak noktası arasındaki mesafe kısa olması durumunda kaynak akımının büyük bir kısmı ilk kaynak noktasına atlar ve meydana gelen şöntleme neticesinde, kaynak noktasının çekirdek çapı ideal boyuta ulaşamaz (Donders ve diğerleri, 2005).

Kaynak malzemeleri üzerinde yapılan kaynak noktaları arasındaki mesafe kaynak çapının en az 4 katı ve üstünde bir değerde olması sağlanırsa, şönt etkisi engellenebilir. İletkenlik düzeyi yüksek olan alüminyum gibi malzemelerin elektrik direnç nokta kaynağı ile yapılacak kaynaklarında şönt etkisini ortadan kaldırmak için iki kaynak noktası arasındaki mesafe en az 8 katı ve üstünde bir değerde olması sağlanabilir (Aktaş, 2008). Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda şönt akımın gösterimi Şekil 2. 9.' da gösterilmiştir.



Şekil 2. 9. Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda şönt akımın gösterimi (Aktaş, 2008)

Kaynak malzemesi üzerinde birden fazla noktasal kaynak uygulandığında, kaynak işlemi esnasında malzeme üzerinden geçen kaynak akımı paralel devre oluşturur. Kaynak akımının bir kısmı malzeme üzerinden önceki kaynağa geçerken, kalan kısmı devam eden kaynak noktası üzerinden elektrotların arasında bulunan malzemedan geçer. İlk kaynak noktası ile ikinci kaynak noktası arasındaki mesafe olması gerekenden yakın ise kaynak akımının büyük bir kısmı ilk kaynak noktasına atlama yapar. Meydana gelen şönt sebebiyle devam eden kaynak noktasında akım düşer ve ideal çekirdek çapına ulaşamaz (Antika 2007).

2. 12. Kullanım Alanları, Avantaj ve Sınırlamalar

2. 12. 1. Kullanım alanları

Elektrik direnç nokta kaynak işlemlerinde, kaynaklı birleştirme işlemi yapılacak malzemeler üst üste gelecek şekilde tasarıma sahip olmaları durumunda ve yapılan kaynaklı birleştirme işlemi sonrası malzemede sızdırmazlık istenmediği durumlarda sac kalınlığı 3 mm' ye kadar olan levhaların kaynaklı birleştirmelerinde kullanımı uygundur. Kaynatılacak parçaların birleştirmelerinde herhangi bir bağlayıcıya gerek duyulmadığı için kaynak yapılma durumu hızlı ve de diğer kaynaklı birleştirmelere nazaran ekonomiktir.

Elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile birleştirme işlemleri otomotiv sanayinde sıkça kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kabin oluşturma, panel radyatör yapımında, mobilya sektöründe, düşük karbonlu çeliklerin kullanıldığı diğer sektörlerde kullanılmaktadır. Isıl geçirgenliği yüksek olan alüminyum, bakır gibi malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinin yanı sıra galvaniz kaplı paslanmaz çelik gibi malzemelerin kaynaklı birleştirme işlemlerinde de kullanımı uygundur. Aynı yapıda iki sac levhanın birleştirme işlemi yapılabilirdiği gibi, farklı yapıdaki sac levhaların da araya ısı iletkenliği yüksek malzemeler konularak kaynaklı birleştirmeleri bu yöntemle mümkün olmaktadır (Uijl, Tata Steel, 2010).

2.12. 2. Avantaj ve sınırlamalar

Elektrik direnç nokta kaynağının pratik ve hızlı olması sebebiyle otomasyona uygun olması, kullanımı için tecrübeye gerek duyulmaması gibi etmenler bu birleştirme yönteminin avantajları arasında sayılabilir. Fabrikasyon işlerinde özellikle montaj hatlarında diğer üretim teknikleriyle uyumlu bir şekilde bağlantı sağlanabilir. Kaynak parametreleri kendi aralarında optimize edilerek daha hızlı ve daha düzgün kaynaklar oluşturulmasına imkan sağlamaktadır (Marashi ve diğerleri, 2008).

Yukarıda bahsedilen avantajların yanı sıra her yöntemde olduğu gibi bu yöntemde kendine özgü kısıtları bulunmaktadır. Bazı kaynak işlemlerinde ark kaynak ile karşılaştırıldığında kullanılan malzeme dikkate alındığında maliyet olarak ark kaynağa göre daha az ekonomiktir (Uijl, Tata Steel, 2010).

3. TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE PARAMETRE OPTİMİZASYONU

3. 1. Taguchi Yöntemi

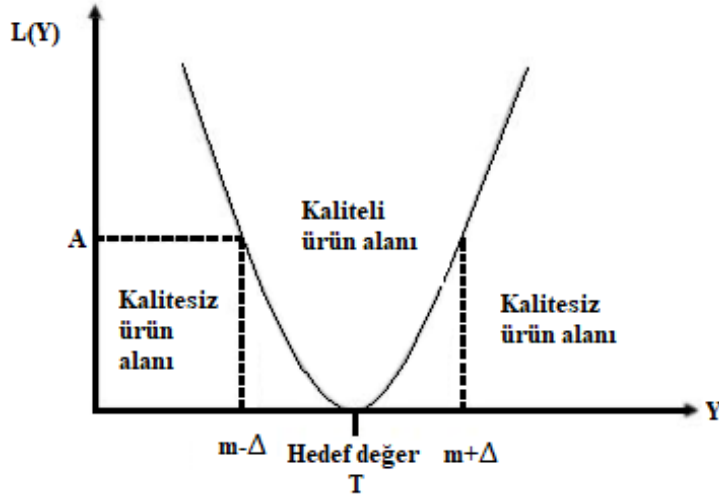
Temelleri ilk kez 1950'li yılların başlarında Dr. Genichi Taguchi tarafından atılan ve Taguchi'nin kendi adı ile anılmaya başlanan kalite mühendisliği yöntemleri, düşük bütçe ile yüksek kalitede sistemler tasarlamak amacıyla ortaya çıkmış olan istatistiksel bir yöntemdir (Thakur, 2010). Bu sistem Doğuda kalite mühendisliği, Batıda ise robust tasarımı olarak adlandırılmaktadır (Sing, Ruxton ve Wang, 2001). Taguchi metodu ile hesaba katılan tüm seviyeler değiştirilerek klasik metodlara kıyasla daha az deney yapılarak sonuca ulaşılmasını sağlar. Klasik yöntemlerle elde edilen sonuçlara, daha kısa sürede ve daha az deney yapılarak ulaşmayı sağlar (Yılmaz ve Keskin, 2019).

Taguchi yöntemi; istenilen ürün kalitesine ulaşmak için parametre tasarımı, tolerans tasarımı ve sistem tasarımı olmak üzere birbiri ile bağlantılı üç metot ile çalışır. Sistem tasarımı, ürünü tasarlarken kullanılan parametrelerin çalışma düzeylerini belirlerken, parametre tasarımı ise üzerinde çalışılan ürünün çalışabileceği en ideal düzeyi belirler. Optimum çalışma aralığı, gürültü faktörleri gibi kontrol edilemeyen etkileri, sistemin ideal araklıkta yüksek performansta çalışması için minimize edecek şekilde tercih edilir (Ross, 2005).

Taguchi yönteminin klasik yöntemlerden farkı ve bu yöntemin en önemli avantajı, sınırları önceden belirlenmiş olan bir çalışmada, sınırlar içerisinde kalan bir değeri belirlemeden ziyade hedeflenen değere en yakın ortalama bir karakteristik değer bularak üzerinde çalışılan ürünün, bu ortalama hedef değerine en yakın ürün olmasını sağlamasıdır. Taguchi yönteminden, üzerinde çalışılan bir ar-ge projesinin kapsamını kısa sürede daraltmak veya ar-ge projesinin var olan sorunlarını üretim safhasında hızlı bir şekilde belirlemede yararlanılabilir (Fraley, Oom, Terrien ve Date, 2006).

Taguchi, ürünün kalite seviyesini, üründen istenen verimin alınamaması, ürünün istenen performansta olmaması gibi etkenlerin yanı sıra ürünü ortaya çıkarmak için harcanan işletme maliyetlerini ve ürün kullanıcısının maruz kaldığı mağduriyetleri de dahil ederek ortaya çıkan bu durumların tamamını toplam kayıp olarak nitelendirir. Tasarlandıktan sonra üretimi sağlanan ürünün kullanıcıya ulaştığı andan itibaren uğrayacağı kaybın en aza

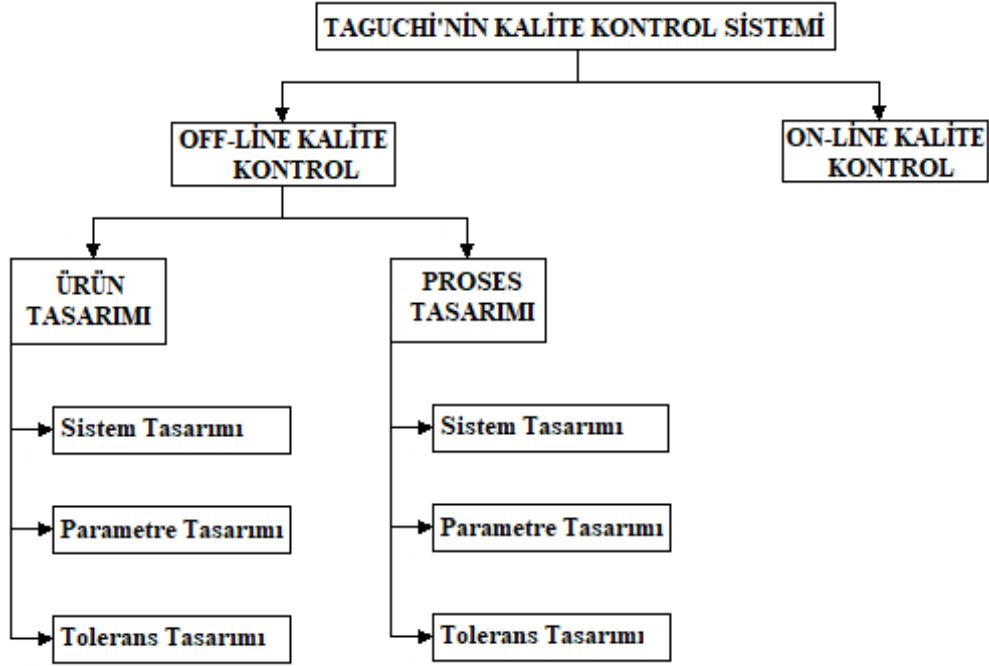
indirilmesi kullanıcıya hitap edecek kalitede ürünlerin ortaya çıkmasını sağlar. Üretim aşamasında ürünlerin çeşitleri ve üretim aşamaları karşılaştırılarak ortaya çıkacak olan kaybın miktarının belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu kayıp miktarı parabolik bir kayıp fonksiyonu ile tespit edilir (Kabaklı, 2009). Taguchi kayıp fonksiyon grafiği şekil 3. 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Taguchi kayıp fonksiyon grafiği (Şirvancı, 1997)

3. 2. Taguchi Kalite Kontrol Sistemi

Taguchi tarafından kalite kontrol sistemleri çevrimdışı (off-line) ve çevrimiçi (on-line) olarak ikiye ayrılmıştır. Taguchi, çevrimdışı kalite kontrol sistimini de kendi içerisinde ürün tasarımı ve proses tasarımı olarak ikiye ayırmıştır (Koral, 2018). Şekil 3. 2.' de Taguchi'nin kalite kontrol sistemi gösterilmiştir. Gösterimden anlaşıldığı üzere kalite kontrol sistemi Taguchi tarafından çevrimdışı kalite kontrol başlığı altında ürün ve proses tasarımı olarak ikiye ayrıldıktan sonra her bir tasarım metodu kendi içinde sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olmak üzere üçe ayrılmıştır (Mercan, 2019).



Şekil 3. 2. Taguchi'nin kalite kontrol sistemi (Şirvancı, 1997)

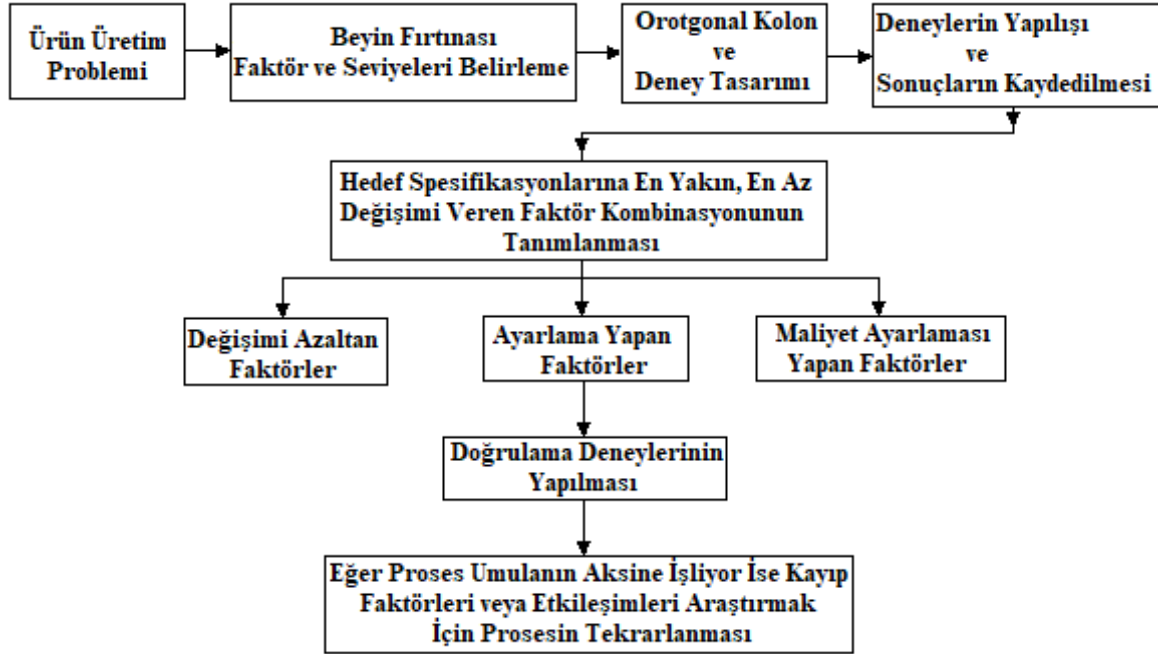
3. 2. 1. Sistem tasarımı

Sistem tasarımı, Taguchi'nin kalite kontrol sisteminde ürün/proses tasarımların ilk adımını oluşturmaktadır. Bu adımda ürün/proses tasarımları üzerine elde edilen tüm veriler, mevcut teknolojiler ve teknolojideki yeni gelişme ve teknikler uygulanarak sistemin çalışabilirliği ve geliştirilebilirliği (Kamber, 2019).

3. 2. 2. Parametre tasarımı

Parametre tasarımı uygulamasında ürün/proses üzerine doğrudan veya dolaylı olarak etki eden bütün etkenler gözden geçirilerek tespit edilir. Sistem üzerine etki eden ve kontrolü sağlanamayan etkenler de tespit edilerek etkilerinin minimum seviyeye indirilmesi hedeflenir. Tasarımda aktif parametrelerin bloklanmasında ortogonal dizilerden faydalanılır. Tüm faktör ve düzeylerin belirlenmesinin ardından ortogonal dizilerden en uygun olanının seçilmesi gerekir. Bu işlemin ardından son olarak sistemin Sinyal/Gürültü (S/N) oranı hesaplanması ile sonuçlar elde edilir (Kamber, 2019). Taguchi yöntemi akış şeması şekil 3. 3.'te gösterilmiştir. Gösterimden anlaşıldığı üzere parametre tasarımında ürün/proses üzerine etki eden faktör ve seviye belirleme, ortogonal dizi vb. etkenlerin

seçimi, sistem akış şemasının ilk adımlarını kapsamaları sebebiyle parametre tasarımında oldukça önemlidir.



Şekil 3. 3. Taguchi yöntemi akış şeması (Mercan, 2019)

3. 2. 3. Tolerans tasarımı

Tolerans tasarımı yapılırken tecrübe ve gözlemlerden faydalanılarak sistemde belirlenen hedef değere göre yapılan hesaplamalarda oluşan sapmalar bulunarak minimize edilir (Kamber, 2019). Tolerans tasarımı hesaplarında üç farklı kalite değişkeninden yararlanılmaktadır.

- 1) En küçük en iyi,
- 2) En büyük en iyi,
- 3) Hedef değer en iyi (Gür ve Kaya, 2017).

3. 3. Ortogonal Diziler

Bu yöntem ile ürün/proses sonuçlarına etkiyen ana faktörler veya kontrol faktörleri sisteme giriş değerleri olarak kaydedilir ve deneyler, tasarımı özel olarak yapılan Ortogonal Dizi (OD)' ye göre yapılır. Ortogonal diziler, sisteme girdi sağlayan parametrelerin değişik varyasyonlarının bir araya gelmesi ile oluşur. Meydana gelen ortogonal diziler, kendi içinde eşel denge fonksiyonu oluşturarak deney sayılarını minimum seviyeye indirmede rol oynarlar (Kackar, 1989).

Orotgonal dizilerde hesaplama yapılırken dizilerin toplam serbestlik seviyesi esas alınır. Parametre grubuna ait serbestlik seviyesi toplamı, tüm parametrelerin ve etkileşimde olduğu faktörlerin ayrı ayrı serbestlik seviyelerinin toplamına eşittir. Deney sayısı toplamı, parametre grubuna ait serbestlik seviyesinin 1 fazlasına eşit olmalıdır (Canıyılmaz ve Kutay, 2003). Serbestlik seviyesi hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

k_A : A faktörünün seviye sayısı ,	V_A : A faktörünün serbestlik seviyesi
k_B : B faktörünün seviye sayısı ,	V_B : B faktörünün serbestlik seviyesi
k_C : C faktörünün seviye sayısı ,	V_C : C faktörünün serbestlik seviyesi

$V_{A * B} = A$ ile B faktörlerinin etkileşiminin serbestlik seviyesi olmak üzere,

$$V_A = (k_A - 1), V_B = (k_B - 1), V_C = (k_C - 1) \quad (3.1)$$

$$V_{A * B} = V_A * V_B = (k_A - 1) * (k_B - 1) \quad (3.2)$$

formülleri ile hesaplanır.

V_T = Dizinin toplam serbestlik seviyesi

N : Dizinin toplam deney sayısı olmak üzere,

$$N = (V_T + 1) \quad (3.3)$$

olur.

3. 4. Sinyal ve Gürültü(S/N) Oranı

Taguchi tasarladığı bu yöntemde deney sayısını azaltmak ve tasarımlardaki performansı artırmayı amaçlamış ve geliştirdiği bu sistemi Sinyal/Gürültü (S/N) oranı olarak adlandırmıştır (Koral, 2018). Deneyde kullanılacak parametreler ortogonal diziler

kullanılarak belirlendikten sonra elde edilen veriler sistem performansını belirlemede kullanılır. Ortogamal diziler kullanılarak elde edilen bu veriler, seçilen parametrelerin deneye etkisini saptama ve en ideal parametrelerin belirlenmesi için değerlendirilir. Taguchi, yaptığı deneylerde performans seviyesini belirlemek için S/N oranı hesap yöntemini tercih etmiştir (Byrne ve Taguchi, 1987). Bu yöntemde, Sinyal (S), hesaplamaların son halini temsil ederken, Gürültü (N) ise hesaplamalar neticesinde elde edilen Sinyal'e negatif şekilde etki eden tüm değerleri içine almaktadır. Hesaplanan Gürültü (N) çıktıları, doğrudan üretimden kaynaklanan veya dış etmenlerden kaynaklanan unsurlardan meydana gelmektedir (Yanar, 2008).

Genel itibariyle bu yöntem dışında yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin incelenmesinde standart sapmadan yararlanılırken, Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan deneylerde S/N oranı kullanılarak sonuçlar değerlendirilmektedir. Standart sapma ile Taguchi yönteminde kullanılan (S/N) oranı yöntemleri arasında varyasyon farkı söz konusudur. Standart sapma uygulamasında genel ortalama azaldıkça standart sapma oranı da azalırken, genel ortalama arttıkça standart sapma oranı da artmaktadır. Taguchi yönteminde uygulanan S/N oranı, deneylerde elde edilen verilerin ortalamasını baz alırken, standart sapmada hesaplanan en düşük parametre seviyesinin kombinasyonunu gösterir (Dehnad, 2012).

4. MATERİYAL METOT

4. 1. Giriş

Bu çalışmada otomotiv sektöründe de sıkça kullanılan 304 kalite paslanmaz çelik sac farklı kalınlıklarda ve farklı sürelerde direnç nokta kaynağı kullanılarak düşey, yatay ve baklava dilim olmak üzere farklı desenler elde edilmiştir. Kaynak akım şiddeti ve elektrot baskı kuvveti sabit tutularak kaynak zamanı değişken olarak seçilmiştir. Elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile elde edilen malzemeler çekme dayanım testine tabi tutulmuş ve farklı kalınlıklara sahip sac levhalarda farklı sürelerde elde edilen kaynak desenlerine ait kaynak dayanımları tespit edilmiştir. Sonrasında elde edilen kaynak dayanımları taguchi metodu kullanılarak en düşük ve en yüksek kaynak dayanımına sahip kaynaklı malzeme belirlenmiştir.

4. 2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Çalışmada 304 kalite paslanmaz çelik sac kullanılmıştır. Kullanılan 304 kalite çelik sac EN norm standartlarında X5CrNi18-10 veya 1.4301 kodları ile adlandırılırlar. Otomotiv sanayinde ve diğer sanayi alanlarında kolay temin edilmesi, kaynak kabiliyetinin iyi olması, kolay şekil verilebilmesi gibi üstün yetenekleri olması sebebi ile sıkça kullanılırlar. Yapısında nikel içermemesi sebebiyle mıknatıslanma özelliği bulunmamaktadır. Ostenitik paslanmaz çelik grubunda yer alır ve korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Çizelge 4. 1. ve Çizelge 4. 2.'de 304 kalite paslanmaz çelik sacın spektral ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4. 1. 304 Kalite paslanmaz çelik spektral analiz değerleri

KALİTE	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
304(1.4301 veya X5CrNi18-10)	%0.08 max	%2.0 max	%0.045 max	%0.03 max	%0.75 max	%18-20	%8-10

Çizelge 4. 2. 304 Kalite paslanmaz çelik mekanik özellikleri

	AKMA (N/mm ²)	MUKAVEMETİ	KOPMA (N/mm ²)	MUKAVEMETİ
304(1.4301 veya X5CrNi18-10)	210 (min)		515 - 720	

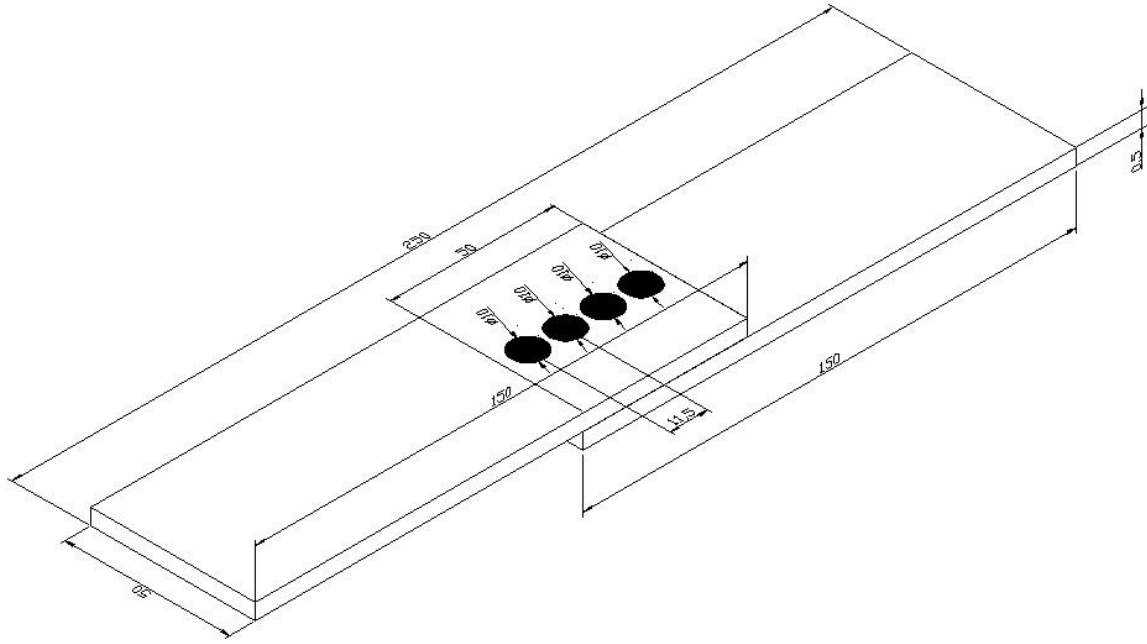
4. 3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Çalışma kapsamında 2500x2000 mm ebatlarında paslanmaz çelik sac levhalardan bilgisayar kontrollü giyotin tezgah kullanılarak 0.5x50x150 mm, 0.7x50x150 mm ve 0.8x50x150 mm ebatlarında plakalar hazırlanmıştır. Her bir plaka ikilisinden; her bir desen için 3'er adet, her bir kalınlık için 3'er adet ve her bir zaman için 3'er adet olmak üzere 9'ar adet sac levha ikilisi kullanılmıştır. Deneylerde net sonuçlar elde etmek için üçerli tekrar yapılmıştır. Bu sebeple deney, toplamda 27 adet sac levha ikilisi kullanılarak tamamlanmıştır. Deney saclarının yüzeyleri kir, yağ vb. kaynaklı birleştirmeye engel teşkil edebilecek olumsuzluklara karşın aseton ile temizlenmiştir. Sonrasında her paslanmaz çelik sac ikilisi 50 mm mesafede alın altına getirilerek yatay, düşey ve baklava desen formunda kaynatılmıştır. Yatay ve düşey noktasal kaynaklı birleştirmede her bir nokta kaynağın arasındaki mesafe kaynak merkezleri arası 11.5 mm olacak şekilde kaynaklı birleştirme yapılmıştır. Kaynak noktalarının kaynak saclarının birleşim alanını ortalayacak şekilde elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneyde kullanılan faktörler Çizelge 4. 3.'te gösterilmiştir.

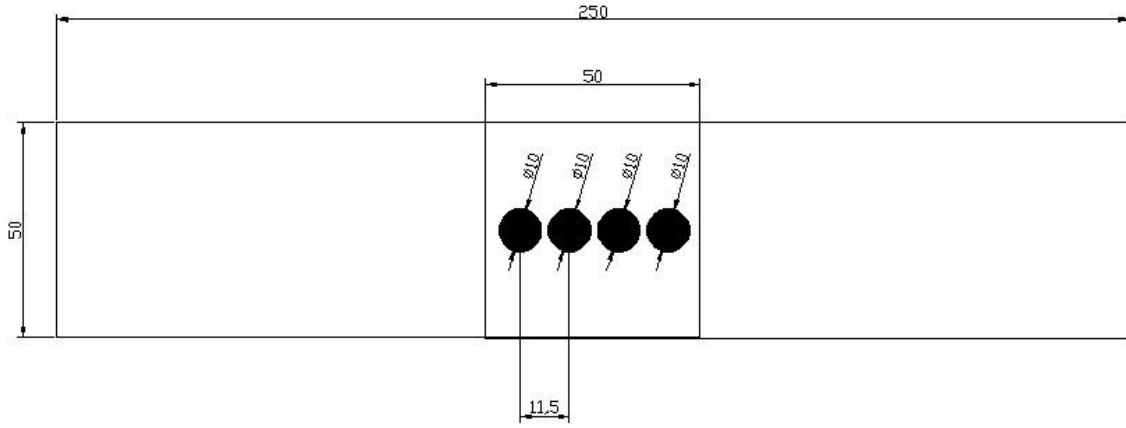
Çizelge 4. 3. Kaynak parametrelerine etkiyen faktörler

	SEVİYE								
PARAMETRELER	DÜŞÜK-ORTA-YÜKSEK			DÜŞÜK-ORTA-YÜKSEK			DÜŞÜK-ORTA-YÜKSEK		
DESEN	BAKLAVA			DÜŞEY			YATAY		
KALINLIK (mm)	0.5	0.7	0.8	0.5	0.7	0.8	0.5	0.7	0.8
SÜRE (sn)	2	4	6	2	4	6	2	4	6

0.5 mm kalınlığındaki paslanmaz elik saclardan elektrik direnç nokta kaynak makinesinde elde edilen düşey desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş rneği şekil 4. 1., şekil 4. 2., şekil 4. 3.'de; 0.7 mm kalınlığındaki düşey desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş rneği şekil 4. 4., şekil 4. 5., şekil 4. 6.'de; 0.8 mm kalınlığındaki düşey desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş rneği şekil 4. 7., şekil 4. 8., şekil 4. 9.'de gösterilmiştir. 0.5 mm kalınlığındaki paslanmaz elik saclardan elektrik direnç nokta kaynak makinesinde elde edilen yatay desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş rneği şekil 4. 10., şekil 4. 11., şekil 4. 12.'de; 0.7 mm kalınlığındaki yatay desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş rneği şekil 4. 13., şekil 4. 14., şekil 4. 15. 'de ve 0.8 mm kalınlığındaki yatay desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş rneği şekil 4. 16., şekil 4. 17., şekil 4. 18.'de gösterilmiştir.



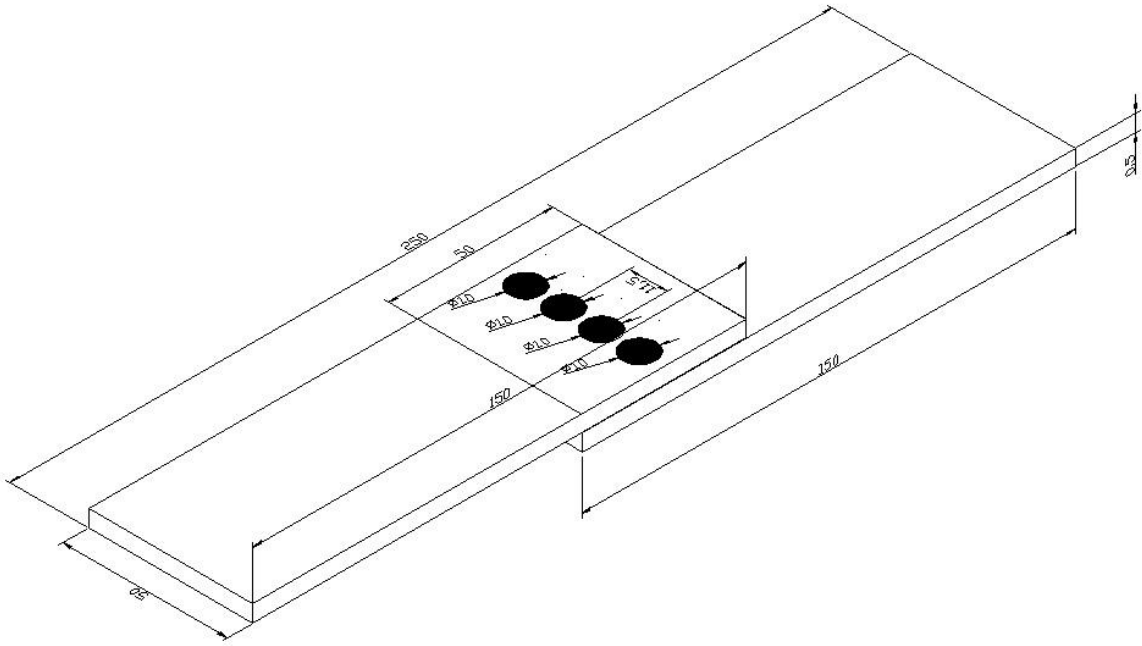
şekil 4. 1. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz elik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü



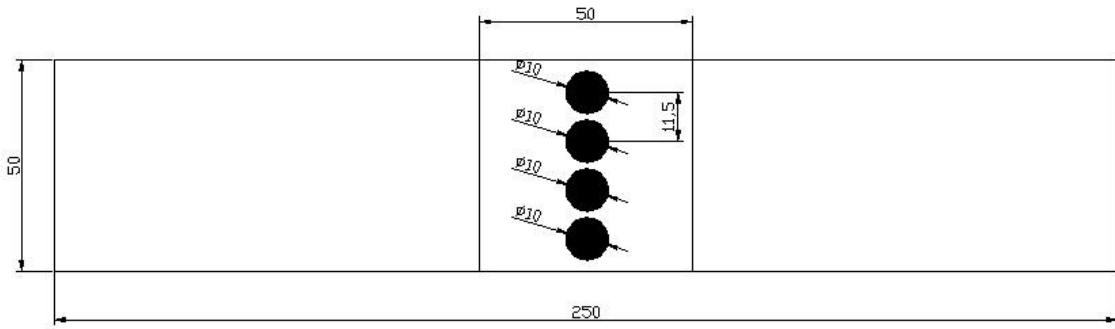
Şekil 4. 2. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü



Şekil 4. 3. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği



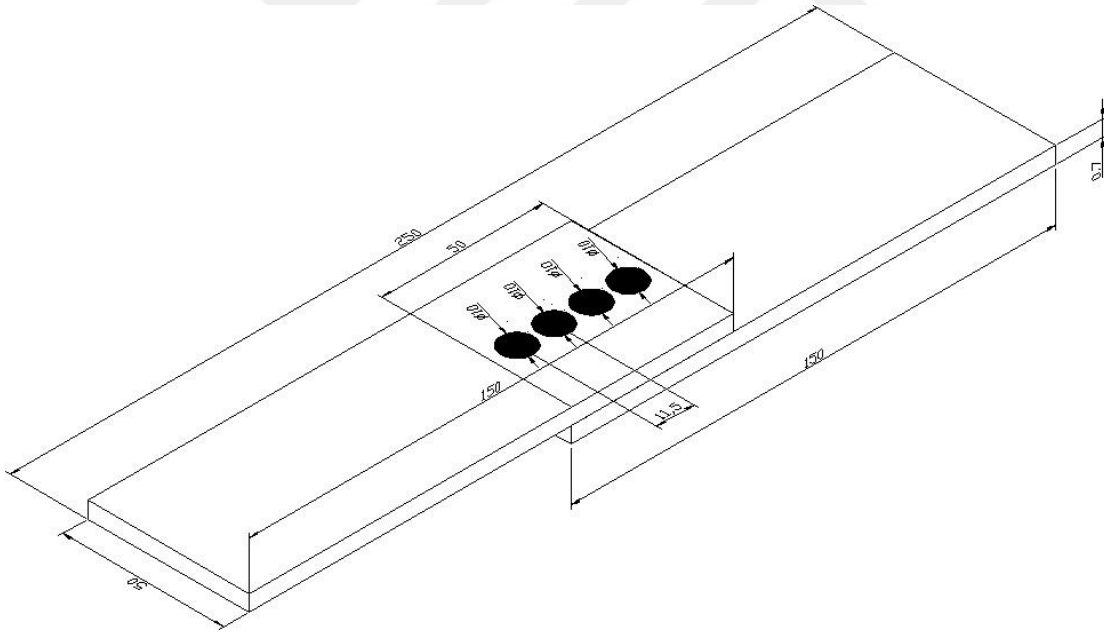
Şekil 4. 4. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü



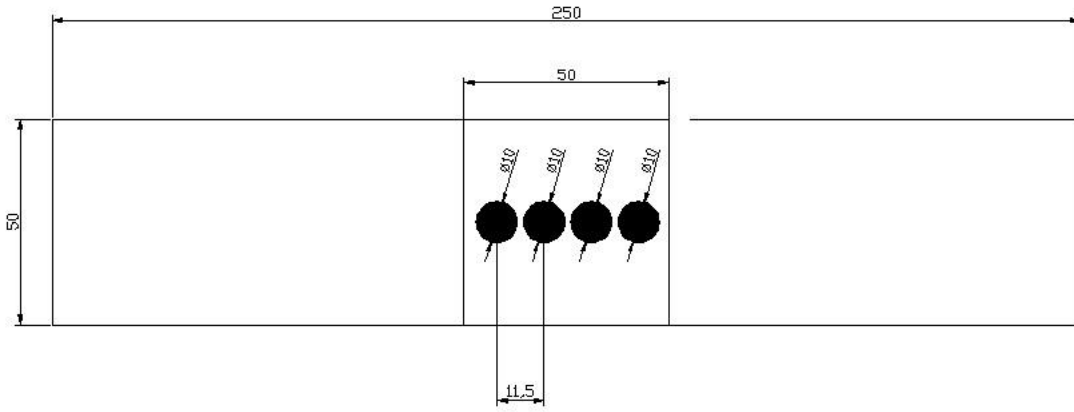
Şekil 4. 5. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü



Şekil 4. 6. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği



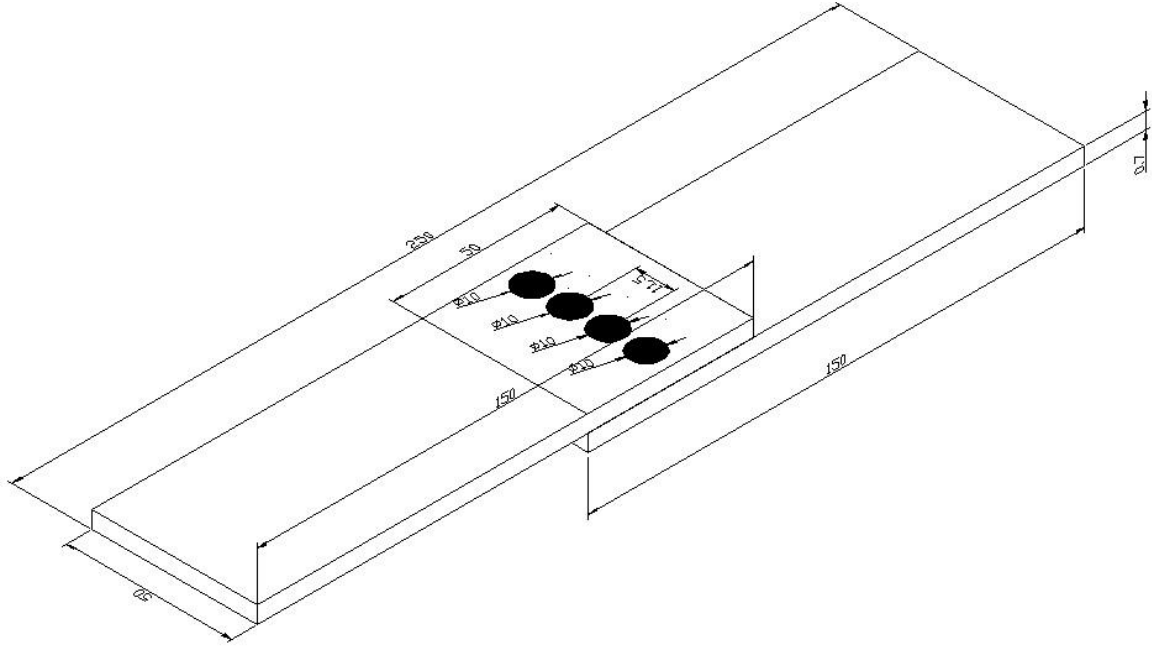
Şekil 4. 7. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü



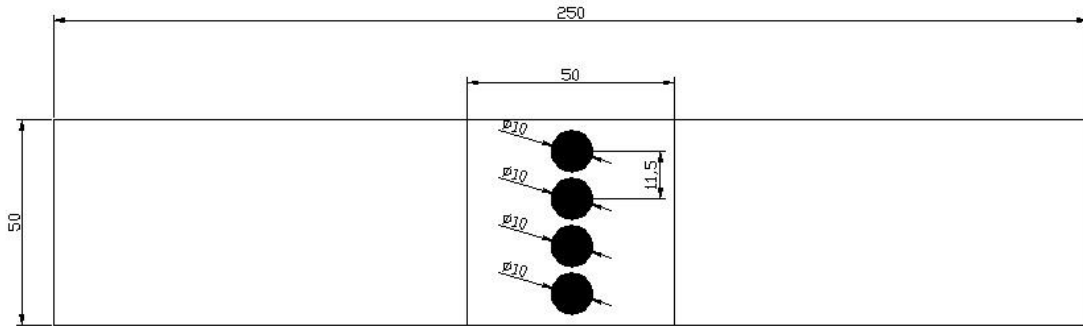
Şekil 4. 8. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü



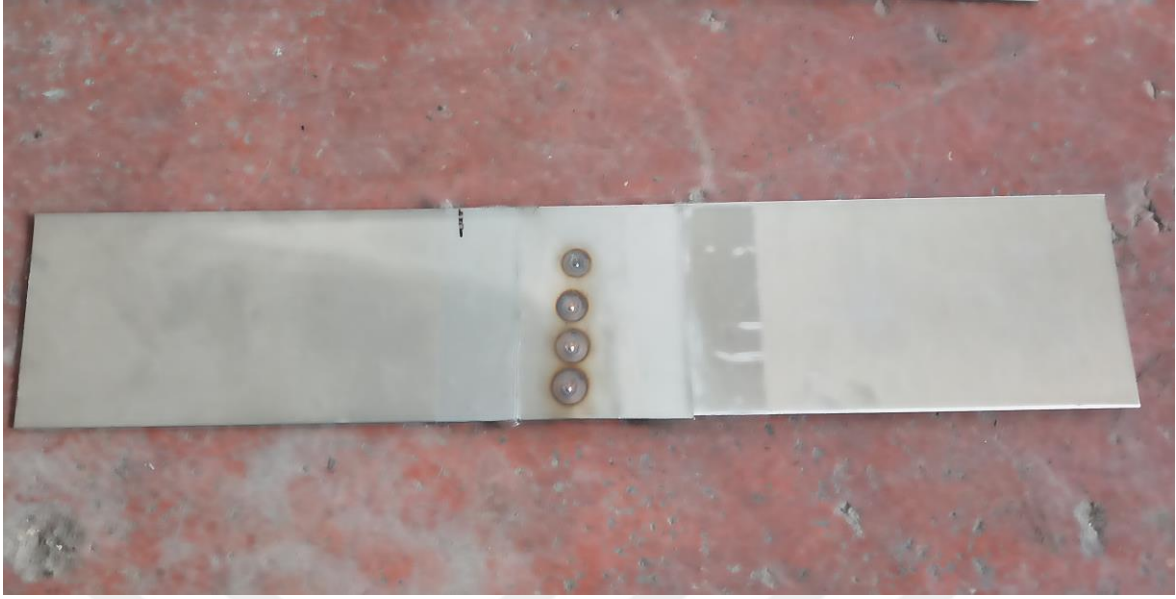
Şekil 4. 9. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği



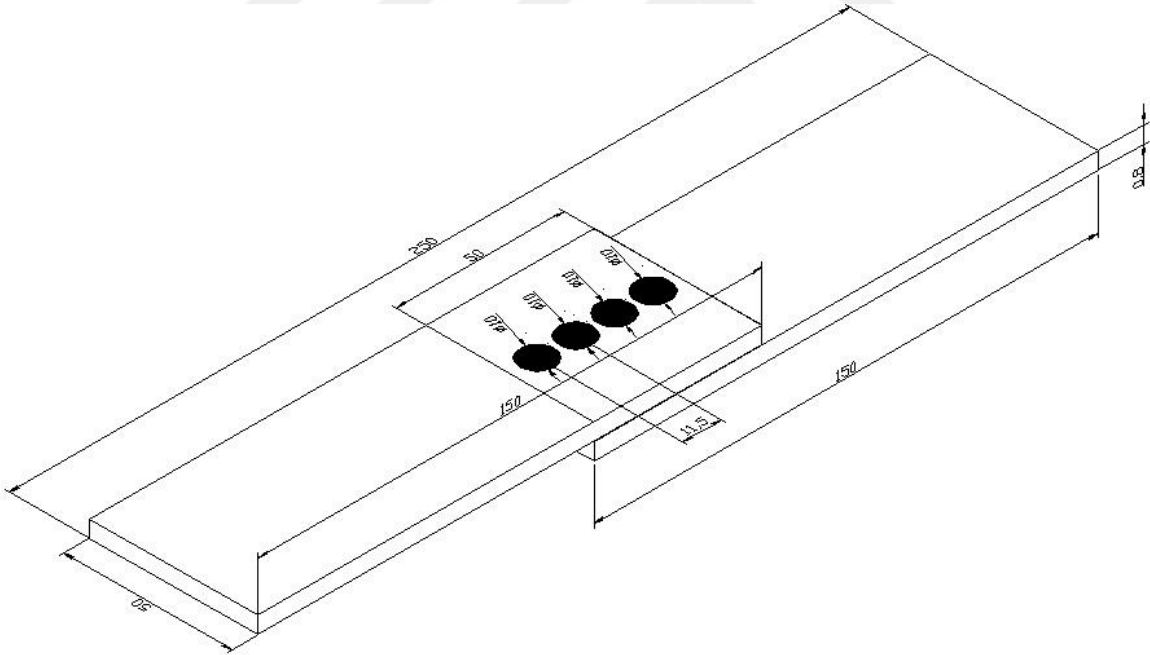
Şekil 4. 10. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü



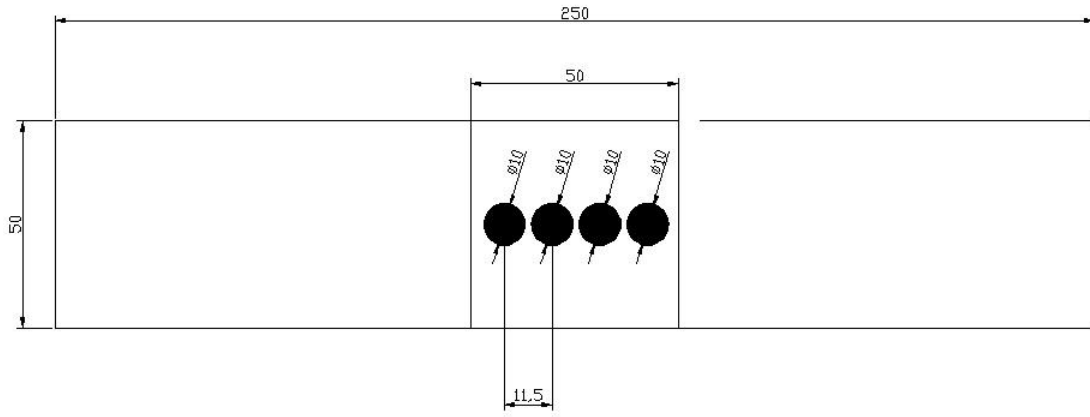
Şekil 4. 11. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü



Şekil 4. 12. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği



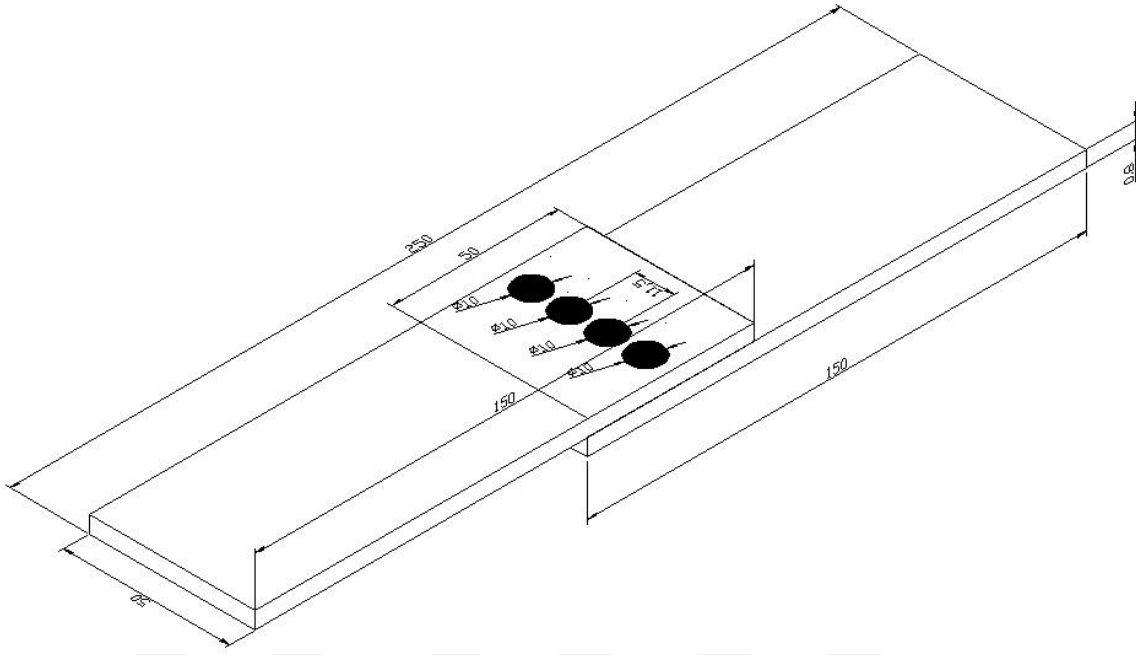
Şekil 4. 13. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü



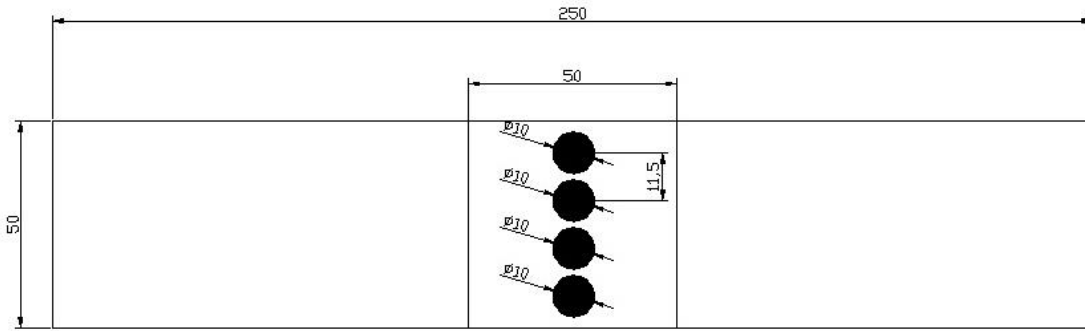
Şekil 4. 14. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü



Şekil 4. 15. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların düşey desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği



Şekil 4. 16. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü

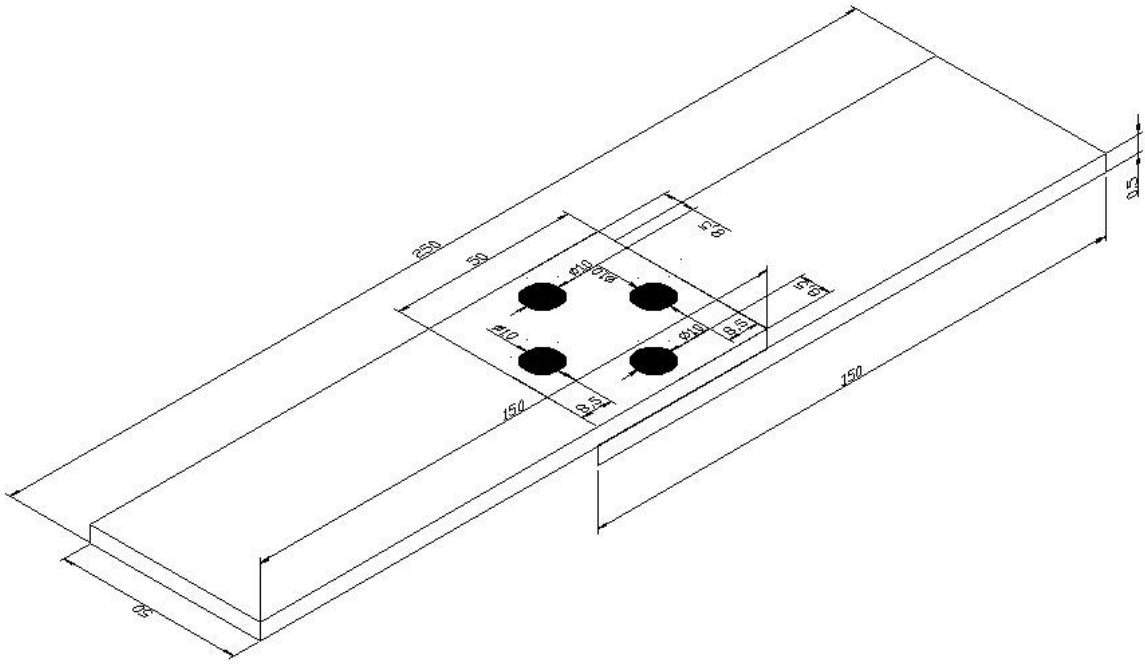


Şekil 4. 17. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü

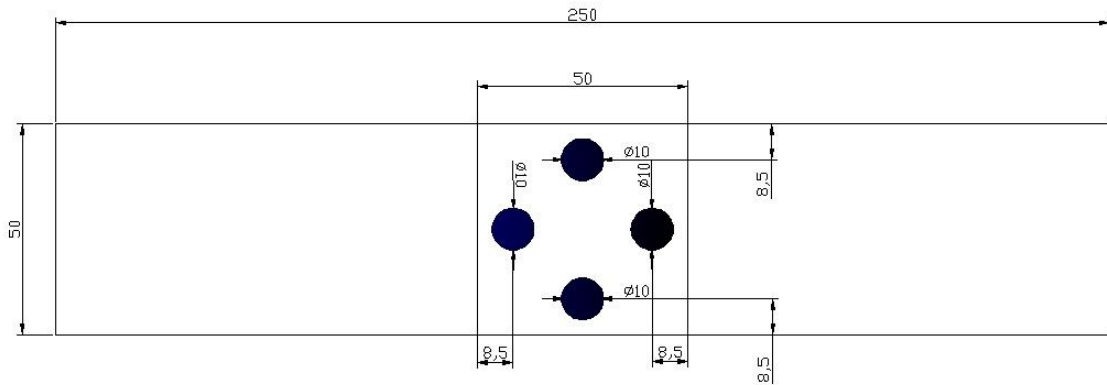


Şekil 4. 18. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların yatay desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği

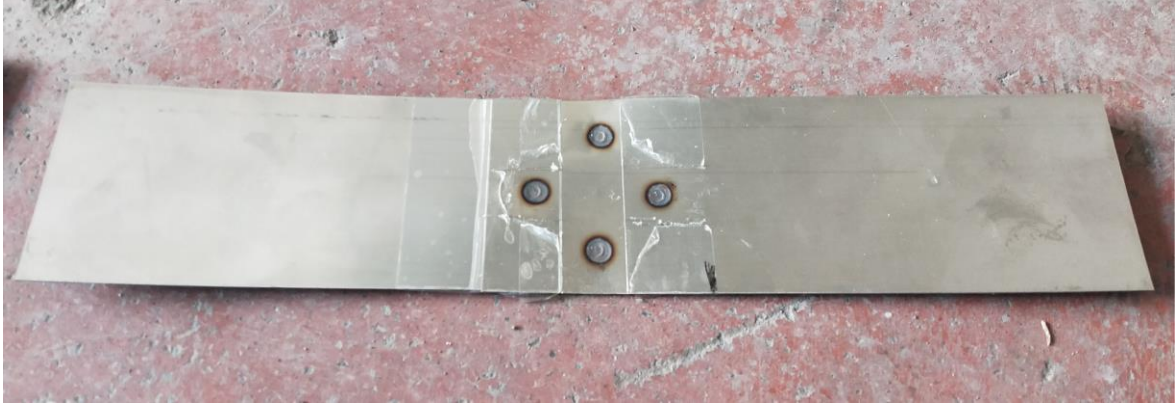
Baklava deseni için de kaynak saclarının birleştirme alanlarının kenar noktalarına kaynak noktalarının merkezlerinden 8.5 mm mesafede olacak şekilde ve kaynaklı birleştirme alanını hem yatayda hem de düşeyde merkezleyecek şekilde kaynaklı birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. 0.5 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik saclardan elektrik direnç nokta kaynak makinesinde elde edilen baklava desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş örneği şekil 4. 19., şekil 4. 20., şekil 4. 21.'de; 0.7 mm kalınlığındaki baklava desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş örneği şekil 4. 22., şekil 4. 23., şekil 4. 24.'de; 0.8 mm kalınlığındaki baklava desenli deney numunelerinin ölçüleri ve kaynaklı birleştirilmiş örneği şekil 4. 25., şekil 4. 26., şekil 4. 27.'de gösterilmiştir.



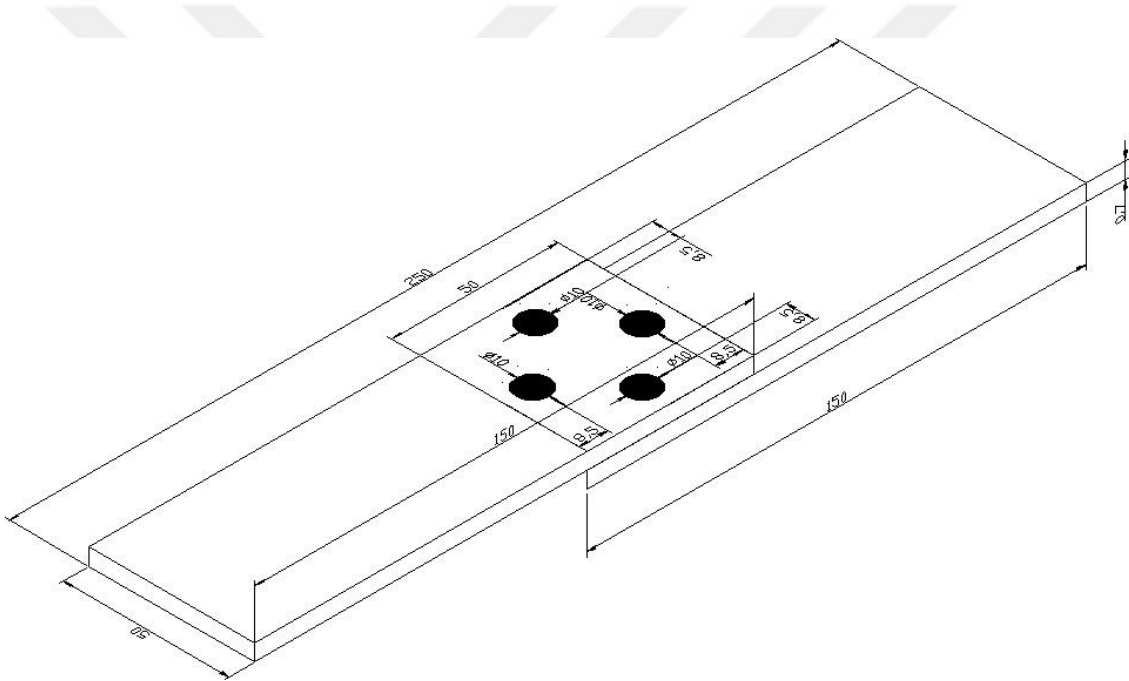
Şekil 4. 19. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü



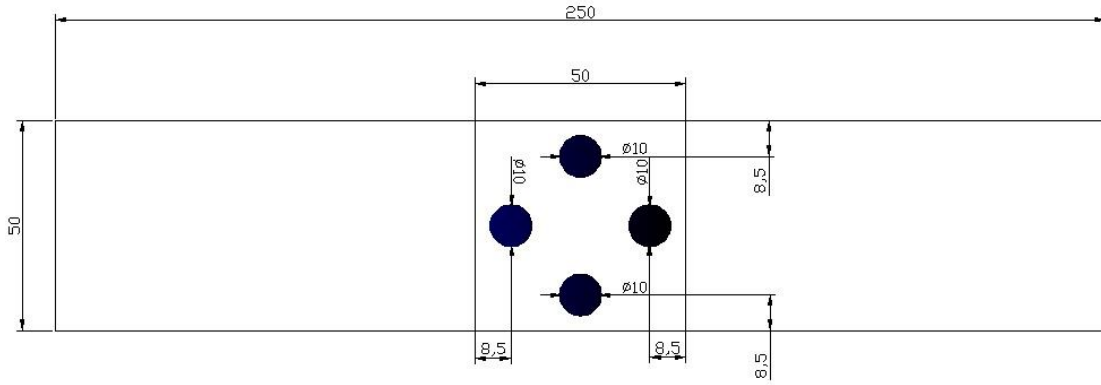
Şekil 4. 20. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü



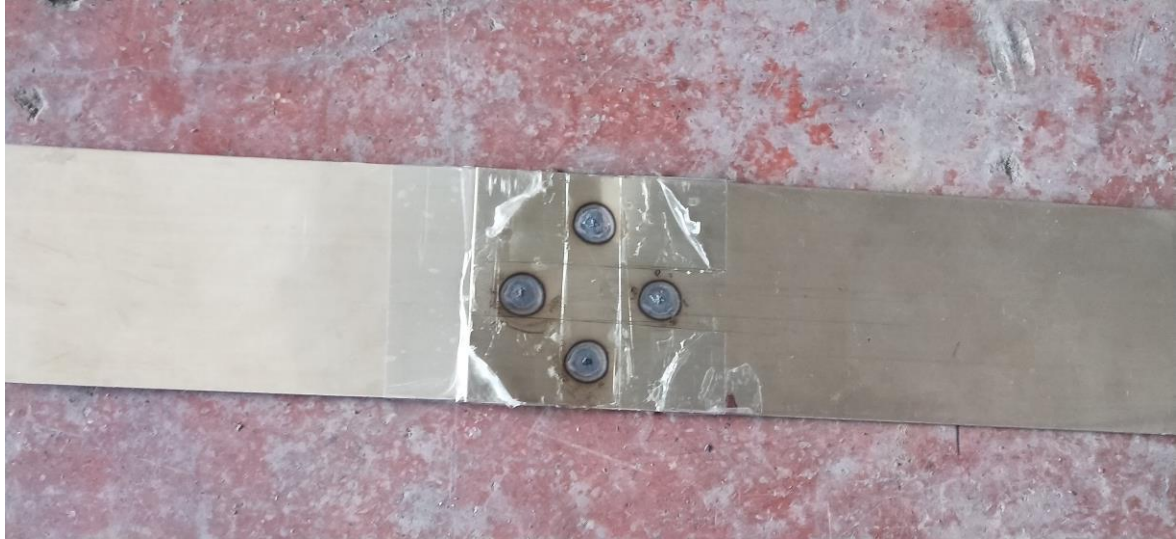
Şekil 4. 21. 0.5 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği



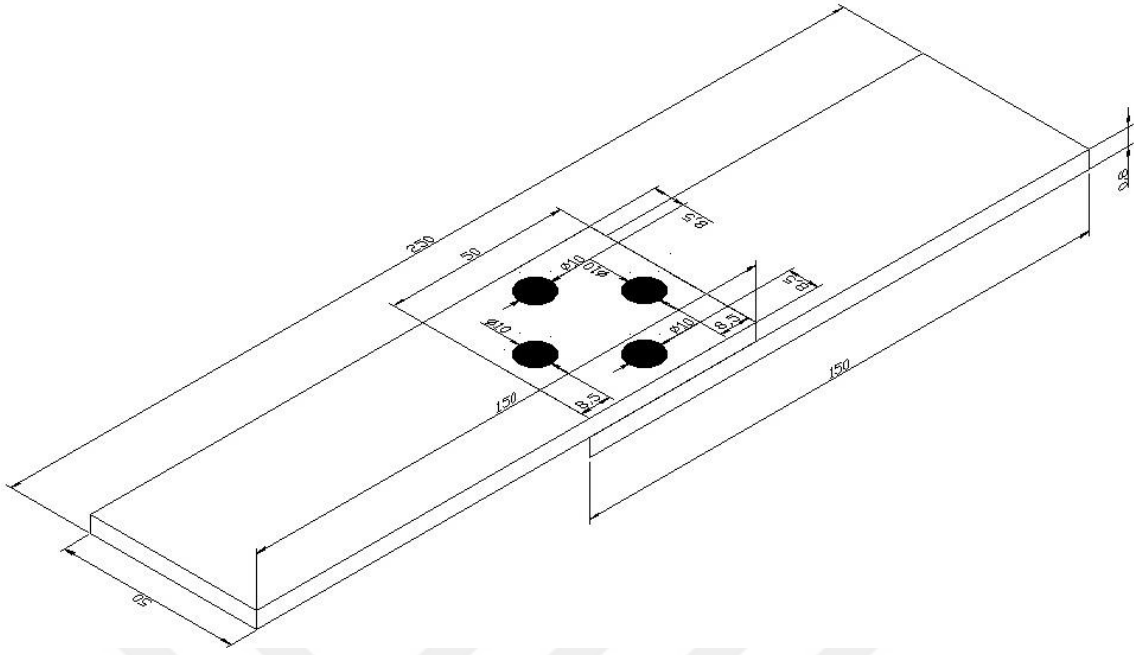
Şekil 4. 22. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü



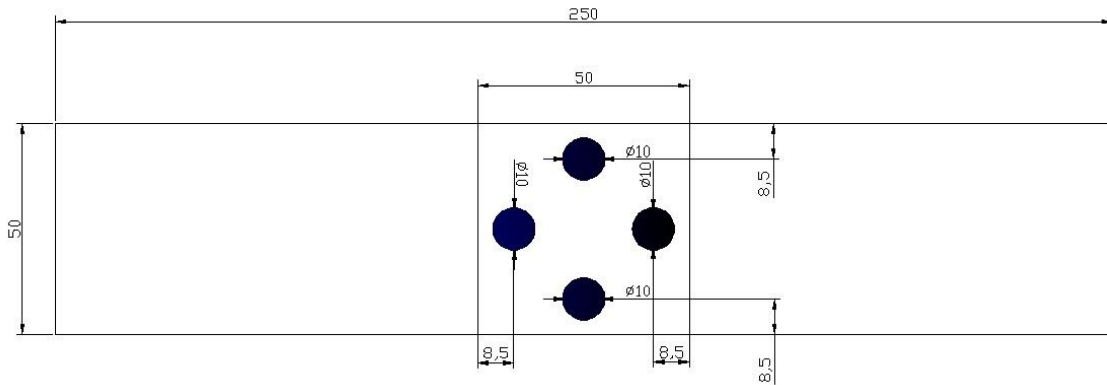
Şekil 4. 23. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü



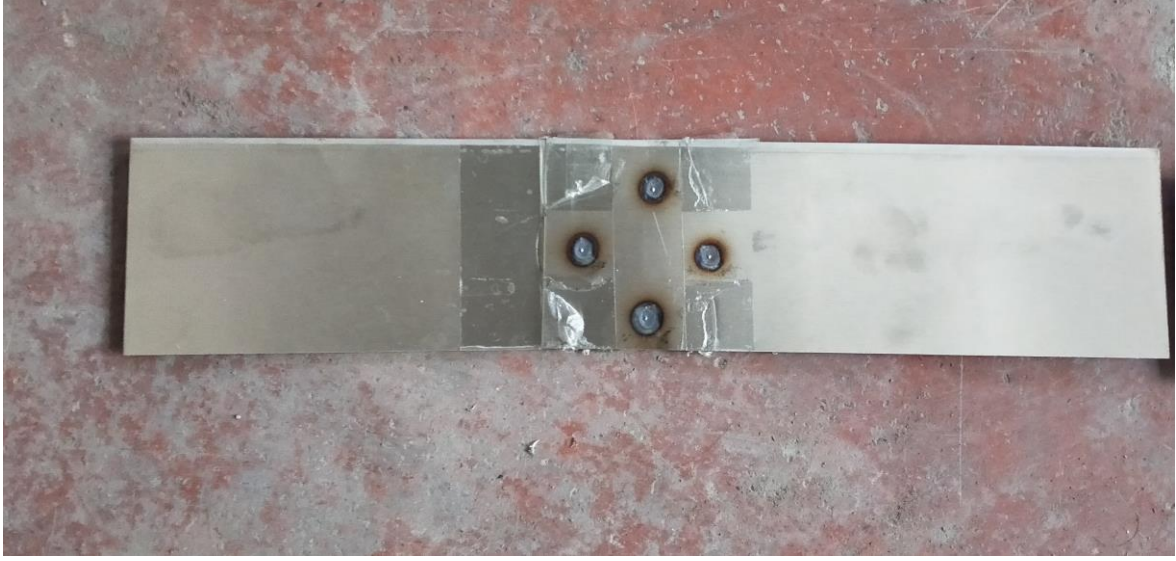
Şekil 4. 24. 0.7 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği



Şekil 4. 25. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri perspektif görünümü



Şekil 4. 26. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirme ölçüleri üstten görünümü



Şekil 4. 27. 0.8 mm kalınlıktaki paslanmaz çelik sac levhaların baklava desenli kaynaklı birleştirilmiş örneği

4. 4. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makinesi

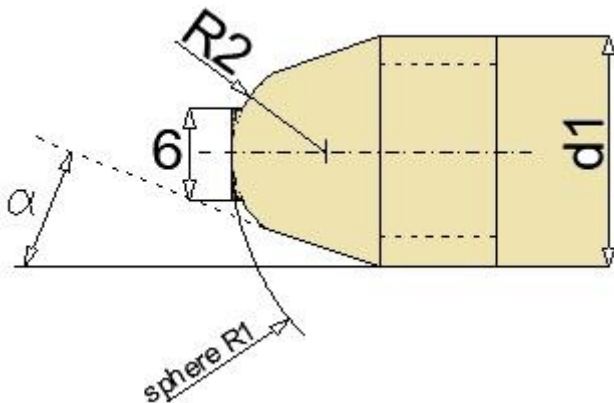
Bu çalışmada şebeke gerilimi 220-380 V, 2 fazlı ve 2+2 mm kalınlığa kadar kaynak kabiliyeti olan 11kVA gücünde, bakır uçlu elektrotla sahip su soğutmalı direnç nokta kaynağı kullanılmıştır. Deneyler esnasında kaynak akım şiddeti ve kaynak elektrot baskı kuvveti parametreleri kaynak makinesi donanımları kullanılarak sabit tutulmuştur. Kaynaklı birleştirme işlemlerinde kaynak zamanı parametresi değişken olarak kullanılmıştır. Farklı sac kalınlıkları ve farklı desenlerde elde edilen deney numune çiftleri her bir sac kalınlığı ve oluşturulan her bir desen için 2 saniye, 4 saniye ve 6 saniye sürelerde kaynaklı birleştirme işlemine tabi tutulmuşlardır. Kaynak için kullanılan su soğutmalı elektrik direnç nokta kaynağı Şekil 4. 28.' de gösterilmiştir.



Şekil 4. 28. Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi

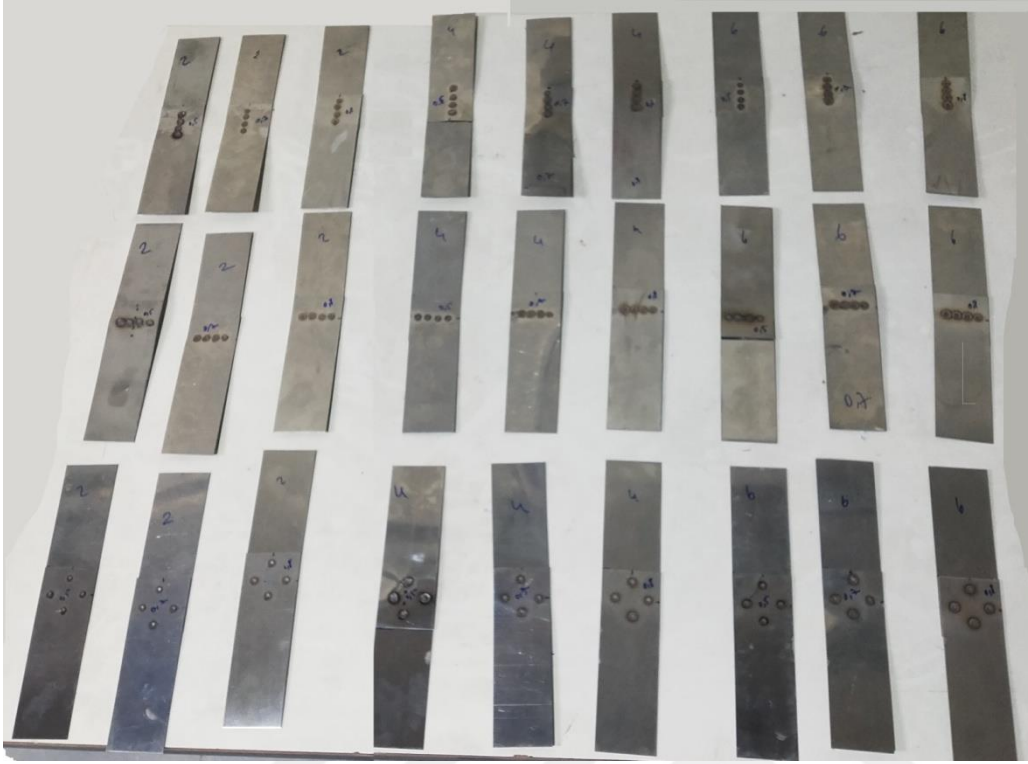
4. 5. Deneylerde Kullanılan Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Elektrotları

Deneylerde 6 mm uç çapına sahip G tipi elektrotlar kullanılmıştır. Kullanılan elektrotlar bakır-krom-zirkonyum alaşımı elektrotlardır. Elektrotların ebatları şekil 4. 29.'da verilmiştir.



Şekil 4. 29. Deneylerde kullanılan elektrotların ebatları(European Standard, 1999)

Elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile elde edilen numune çiftleri şekil 4. 30., şekil 4. 31. ve şekil 4. 32.' de gösterilmiştir.



Şekil 4. 30. Deney grubu kaynaklı birleştirme numuneleri



Şekil 4. 31. 2. Deney grubu kaynaklı birleştirme numuneleri



Şekil 4. 32. 3. Deney grubu kaynaklı birleştirme numuneleri

Elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile kaynaklı çiftler elde edildikten sonra test numuneleri, mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi için çekme testine tabi tutulmuşlardır. Çekme testleri için şekil 4. 33.'te görülen 10 ton çekme kapasitesine sahip universal test cihazı kullanılmıştır. Çalışmada plakalar 3,5 kN ön yük değerinde 20 mm/dk ön yük hızı kullanılarak çekme testi uygulanmıştır. Uygulama neticesinde 304 kalite paslanmaz çelik saclara yapılan kaynaklı birleştirmelerde, kaynak dayanımlarının tespiti için R_m değerleri hesaplanmıştır. Çekme testleri yapılırken 27 adet plaka numunelerinin çekme dayanımlarının hesaplanması için ISO 6892-1 (2009) standardında tanımlanan R_m değerinin bilinmesi gerekmektedir. Çekme mukavemeti R_m , standartta çekme testine tabi tutulan malzemenin dayanabileceği maksimum gerilim olarak tanımlanmıştır. ISO 6892-1 (2009) standardında tarif edildiği üzere Çekme mukavemeti R_m değeri;

R_m (Çekme Mukavemeti) = F_m (Maksimum Çekme Kuvveti) / S_0 (Malzeme Kesit Alanı) formülü ile hesaplanmaktadır.



Şekil 4. 33. Çekme testi makinesi

5. BULGULAR

5. 1. Deney Parametreleri

Taguchi yönteminde en yüksek çekme kuvveti değeri için en uygun çekme şartları, en yüksek en iyi olduğu sinyal-gürültü oranları seçilerek yapılmıştır. MINITAB programı ile en yüksek en iyi olduğu denklem yardımıyla yapılan hesaplamalarda çekme deneylerinde elde edilen kuvvet değerleri kullanılarak Sinyal/Gürültü(S/N) oranları hesaplanmıştır. Bu çalışmada optimum çekme mukavemetini (R_m) belirleyebilmek için kaynak parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Kaynak parametreleri olarak 3 faktör belirlenerek 3 seviye seçilmiştir. Taguchi yöntemi ile L9 deney şeması oluşturularak optimum R_m değeri için ortalaması en yüksek S/N oranı tespit edilmiştir. Kaynak parametrelerini etkileyen faktörler olarak desen, kalınlık ve kaynak süresi seçilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 5. 1.'de verilmiştir.

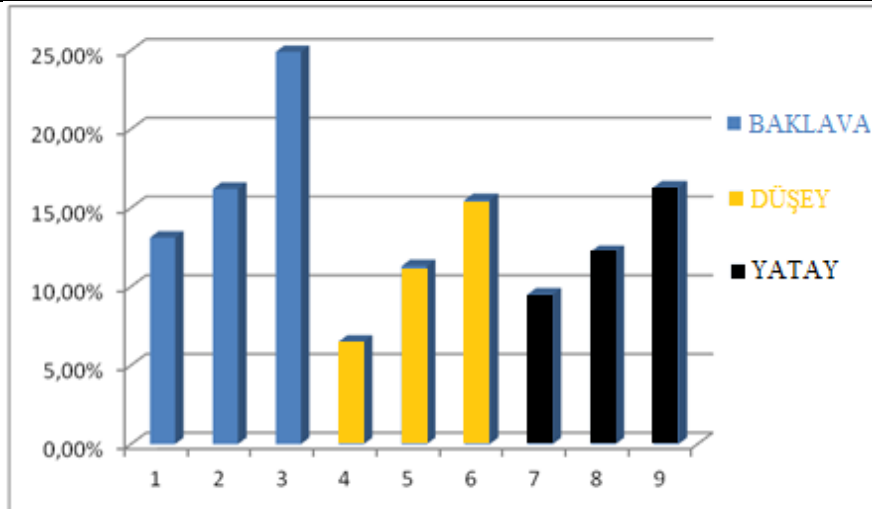
Çizelge 5. 1. L9 dizininde ortalama kuvvet değerleri ve S/N oranları

DESEN	KALINLIK (MM)	SÜRE (SN)	KUVVET DEĞERLERİ (N/mm ²)			ORTALAMA KUVVET DEĞERİ (N/mm ²)	S/N Oranı
			1. DENEY	2. DENEY	3. DENEY		
BAKLAVA	0.5	2	260.4	223.9	241.1	241.80	47.66913
BAKLAVA	0.7	4	259.7	265.2	270.8	265.23	48.47256
BAKLAVA	0.8	6	323.2	267.9	241.5	277.53	48.86630
DÜŞEY	0.5	4	190.6	180.2	169.5	180.10	45.11027
DÜŞEY	0.7	6	190.4	207.1	207.0	201.50	46.08550
DÜŞEY	0.8	2	208.1	182.1	177.6	189.27	45.54148
YATAY	0.5	6	197.2	206.6	194.6	199.47	45.99741
YATAY	0.7	2	238.9	225.4	227.8	230.70	47.26095
YATAY	0.8	4	227.2	224.2	224.0	225.13	47.04880

Çekme deneylerinde elde edilen uzama yüzdeleri kullanılarak kaynak malzemelerinde meydana gelen ortalama uzama yüzdeleri de hesaplanmıştır. Hesaplanan uzama yüzdeleri Çizelge 5. 2.'de gösterilmiştir. Kaynaklı malzemelerin ortalama uzama değerleri şekil 5. 2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 2. Kaynak malzemelerinin uzama yüzdeleri

SIRA NO	DESEN	KALINLIK (MM)	SÜRE (SN)	UZAMA (%)			ORTALAMA UZAMA DEĞERİ (%)
				1. DENEY	2. DENEY	3. DENEY	
1	BAKLAVA	0.5	2	21.90%	7.80%	9.50%	13.10%
2	BAKLAVA	0.7	4	15.90%	15.20%	17.40%	16.20%
3	BAKLAVA	0.8	6	20.80%	30.40%	23.60%	24.90%
4	DÜŞEY	0.5	4	6.90%	6.90%	5.70%	6.50%
5	DÜŞEY	0.7	6	13.90%	11.10%	8.80%	11.30%
6	DÜŞEY	0.8	2	16.00%	16.00%	14.40%	15.50%
7	YATAY	0.5	6	15.70%	7.20%	5.60%	9.50%
8	YATAY	0.7	2	19.20%	8.70%	8.60%	12.20%
9	YATAY	0.8	4	11.50%	18.30%	19.20%	16.30%



Şekil 5. 1. Ortalama uzama değeri grafiği

Çizelge 5. 2.'de kaynak malzemelerinin 3 tekrarlı deneyleri neticesinde elde deney numunelerinden elde edilen uzama miktarları ve ortalama uzama miktarları gösterilmiştir. Elde edilen uzama miktarları ortalamalarının grafiği Şekil 5. 1.'de verilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde baklava desenli deney numunelerinin uzama değerlerinin, düşey ve yatay deney numunelerine kıyasla daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. En düşük uzama miktarı ortalaması, düşey desenli deney numunelerinde gözlenmiştir.

5.2. S/N Oranı Hesaplamaları

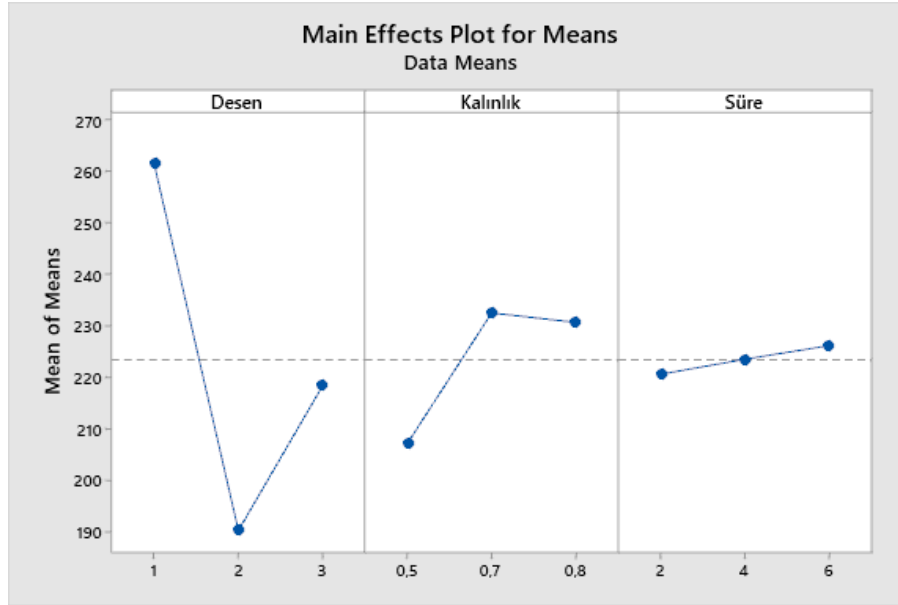
Taguchi yönteminde, elde edilen verilerin optimizasyonunda en çok tercih edilen uygulama Sinyal/Gürültü(S/N) oranı hesaplamalarıdır. Bu çalışmada Taguchi yöntemi ile en ideal çekme kuvvetlerini belirleyebilmek için S/N oranlarının ortalamasının en yüksek olması gerekir. Kaynak faktörlerinin ortalama çekme mukavemetinin, S/N cevap değerleri Çizelge 5. 3.'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. 3. Kaynak faktörlerinin ortalama çekme kuvvetinin, S/N cevap değerleri

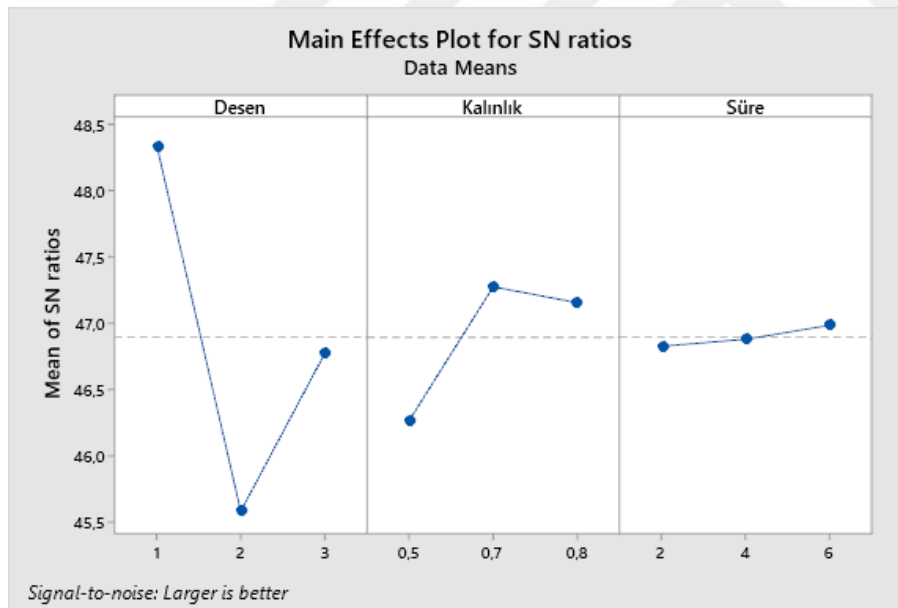
SEVİYE	DESEN	KALINLIK	SÜRE
1	48,34	46,26	46,82
2	45,58	47,27	46,88
3	46,77	47,15	46,98
DELTA	2,76	1,01	0,16
SIRALAMA	1	2	3

Çizelge 5. 3'te görüldüğü üzere desen, kalınlık ve kaynak süresi faktörlerinde desen birinci, kalınlık ikinci ve kaynak süresi için üçüncü seviyesinde S/N oranı değerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Taguchi yönteminin deneysel çalışma ve araştırmalarda kullanılma sebebi optimum deney şartlarının belirlenmesini sağlamaktır. Bu çalışmada optimum deney şartı olarak en yüksek en iyi değer şartı seçilmiştir. Bu şartları belirleyebilmek için seçilen parametrelerin ortalama değişimi ile S/N oranlarına göre değişimleri kullanılarak desen, kalınlık ve kaynak süresi olarak belirlenen faktörler oluşturulmuştur. Oluşturulan faktör ve seviyelerinin test sonuçları Şekil 5. 2. ve Şekil 5. 3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5. 2. Faktör seviyelerinin girdiler ile ortalama değışimi en yüksek en iyiye göre kuvvet grafiğı



Şekil 5. 3. Faktör ve seviyelerin girdiler ile S/N oranına göre değışimi en yüksek-en iyiye göre kuvvet grafiğı

Faktör-seviye girdilerinde desenler sırasıyla baklava, düşey ve yatay olmak üzere 1, 2 ve 3 olarak numaralandırılmışlardır. Kaynak malzeme kalınlıkları sırasıyla 0.5, 0.7 ve 0.8 mm olarak, kaynak süreleri ise 2, 4 ve 6 saniye olarak girilmiştir. Yapılan analizlerde Şekil 5. 2.'de baklava desenli kaynak malzemesinin ortalama kuvvet değışimi 260 N/mm²'nin üzerinde iken yatay ve düşey desenlerin ortalama kuvvet değışimlerinin ise 220 N/mm²'nin

altında kaldığı gözlenmiştir. Şekil 5. 3.'te ise S/N oranına göre değişimler incelendiğinde baklava desenin 48 dB'nin üzerinde olduğu, yatay ve düşey desenli kaynak malzemelerinin ise 47 dB'nin altında olduğu görülmektedir. Kaynak süresi arttıkça kaynak mukavemetinin arttığı, sac kalınlığı attıkça kaynak mukavemetinde bir miktar düşme olduğu görülmektedir.

5.3. Anova Varyansı

Taguchi yöntemine göre bir sisteme etki eden faktörlerin etkinlik derecelerinin belirlenmesi için ANOVA çizelgesi oluşturulmalıdır. Bu çalışmada kaynaklı malzemelerin çekme mukavemetine etki ettiği düşünülen desen, kalınlık ve kaynak süresi faktörleri incelenmiştir. Taguchi yöntemine göre bu faktörler üzerinden yapılan analiz sonucu elde edilen ANOVA çizelgesi Çizelge 5. 4.'te verilmiştir. ANOVA çizelgesinin hazırlanmasında S/N oranları kullanılarak kareler toplamı (SS), kareler ortalaması (MS), F ve P değerleri bulunmuştur.

Çizelge 5. 4. ANOVA'nın S/N oranları ile faktörler arasındaki ilişki

KAYNAK	SERBESTLİK DERECESİ	KARELER TOPLAMI	KARELER ORTALAMASI	F DEĞERİ	P DEĞERİ
DESEN	2	11,4719	5,73595	44,52	0,022
KALINLIK	2	1,8408	0,92042	7,14	0,123
SÜRE	2	0,0394	0,0197	0,15	0,867
HATA	2	0,2577	0,12883		
TOPLAM	8	13,6098			

Hesaplanan F değerinin en büyük olduğu parametre, kaynak malzemesine etki eden çekme kuvvetinin üzerinde daha etkin olduğunu gösterir. F değerinin orantısal olarak azalması etkin olan parametrelerin sıralamasını belirler. F değeri yükseldikçe etki ettiği faktörün de etkinlik derecesi o oranda yükselmektedir. Buna göre kaynak malzemesine etki eden çekme kuvvetinin etki ettiği faktörlerin etkinlik sıralaması sırasıyla desen, kalınlık ve kaynak süresi olarak elde edilmiştir. ANOVA test sonuçları Şekil 5. 4.'te verilmiştir.

Model Özeti

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,358929	98,11%	92,43%	61,66%

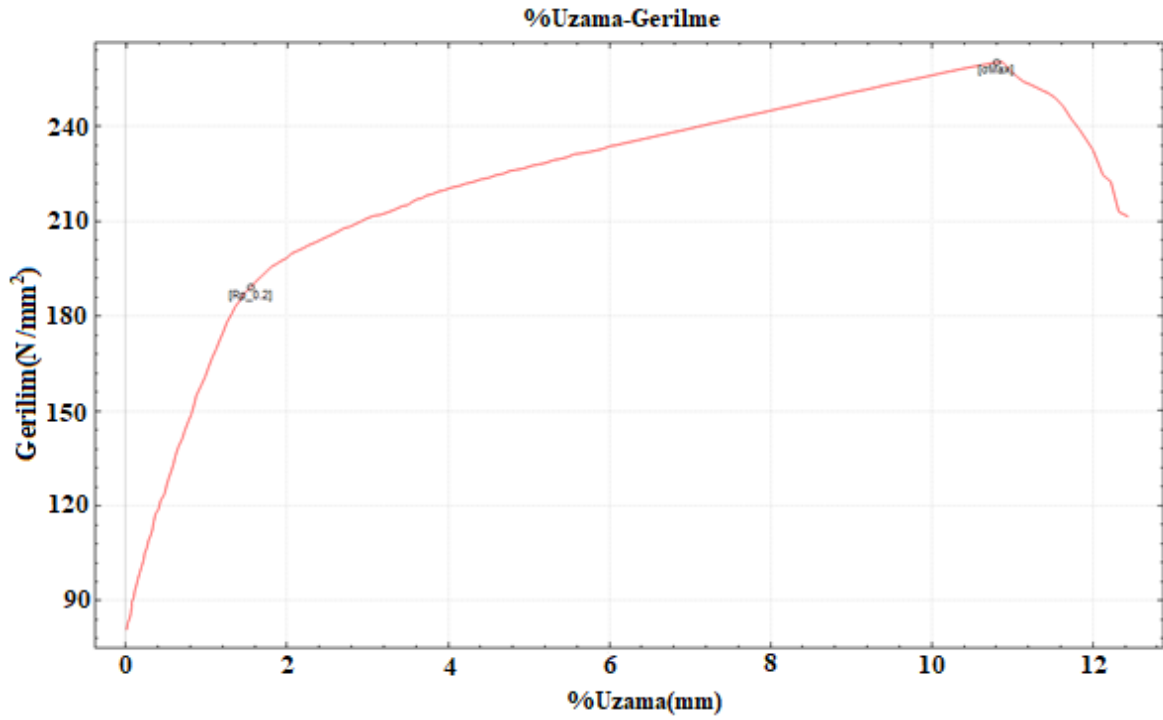
Katsayılar

Terim	Katsayı	SE Katsayısı	T-Değeri	P-Değeri	VIF
Constant	46,895	0,120	391,96	0,000	
Desen					
1	1,441	0,169	8,52	0,014	1,33
2	-1,316	0,169	-7,78	0,064	1,33
Kalıklık					
0,5	-0,636	0,169	-3,76	0,051	1,33
0,7	0,378	0,169	2,24	0,155	1,33
Süre					
2	-0,071	0,169	-0,42	0,716	1,33
4	-0,018	0,169	-0,10	0,9273	1,33

Şekil 5. 4. ANOVA testi sonuçları

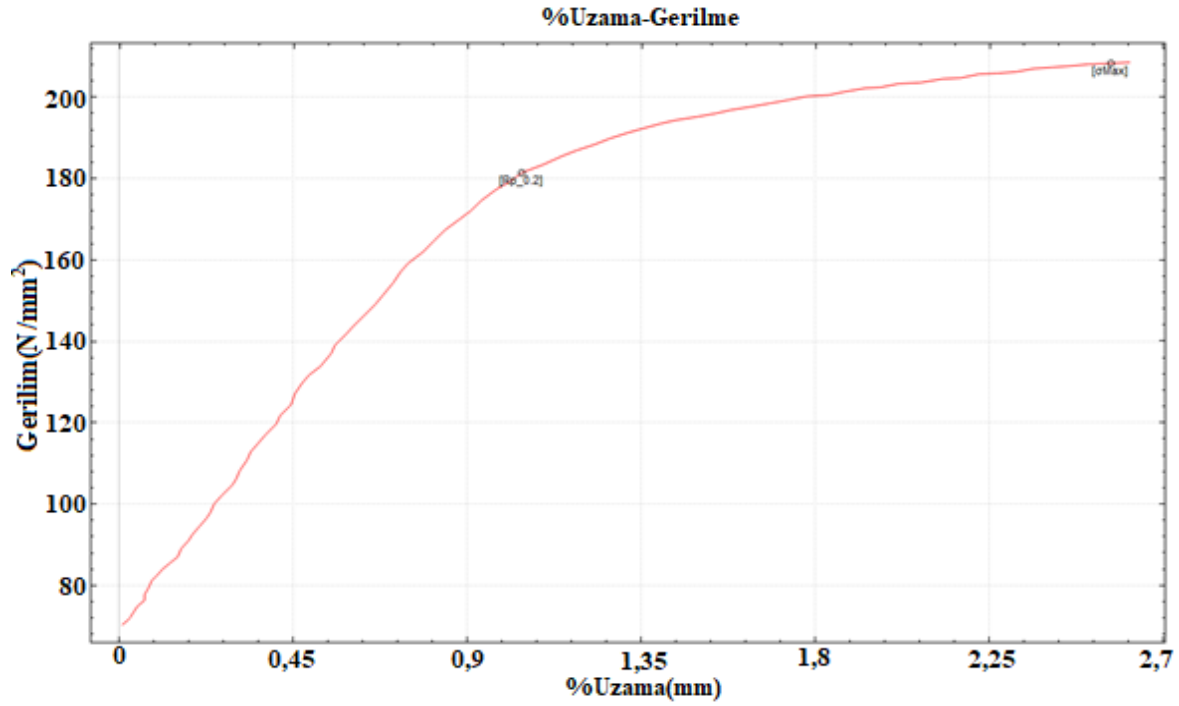
5.4. Çekme Testi Analizleri

Elektrik direnç nokta kaynak makinesi ile elde edilen kaynaklı birleştirmeler, kaynak dayanımlarının tespit edilmesi için çekme testlerine tabi tutulmuşlardır. Taguchi yöntemi ile oluşturulan L9 tablosunda hesaplarda kullanılan kaynaklı malzemelerin çekme testleri sonrası elde edilen çekme mukavemeti (R_m) grafikleri aşağıda verilmiştir.



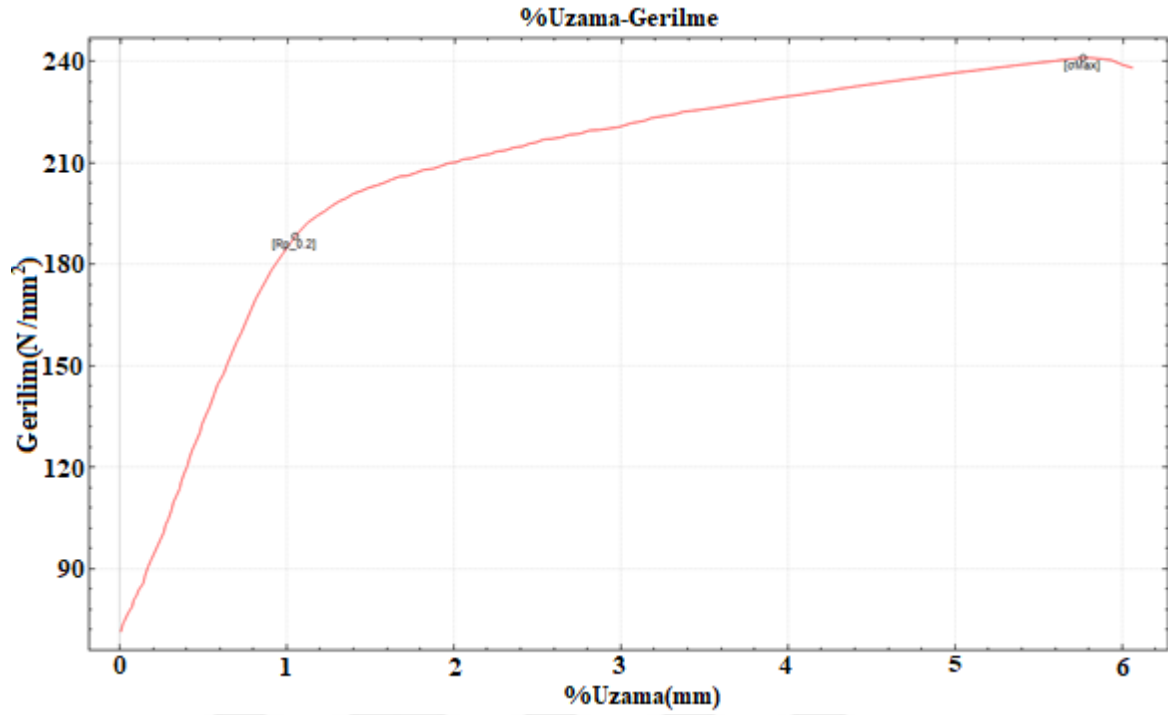
Grafik 5. 1. 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 1.'deki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan çekme testinde maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 260.4 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmadan yırtılmaya başladığını göstermektedir.



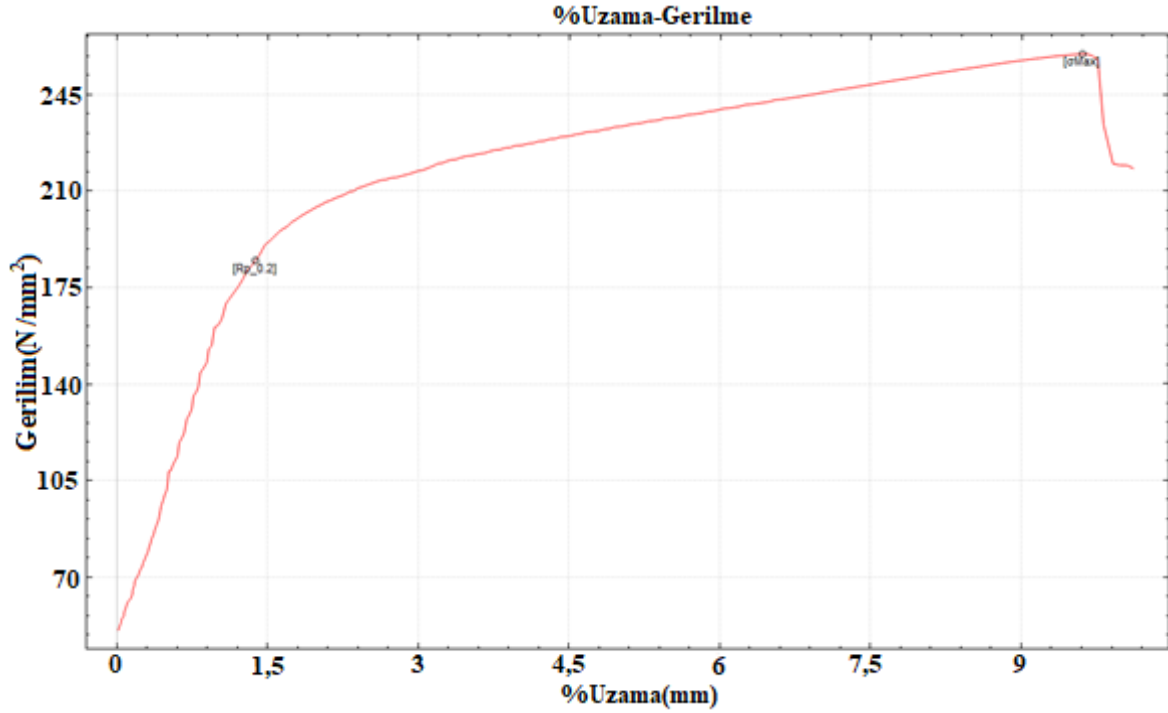
Grafik 5. 2. 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 2.'deki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 223.9 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir.



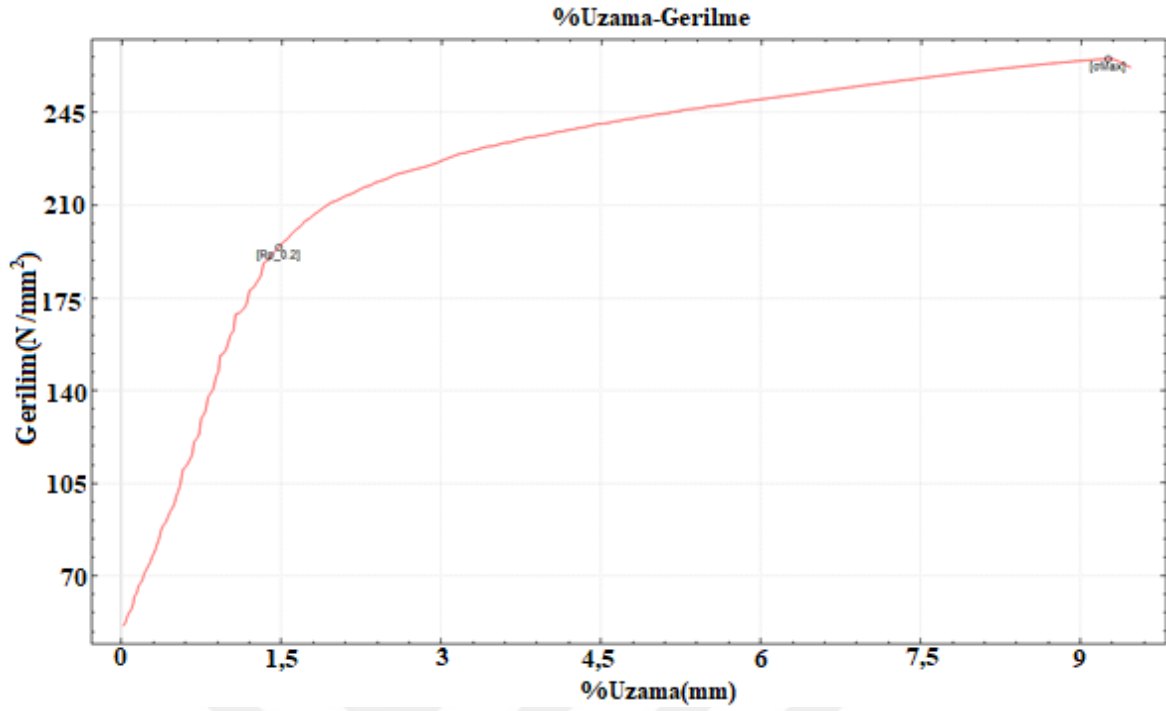
Grafik 5. 3. 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 3.'teki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 241.1 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir.



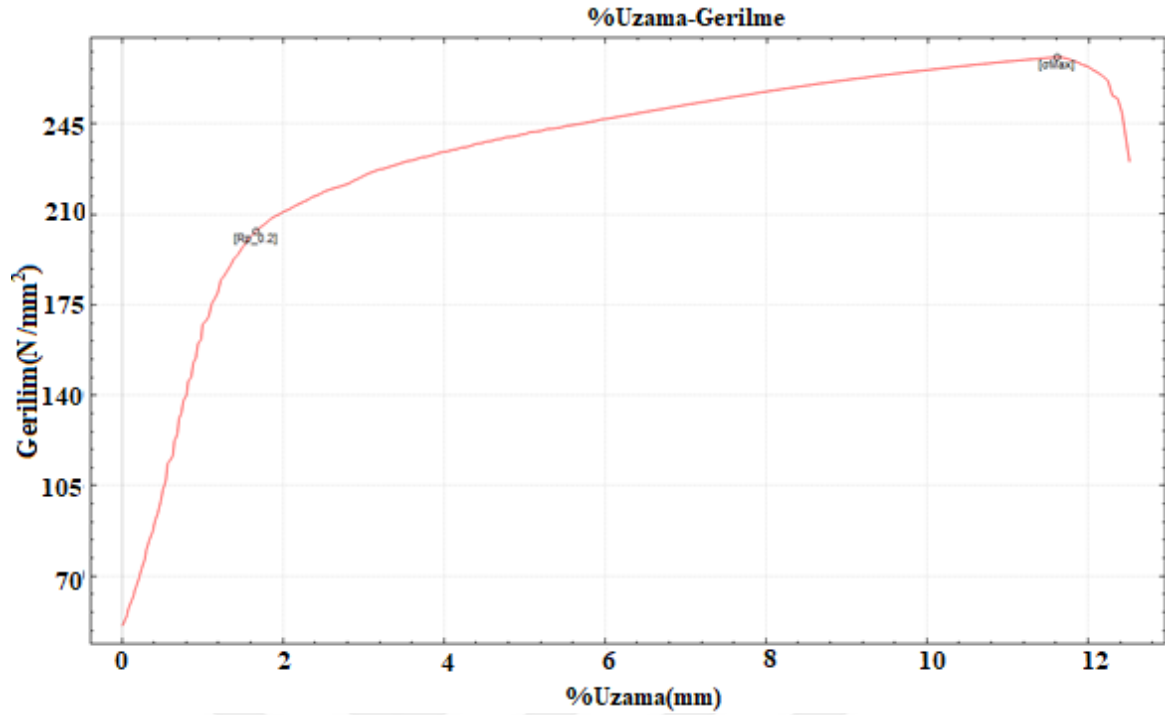
Grafik 5. 4. 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 4.'deki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 259.7 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra eğrinin ani şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmasından sonra malzemenin kaynak bölgesinden farklı bir yüzeyinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



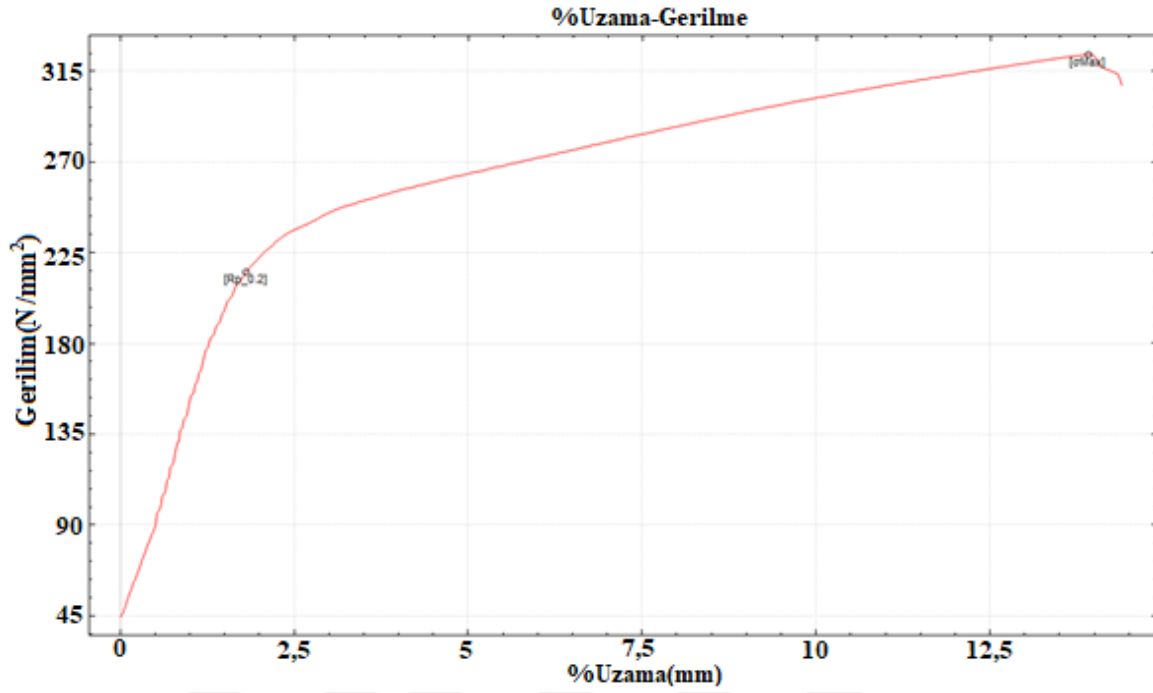
Grafik 5. 5. 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin %-uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 5.'deki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 265.2 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir.



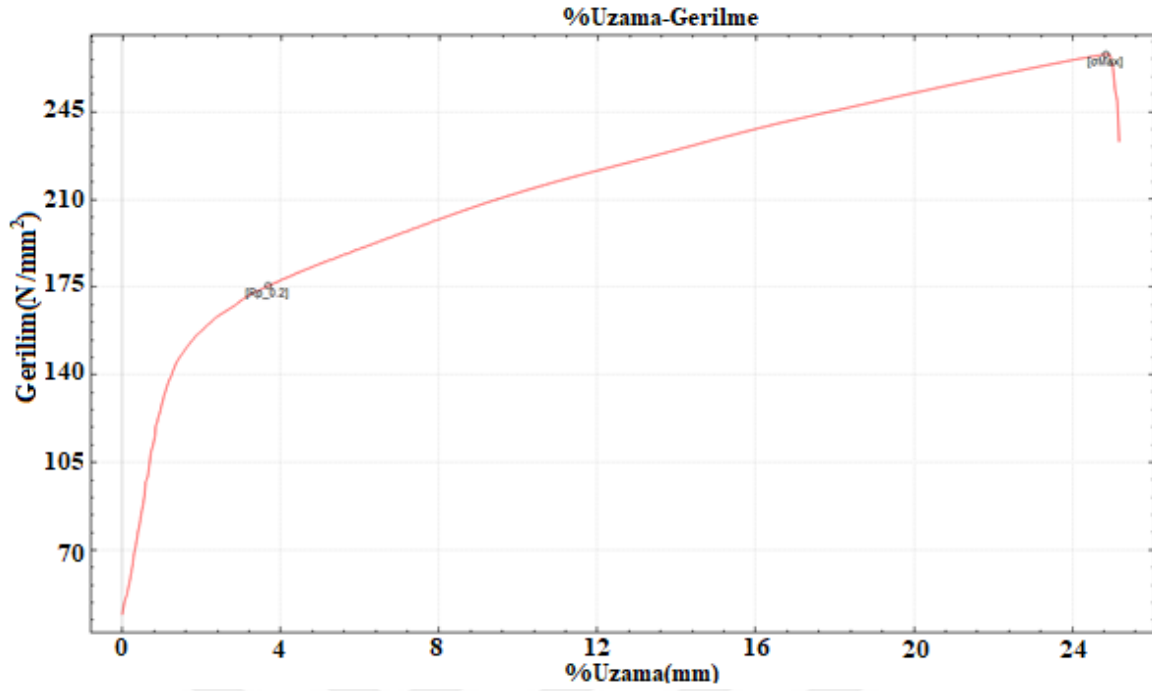
Grafik 5. 6. 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin %-uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 6.'daki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 270.8 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra eğrinin ani şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmasından sonra malzemenin kaynak bölgesinden farklı bir yüzeyinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



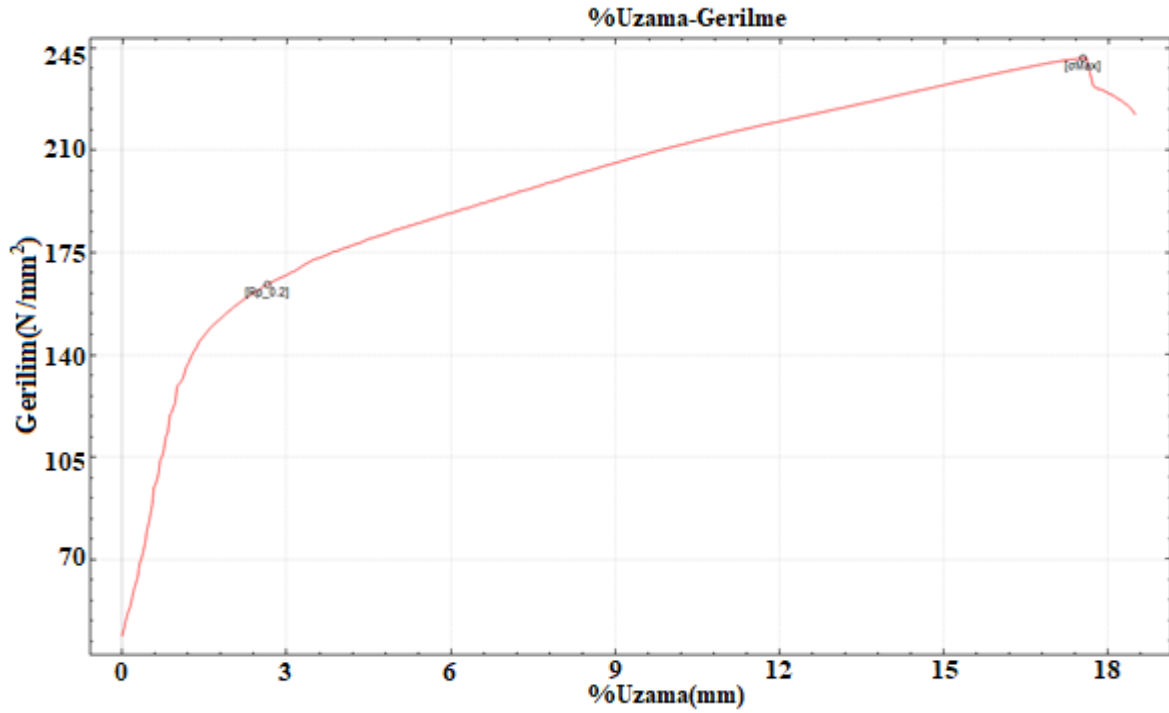
Grafik 5. 7. 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 7.'deki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 323.2 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir.



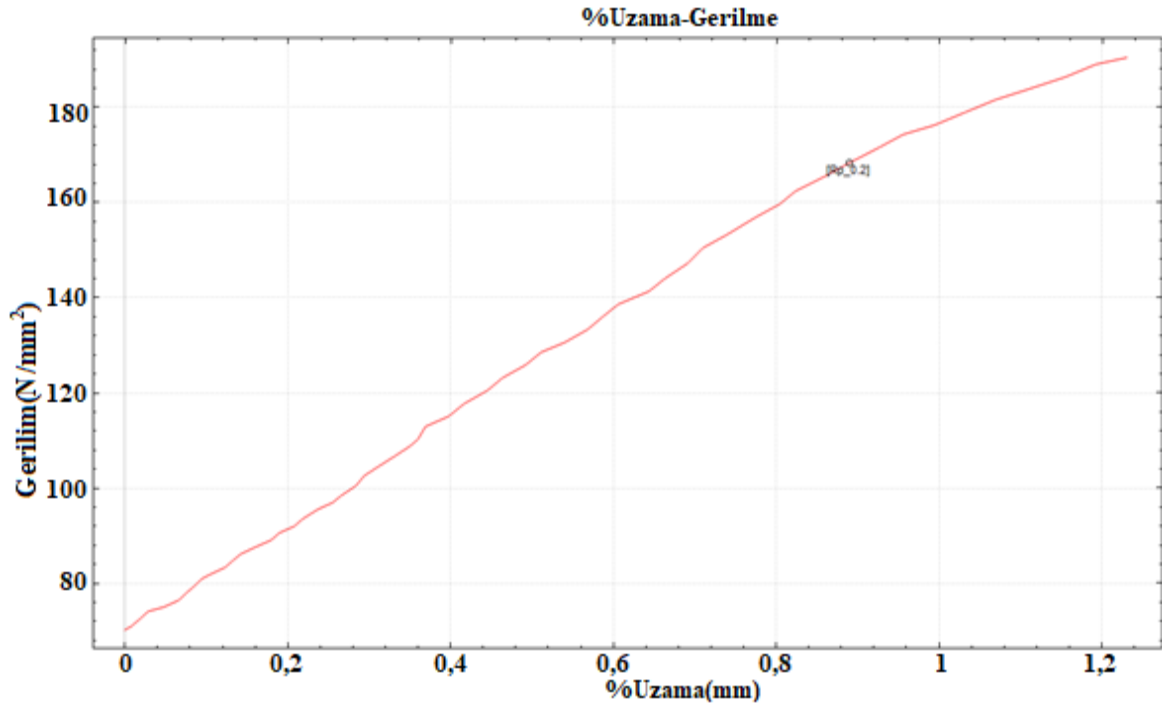
Grafik 5. 8. 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 8.'deki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 267.9 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin ani şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmasından sonra malzemenin kaynak bölgesinden farklı bir yüzeyinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



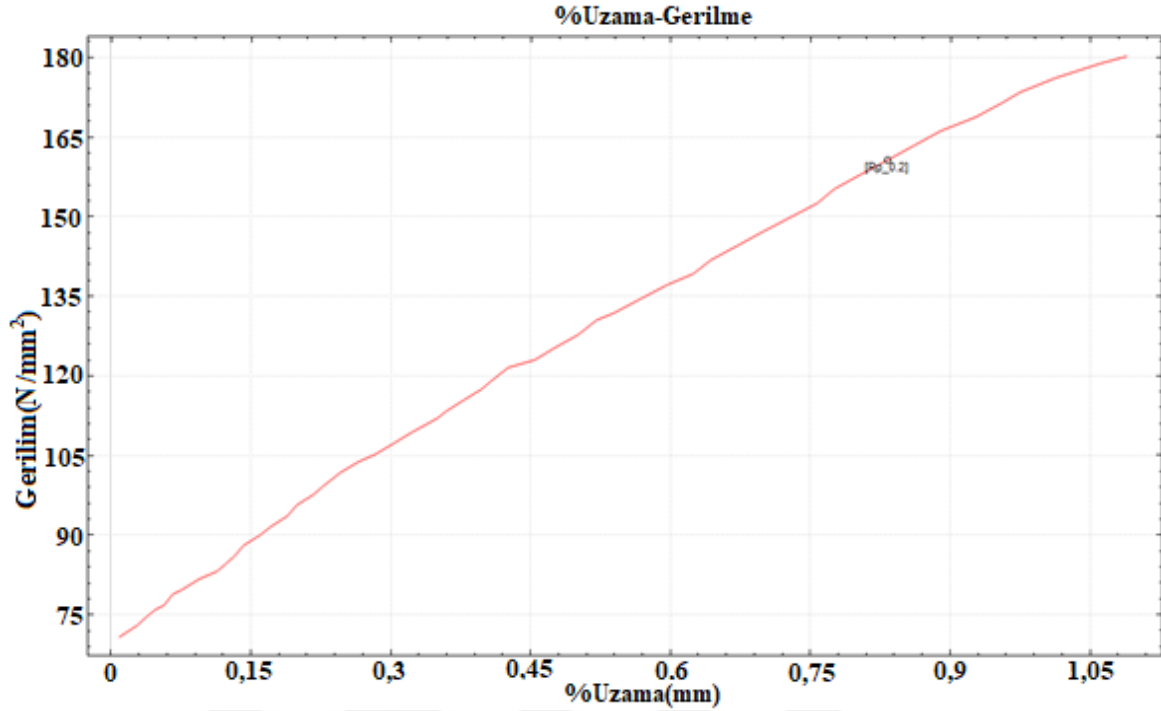
Grafik 5. 9. 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 9.'daki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 241.5 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin ani şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmasından sonra malzemenin kaynak bölgesinden farklı bir yüzeyinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



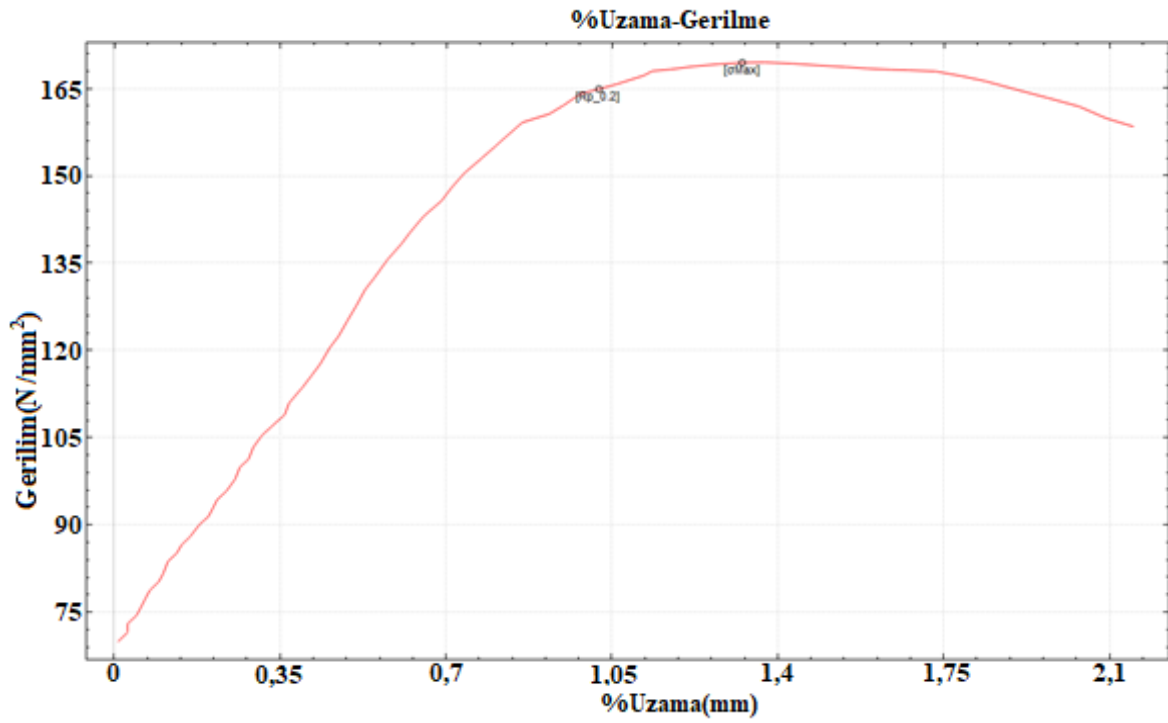
Grafik 5. 10. 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 10.'daki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 190.6 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. %uzama-gerilme grafiğinde eğrinin doğrusal bir şekilde ilerlediği ve bir yerde kesildiği görülmektedir. Bunun nedeni çekme testi esnasında malzeme yüzeyine etkiyen kuvvetlerin kaynak desenine paralel olmasından dolayı malzeme yüzeyinde meydana getirdiği gerilimin malzemenin uzamadan kopmasına sebebiyet vermesidir.



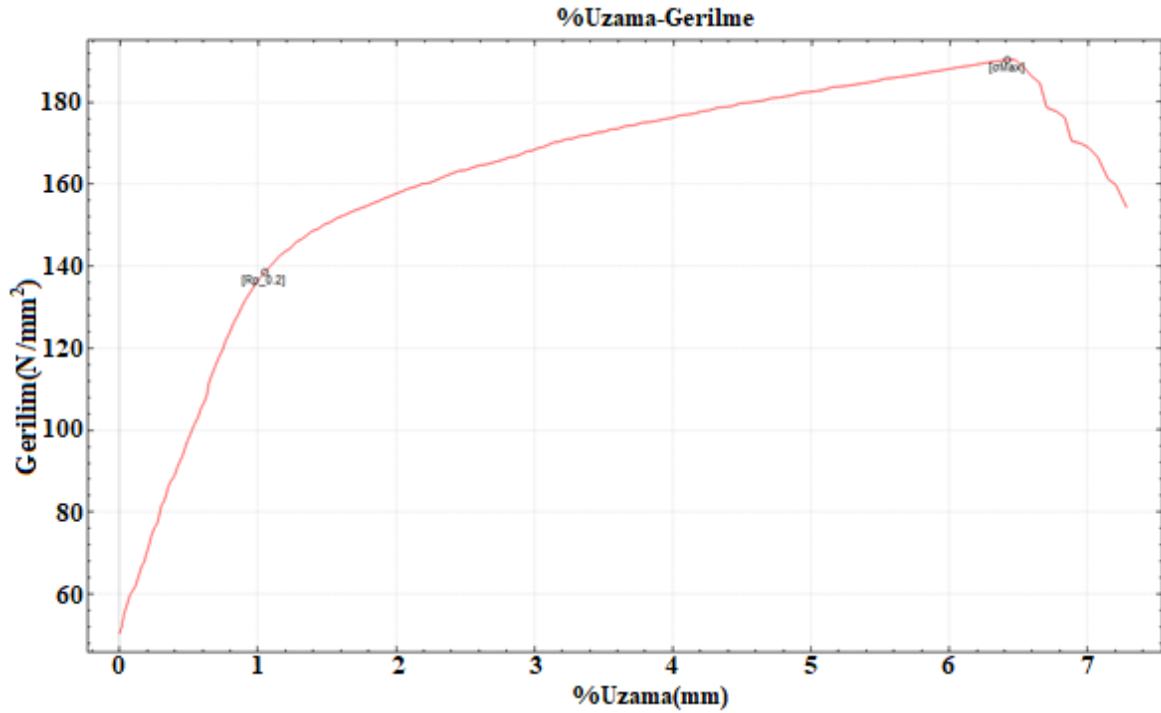
Grafik 5. 11. 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 11.'deki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin $180,2 \text{ N/mm}^2$ olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. %uzama-gerilme grafiğinde eğrinin doğrusal bir şekilde ilerlediği ve bir yerde kesildiği görülmektedir. Bunun nedeni çekme testi esnasında malzeme yüzeyine etkiyen kuvvetlerin kaynak desenine paralel olmasından dolayı malzeme yüzeyinde meydana getirdiği gerilimin malzemenin uzamadan kopmasına sebebiyet vermesidir.



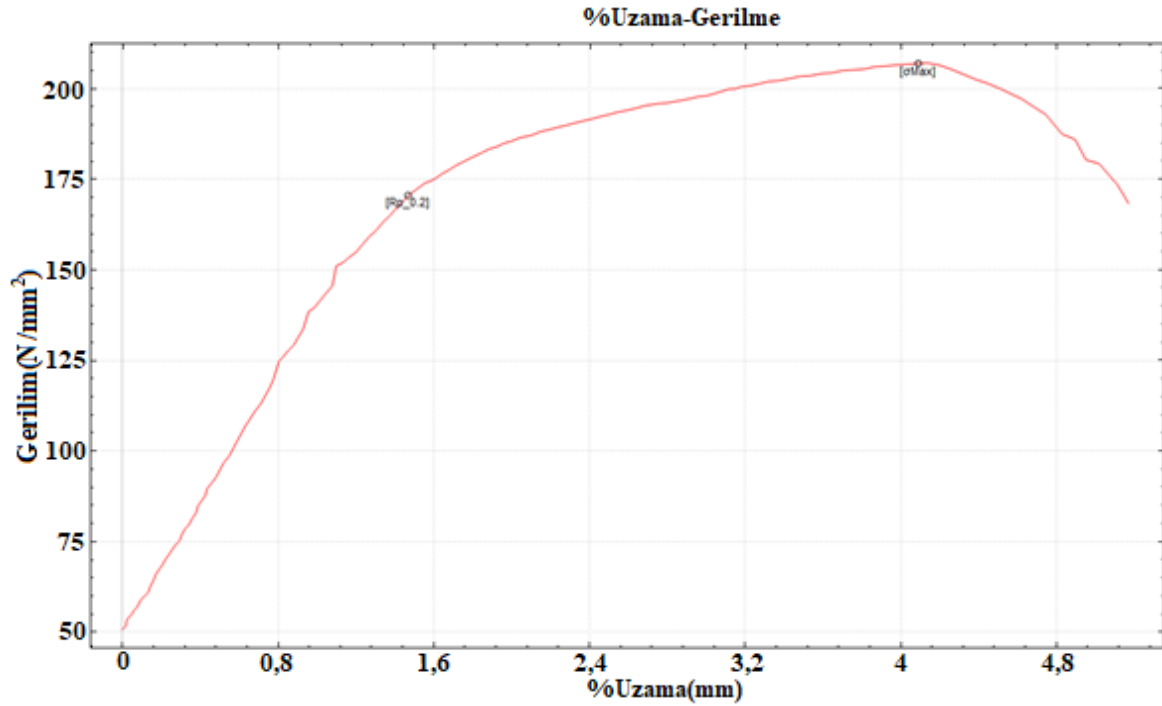
Grafik 5. 12. 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 12.'deki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan çekme testinde maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 169.5 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra eğrinin aşağı yönde uzamaya devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmadan malzemenin uzama eğiliminde olduğunu göstermektedir.



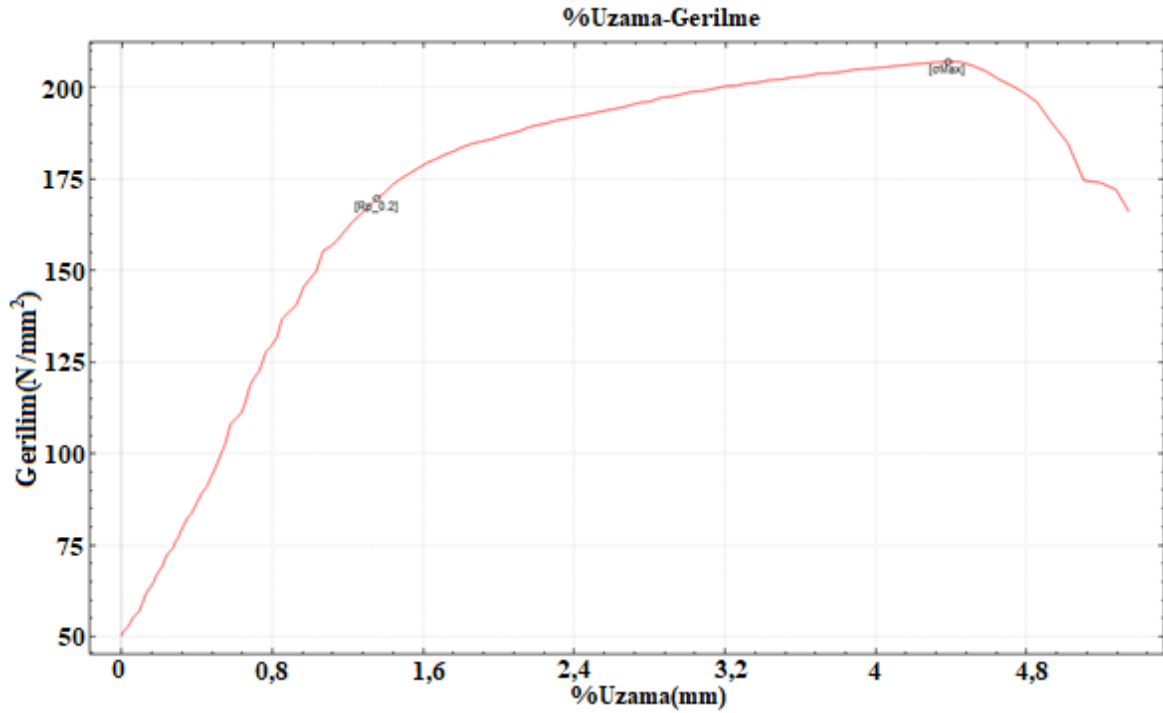
Grafik 5. 13. 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama gerilme grafiği

Grafik 5. 13.'teki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 190.4 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin ani ve dalgalı şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden uzama ve devamında yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



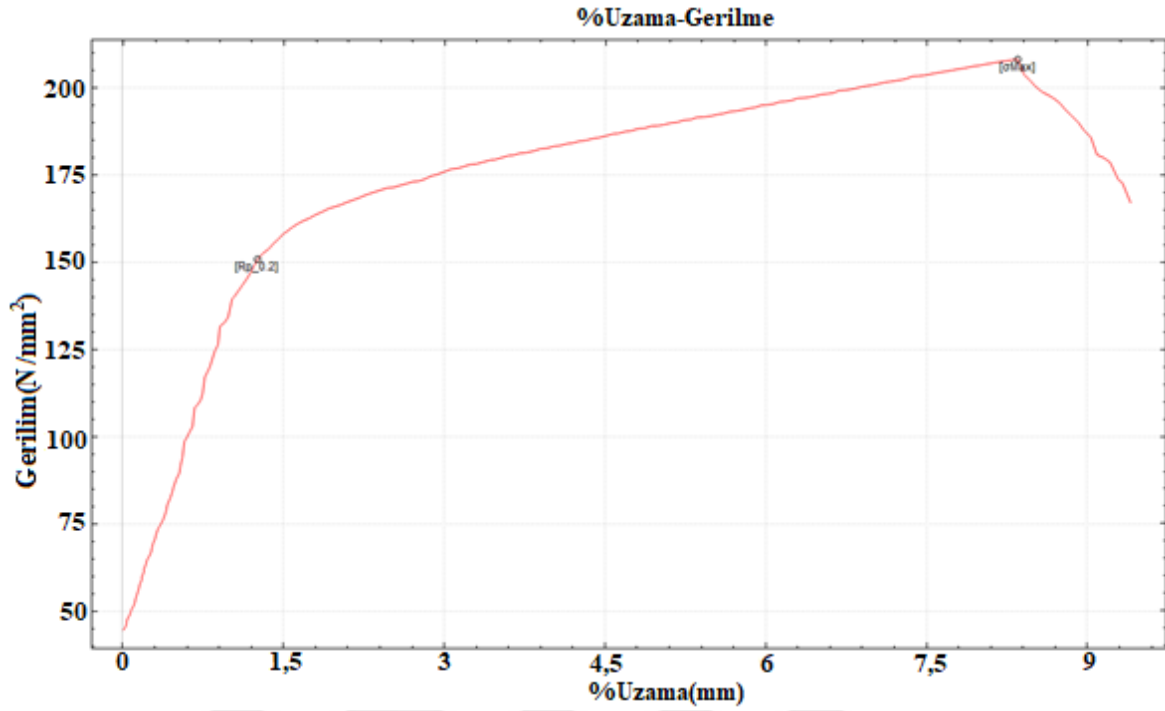
Grafik 5. 14. 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5.14.'teki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 207.1 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin dalgalı şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden uzama ve devamında yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



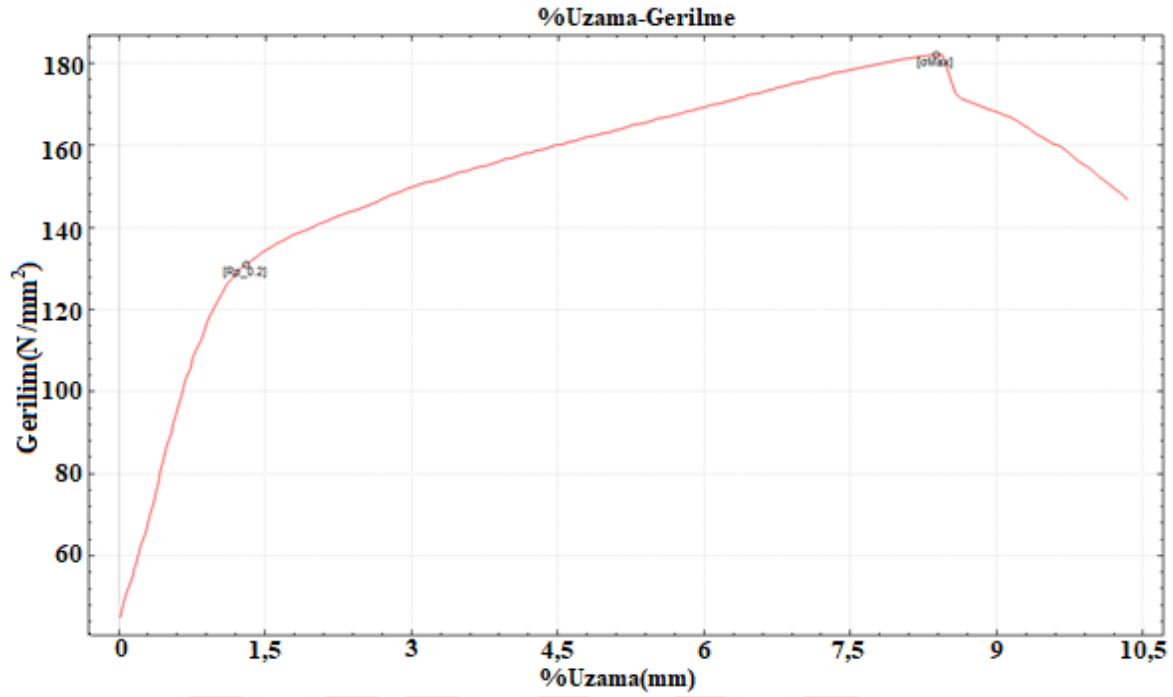
Grafik 5. 15. 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 15'teki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 207.0 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin dalgalı şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden uzama ve devamında yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



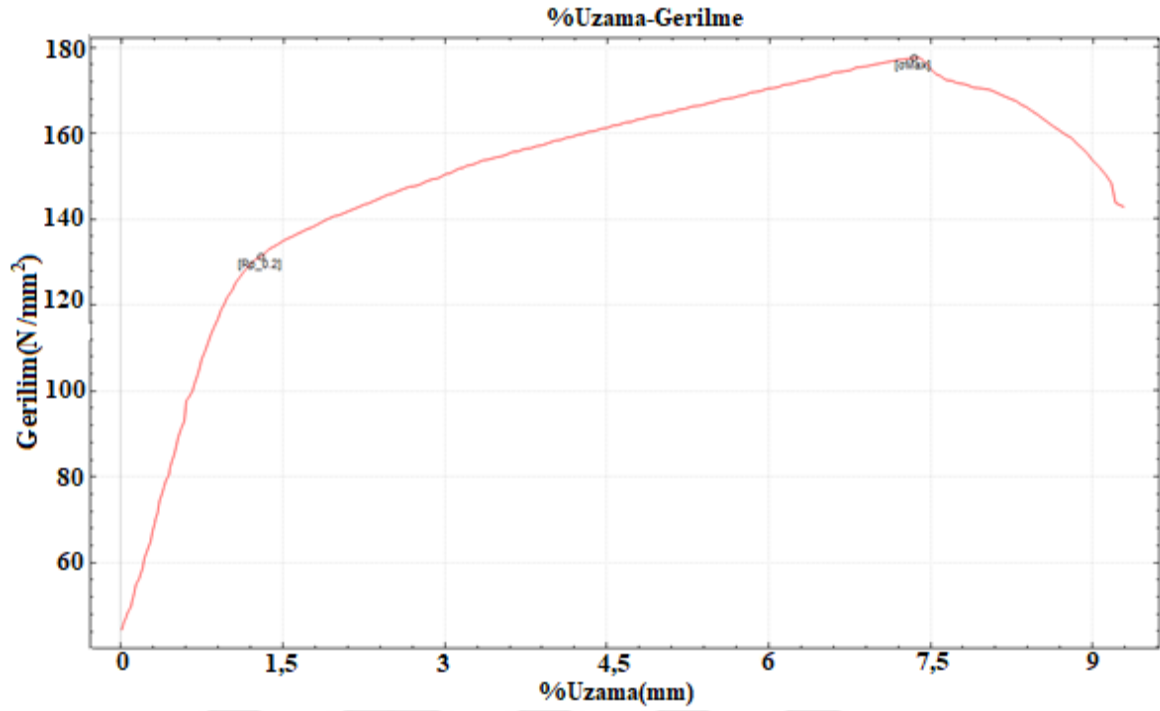
Grafik 5. 16. 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 16.'daki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 208.1 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra eğrinin ani şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



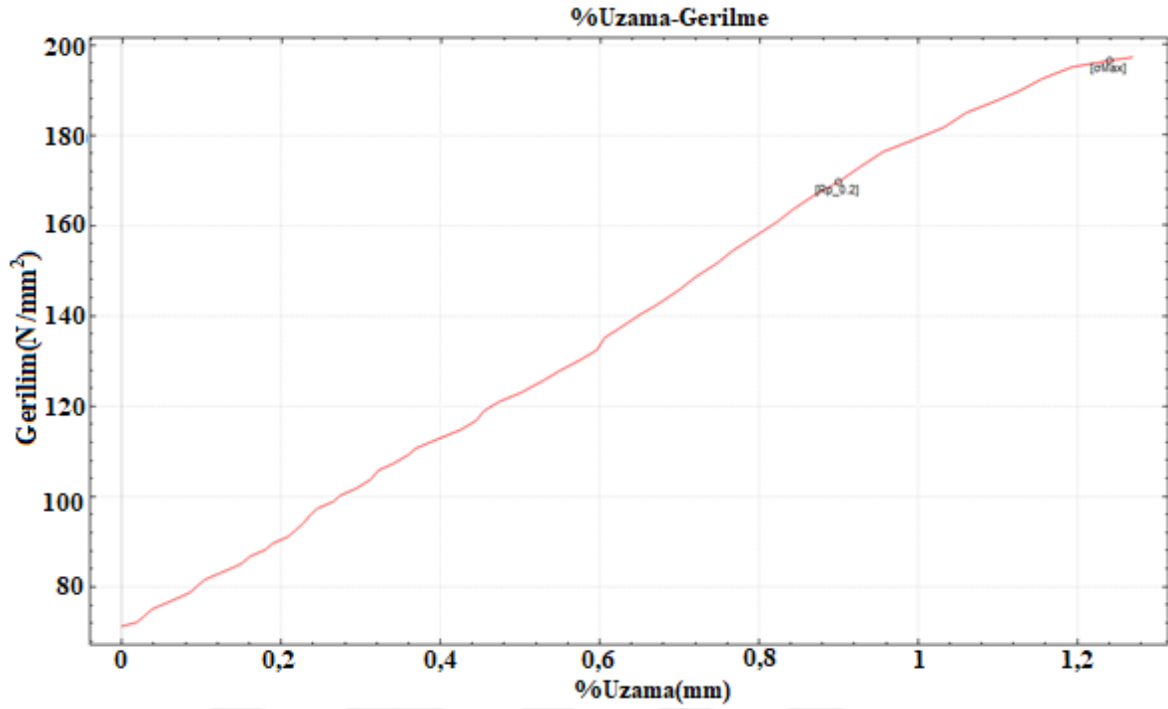
Grafik 5. 17. 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 17.'deki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 182.1 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra eğrinin ani ve dalgalı şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden uzama ve devamında yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



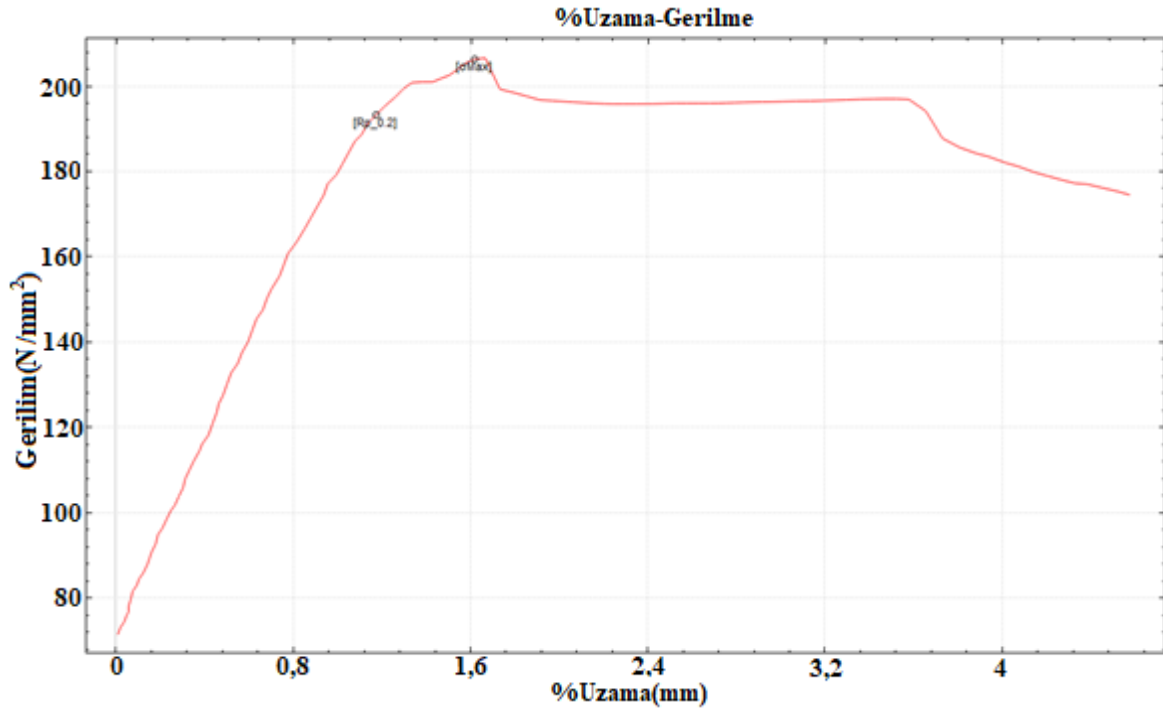
Grafik 5. 18. 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 18.'deki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 177.6 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki düşey desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



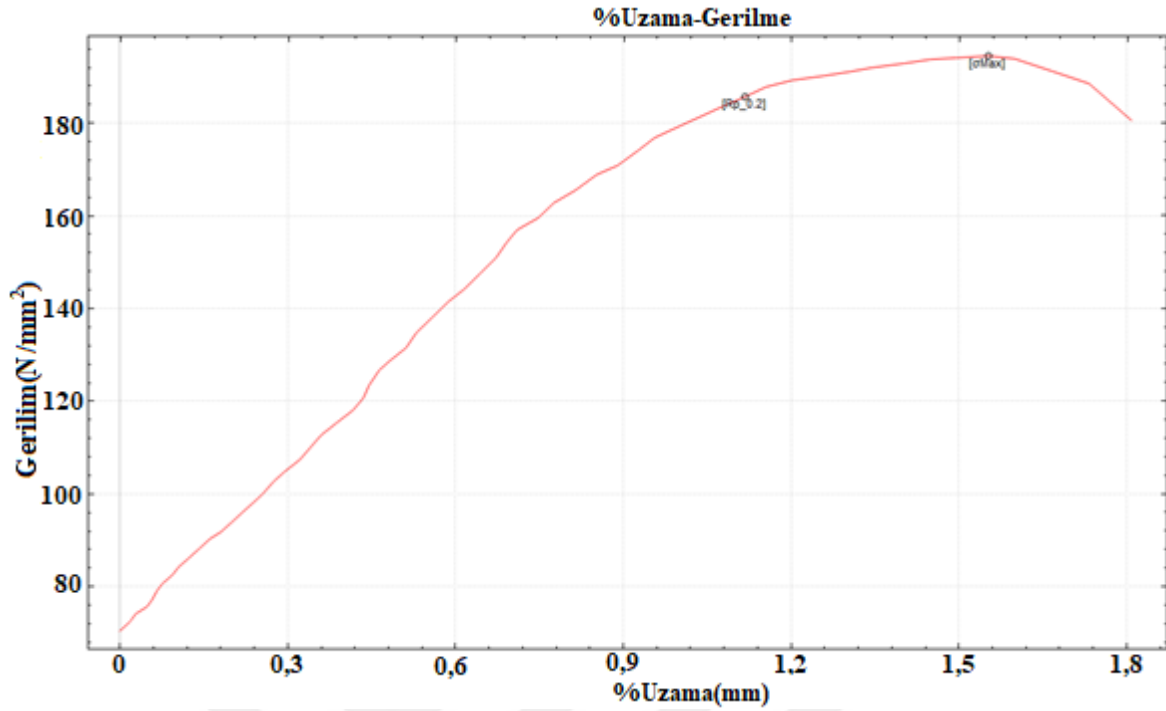
Grafik 5. 19. 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 19.'daki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 197.2 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. %uzama-gerilme grafiğinde eğrinin dalgalı-doğrusal bir şekilde ilerlediği ve bir yerde kesildiği görülmektedir. Bunun nedeni çekme testi esnasında malzeme yüzeyine etkiyen kuvvetlerin kaynak desenine dik olmasından dolayı malzeme yüzeyinde meydana getirdiği gerilimin malzemenin uzamadan ve kaynak noktalarından malzemeyi yırtmadan yalnızca kaynak noktalarında kopmasına sebebiyet vermesindendir.



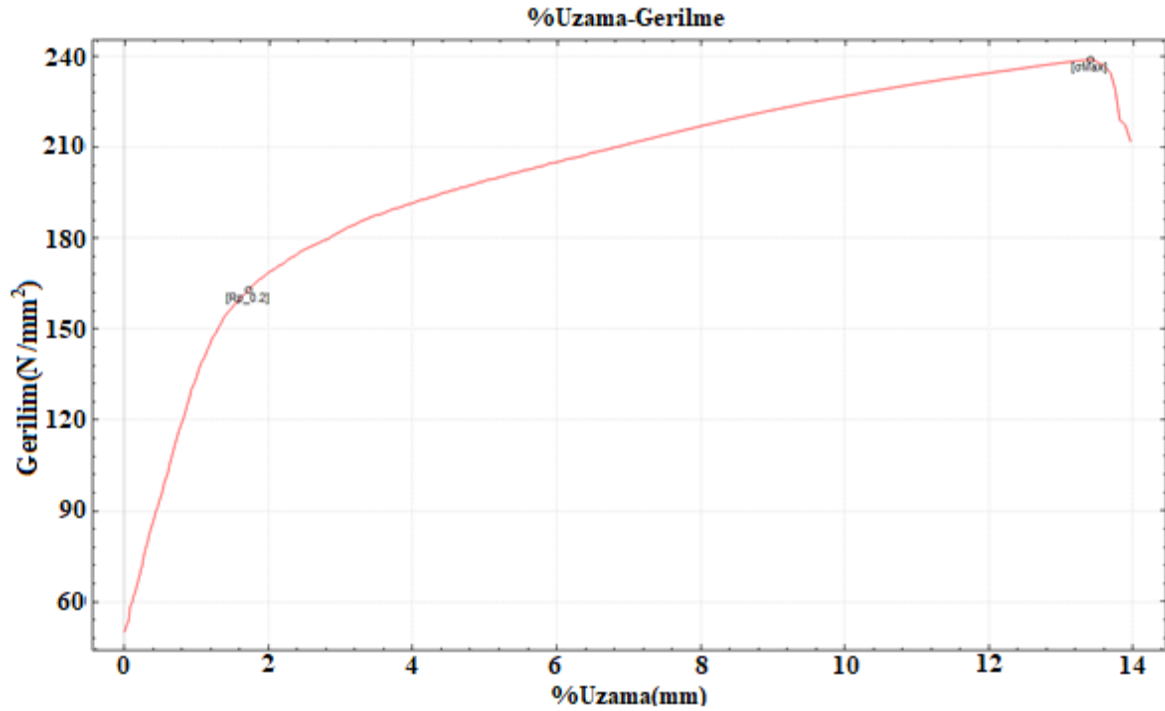
Grafik 5. 20. 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 20.'deki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki düşey desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 206.6 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. %uzama-gerilme grafiğinde eğrinin dik-doğrusal bir şekilde ilerlediği ve maksimum noktaya ulaştıktan sonra dalgalı bir şekilde aşağı yönde uzama eksenine paralel bir şekilde devam ettiği görülmektedir. Bunun nedeni çekme testi esnasında malzeme yüzeyinde oluşan gerilim sonucu malzemenin kaynak noktalarından kopması ve aynı süreç içerisinde malzemenin kaynaksız kısımlarından uzamaya devam etmesinden kaynaklanmaktadır.



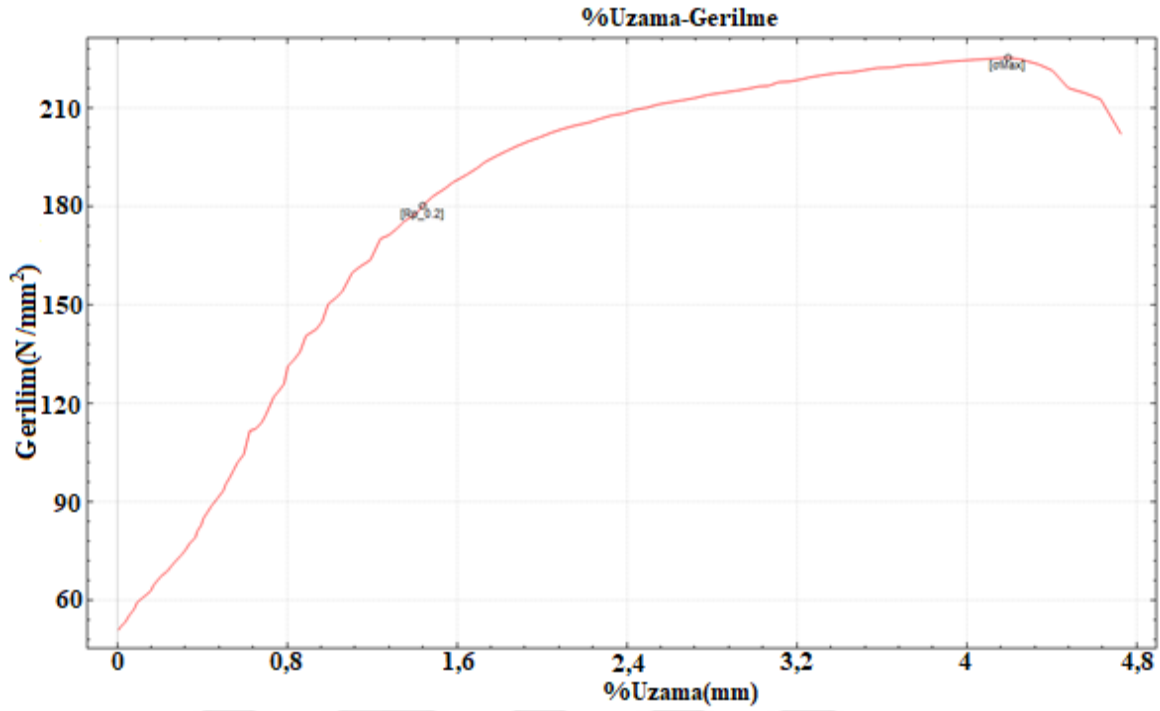
Grafik 5. 21. 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 21.'deki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.5 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 6 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 194.6 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.5 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



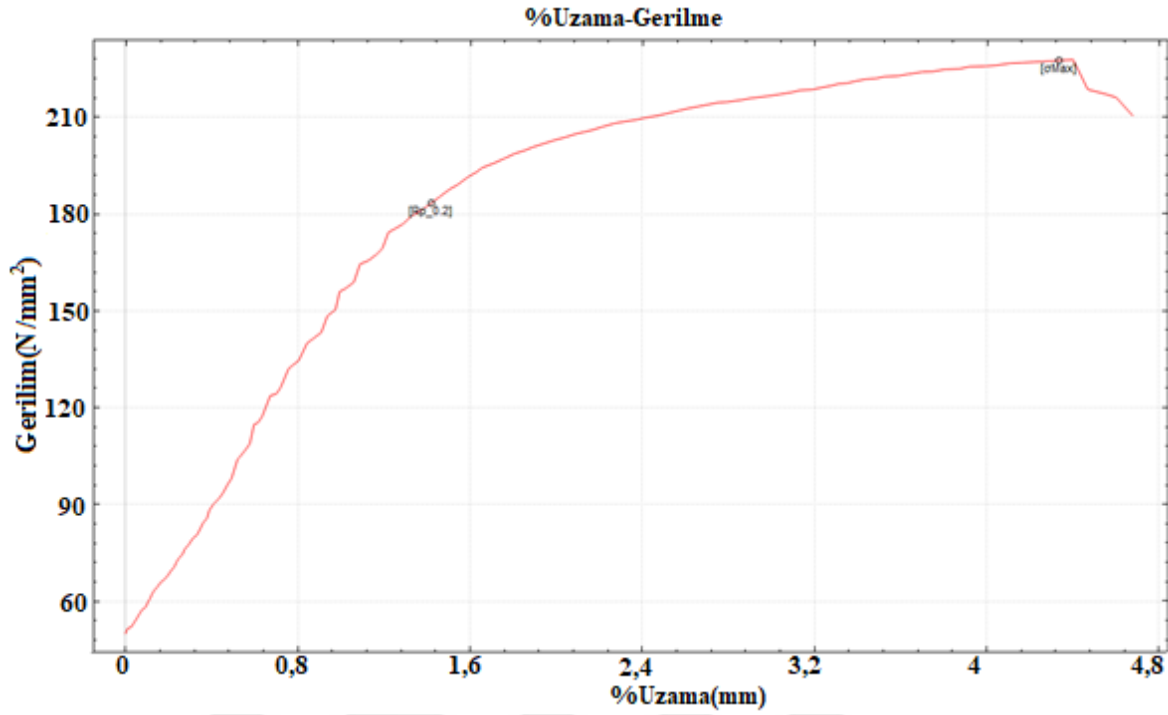
Grafik 5. 22. 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 22.'deki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 238.9 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra eğrinin ani şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmasından sonra malzemenin kaynak bölgesinden farklı bir yüzeyinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



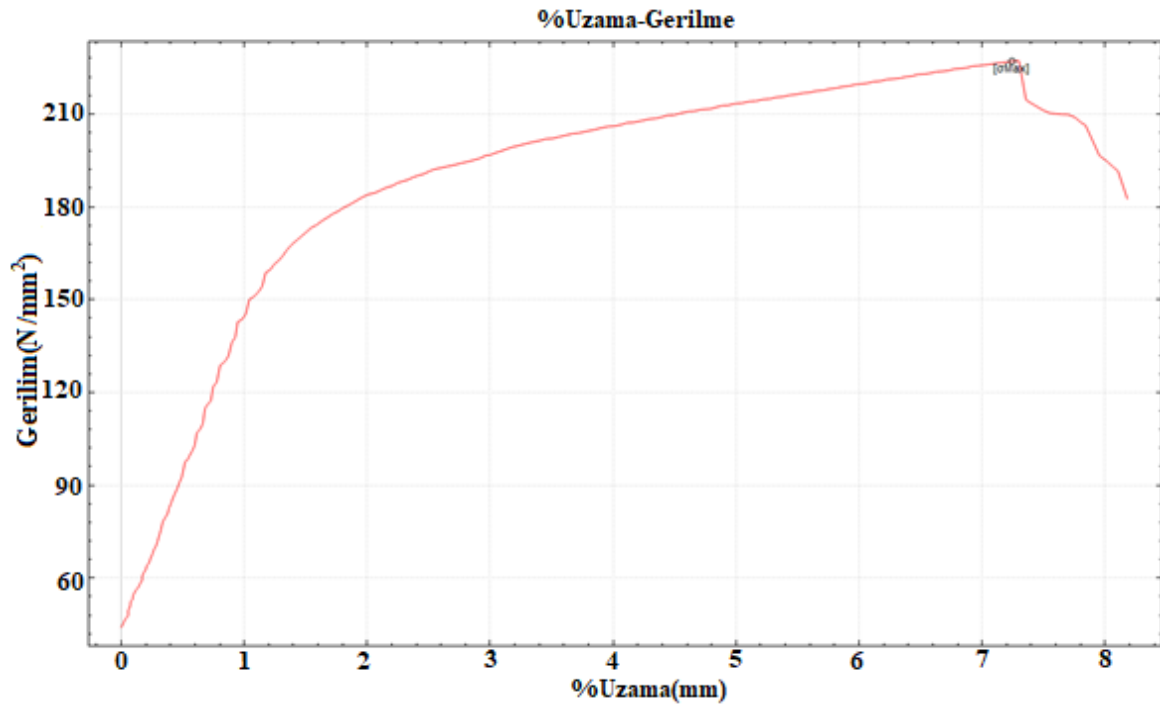
Grafik 5. 23. 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 23.'teki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 225.4 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra eğrinin dalgalı şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden uzama ve devamında yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



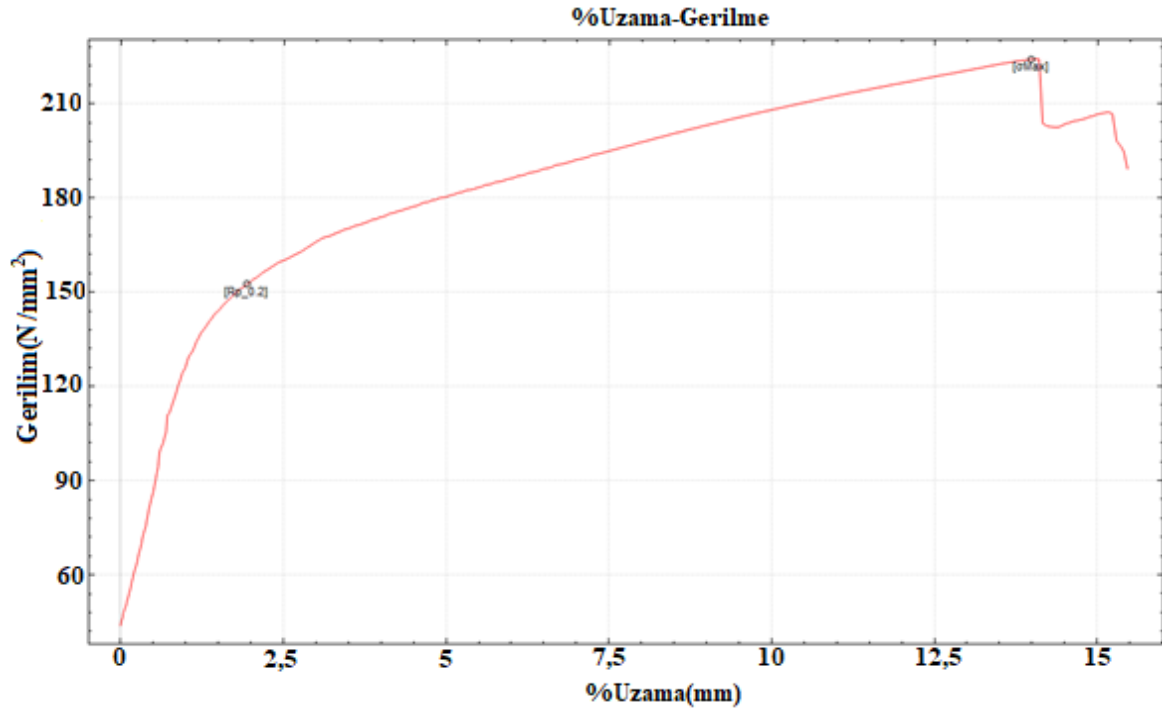
Grafik 5. 24. 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 24.'deki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 2 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 227.8 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.7 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin ani şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden ayrılmasından sonra malzemenin kaynak bölgesinden farklı bir yüzeyinde yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir



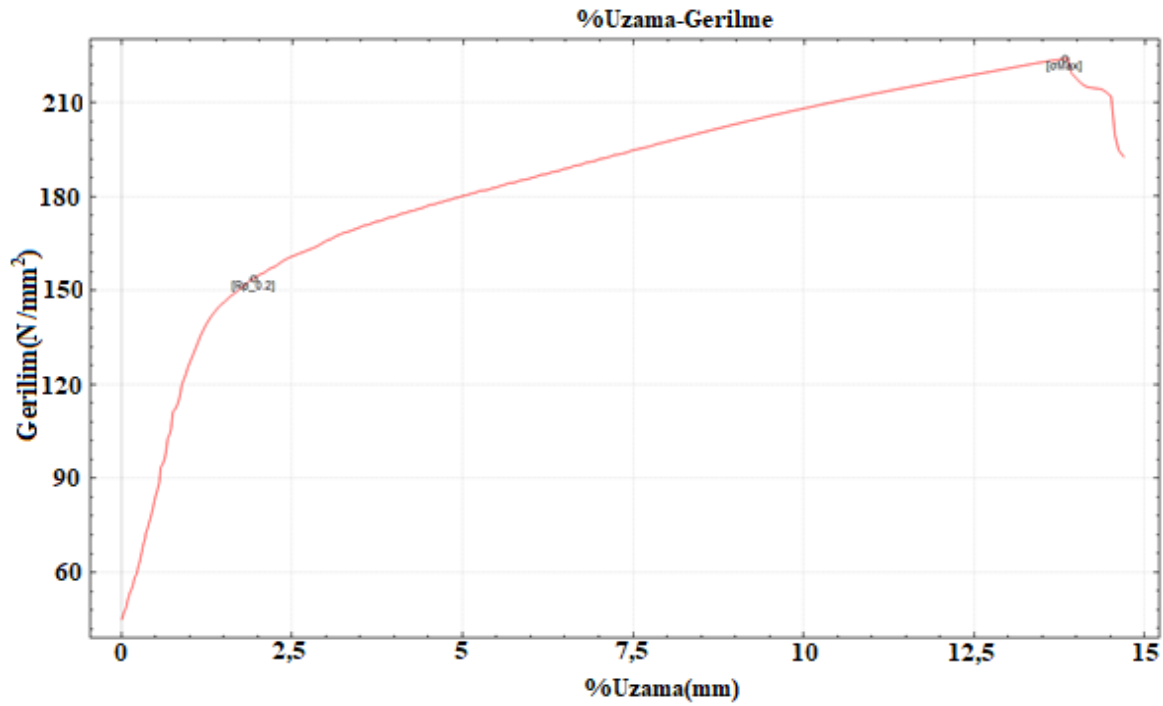
Grafik 5. 25. 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 25.'deki grafikte 1. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 227.2 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin ani ve dalgalı şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden uzama ve devamında yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



Grafik 5. 26. 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama-gerilme grafiği

Grafik 5. 26.'daki grafikte 2. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 224.2 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaşıldıktan sonra eğrinin ani ve dalgalı şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden uzama ve devamında yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.



Grafik 5. 27. 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli paslanmaz çelik sac levha çiftinin % uzama gerilme grafiği

Grafik 5. 27.'deki grafikte 3. deney grubunda yer alan 0.8 mm kalınlıktaki baklava desenli paslanmaz çelik sac kaynaklı malzemeye 4 saniye süre ile elektrot baskı kuvveti uygulanmasının ardından uygulanan maksimum çekme mukavemeti (R_m) değerinin 224.0 N/mm^2 olduğu görülmektedir. Bu değer 0.8 mm kalınlıktaki yatay desenli malzemenin kaynak dayanım değerini göstermektedir. Maksimum noktaya ulaştıktan sonra eğrinin ani ve dalgalı şekilde aşağı yönde devam etmesi malzemenin kaynak bölgesinden uzama ve devamında yırtılmanın meydana geldiğini göstermektedir.

6. SONUÇLAR

Çekme deneyi sonucu elde edilmiş olan veriler taguchi yöntemi ile analiz edildiğinde ANOVA test sonuçlarına göre sac kalınlığı ve kaynak süresi arttıkça belli bir seviyeye kadar kaynak kabiliyetinin arttığı görülmüştür. Aynı şekilde sac kalınlığı arttıkça malzemede meydana gelen uzama miktarının da arttığı gözlenmiştir. Çelik malzemelerin elektrik direnç nokta kaynağı ile kaynaklı birleştirmelerinde kaynak süresi ve kaynak akımının artması ile malzemeye nüfuz eden ısı girdisinin artması, oluşan çekirdek çapının büyümesine sebebiyet vermektedir (Aydin, Tutar ve Bayram, 2016; Ertek Emre ve Kaçar, 2016). Çekirdek çapında meydana gelen bu artış da kaynağın malzemeye etki eden kesit alanını artırarak kaynaklı birleştirmelerde kaynak mukavemetinin artmasını sağlamaktadır. Ancak ısı girdisindeki artış, diğer taraftan elektrik direnç nokta kaynağı ile birleştirilen malzemelerde kaynağın çökme miktarının artmasına neden olur (Aydin, Tutar ve Bayram, 2016; Tutar, Aydin ve Bayram, 2017). Bu durum kaynaklı bölgedeki kesitin incilmesi sebebi ile çentik etkisi oluşturarak daha düşük seviyelerde kaynak mukavemetine neden olabilmektedir. Kaynak sürelerinin artışı, yüksek ısı girdisine sebebiyet verdiğinden kaynak mukavemetinde düşüşe neden olur (Tutar, Aydin ve Bayram, 2018). Yapılan analizler sonucu elde edilen grafik ve tablolarda bu durum gözlenmiştir. Kaynak süresi arttıkça kaynaklı malzemelerin kaynak bölgelerinde meydana gelen incelme sebebi ile çekme testleri esnasında kaynak bölgelerinden kopmalar olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan kaynak kalınlığı arttıkça yüksek kaynak sürelerinde malzemeye ısı girdisinin artması sebebiyle kaynaklı bölgelerde kaynak mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Bu durum çekme testlerinde malzemenin kaynak bölgesinden kopmamasına ve devam eden çekme deneyinde malzemenin uzama değerinde artışa ve devamında kaynak bölgesinden değil de malzemedan yırtılarak kopmaya sebep olduğu görülmüştür. Bu durum, sac kalınlığı arttıkça artan kaynak süresinin kaynak kabiliyeti üzerinde olumlu yönde etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda sac kalınlığı arttıkça kaynak süresine bağlı olarak kaynak mukavemeti arttığından, malzemenin mukavemetinin zayıf olduğu kaynaklı birleştirmelerde malzemedan kopmalar meydana gelmesi sebebi ile düşük çekme mukavemeti (R_m) değerlerinin elde edildiği görülmüştür. ANOVA testleri sonucu elde edilen grafik ve tabloların bu durumu desteklediği görülmektedir. Baklava desenli kaynaklı birleştirmenin R_m değeri en yüksek değere sahip iken düşey desenli kaynaklı birleştirmenin en düşük R_m değerine sahip olduğu görülmüştür. Diğer yandan 0.5 mm kalınlığa sahip kaynaklı birleştirmenin en düşük R_m değerine sahip olduğu, 0.8 mm kalınlığa sahip

kaynaklı birleştirmenin ise en yüksek R_m değerine sahip olduğu görülmektedir. Yapılan S/N testlerinde elde edilen ortalamalara göre 0.7 mm kalınlıktaki kaynaklı birleştirmelerin daha yüksek R_m değerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerde her bir deney numunesi ayrı ayrı değerlendirildiğinde 0.8 mm kalınlıktaki kaynaklı birleştirmelerin daha yüksek R_m değerine sahip olması beklenirken desen, kalınlık ve kaynak süresi faktörleri birlikte değerlendirildiğinde yapılan analizler sonucu 0.7 mm kalınlıkta, baklava desenli ve 6 saniye süre ile kaynaklanmış kaynaklı malzemenin daha yüksek R_m değerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı şekilde her bir deney numunesi ayrı ayrı değerlendirildiğinde en düşük R_m değerinin 0.5 mm kalınlıkta, 2 saniye süre ile kaynaklanmış kaynaklı birleştirmelerde olması beklenirken desen, kalınlık ve kaynak süresi faktörleri birlikte değerlendirildiğinde yapılan analizler sonucu 0.5 mm kalınlıkta, düşey desenli ve 4 saniye süre ile kaynaklanmış kaynaklı birleştirmenin en düşük R_m değerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akyol, M. (2001). *Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Anık, S. ve Eryürek, B. (1977). Study of Contact Resistance in Electrical Resistance Spot Welding. *Sakarya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Bülteni (Bulletin of The School of Engineering and architecture of Sakarya)*, 3, 1-18.
- Anık, S., Anık, E. ve Vural, M. (2000). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*. İstanbul: Birsen.
- Anık, S., Oğur, A., ve Aslanlar, S. (1999). Galvaniz Kaplanmış Kromatlı Mikro Alaşımlı Çelik Saçların Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Kaynak Akım Şiddetinin Çekme-Makaslama Dayanımına Etkisi. *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi*, 117-124.
- Akkuş, A. ve Vural, M. (2003). Direnç nokta kaynaklı galvanizli YDDA çelik saçların statik ve dinamik dayanımı üzerine çekirdek çapının etkisi. *TMMOB, Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*.
- Aktaş, S. (2008). *Otomotiv sektöründe kullanılan dual faz saçların direnç nokta kaynağında mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Antika, Y.E. (2017). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerin direnç nokta kaynağı (RSW) ile birleştirilip mekanik özelliklerinin ve kabul kriterlerinin incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Aydin, H., Tutar, M., ve Bayram, A. (2016). The influence of welding time on mechanical properties of resistance spot welded TWIP steel sheets. *Machines. Technologies. Materials.*, 10(11), 19-22.
- Ayyıldız, C. (2008). *Demir (Fe) esaslı toz metal (TM) parçaların farklı kaynak yöntemleri ile birleştirilmesinde kaynak bölgesinin incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brown, B. M. (1987). A comparison of AC and DC resistance welding of automotive steels. *Welding Journal*, 66(1), 18-23.
- Byrne, D. M., ve Taguchi, S. (1987). The Taguchi approach to parameter design. *Quality progress*, 20(12), 19-26.
- Canıyılmaz, E., ve Kutay, F. (2003). Taguchi metodunda varyans analizine alternatif bir yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(3), 51-63.

- Che, Y., Wang, L., Sun, D., Li, H. ve Geng, W. (2018). Microstructures and mechanical properties of resistance spot-welded steel/aluminum alloy joints with process. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27, 5532–5544.
- Cretteur, L. ve Koruk, A. I. (2003). Heat treatments to improve weldability of new multiphase high strength steels. In *Materials science forum* (Vol. 426, pp. 1225-1230). Trans Tech Publications Ltd., Zurich-Uetikon, Switzerland.
- Çebi, E. H. (2021). *Kaynak akım şiddetinin kaynak elektrot ömrüne etkisinin incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.
- Çimen, M. ve Akkuş, A. (1999). Nokta Direnç Kaynağında Sıcaklık Dağılımının İncelenmesi, *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı*. Kitap No:363, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- Defourny, J. ve Leroy, V. (1989). Compared Possibilities and Limitations of Resistance Spot Welding and Adhesive Bonding for Structural Joints in Coated Steel Sheets. *Tagungsband „Widerstandsschweißen ‘89, Möglichkeiten und Grenzen “*, Essen, 18, 26-31.
- Dehnad K. (2012). *Quality control, robust design, and the Taguchi method*. Springer Science ve Business Media.
- Donders, S., Brughmans, M., Hermans, L. ve Tzannetakis, N. (2005). The effect of spot weld failure on dynamic vehicle performance. *Sound and Vibration*, 39(4), 16-25.
- Dong, S. J., Kelkar, G. P. ve Zhou, Y. (2002). Electrode sticking during micro-resistance welding of thin metal sheets. *IEEE transactions on electronics packaging manufacturing*, 25(4), 355-361.
- Doruk E., Pakdil M., Çam G., Durgun I. ve Kumru U. C. (2015) Otomotiv sektöründe direnç nokta kaynağı Tofaş uygulamaları. *Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi*, 20-21 Kasım 2015, 29–38, Ankara.
- Erik, M. (2010). *Farklı kalınlıklarda galvaniz kaplanmış çelik sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ertek Emre, H., ve Kaçar, R. (2016). Resistance spot weldability of galvanize coated and uncoated TRIP steels. *Metals*, 6(12), 299.
- European Standard, TS EN 25822, (1999). Spot Welding Equipment Tapes Plug Gauges and Tapes Ring Gauges.
- Fidaner, O., Kurtulmuş, M. ve Yükler, A. İ. (2010). Galvanize Çeliklerin Nokta Kaynağında Elektrodların Deformasyonu.

- Fraley, S., Oom, M., Terrien, B. ve Date, J. (2006). Design of experiments via Taguchi methods: orthogonal arrays. *The Michigan Chemical Process Dynamic and Controls Open Text Book*, 2(3), 4.
- Gugel, M. D. (1995). Electrode wear mechanisms during the resistance spot welding of hot-dipped galvanized steel, *PhD Thesis*, MTU, Michigan.
- International Organization for Standardization, Metallic materials- Tensile testing – Part-1 (2009). Method of test at room temperature, *ISO 6892-1*, *International Organization for Standardization*, Cenevre.
- Gür, A. K., ve Kaya, S. (2017). Abrasive wear resistance optimization of three different carbide coatings by the Taguchi method. *Materials Testing*, 59(5), 450-455.
- Harlin, N., Jones, T. B., ve Parker, J. D. (2003). Weld growth mechanism of resistance spot welds in zinc coated steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 143, 448-453.
- Hilditch, T. B., Speer, J. Y., ve Matlock, D. K. (2007). Effect of susceptibility to interfacial fracture on fatigue properties of spot-welded high strength sheet steel. *Materials ve design*, 28(10), 2566-2576.
- Kabaklı, E. (2009), *Optimization of Process Parameters of Drilling Using The Taguchi Method*, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kackar, R. N. (1989). Taguchi's quality philosophy: analysis and commentary. In *Quality control, robust design, and the Taguchi method*, 3-21, Springer, Boston, MA.
- Kamber, B. R. (2019). *Negatif İyon Jeneratörlerinin Ürettiği Negatif İyonların Voltaj, Hava Hızı Değişimi ve Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak Etki Alanlarının Araştırılması ve Taguchi Metodu ile Optimizasyon Analizi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kanga, J., Raoa, H.M., Siglerb, D.R., ve Carlson B.E. (2017). Tensile and Fatigue Behaviour of AA6022-T4 to IF Steel Resistance Spot Welds. *Procedia Structural Integrity*, 5: 1425-1432.
- Karagoulis, M. J. (1991). *Control of materials processing variables in production resistance spot welding*. Michigan State University.
- Kianersi, D., Mostafaei, A. ve Amadeh, A.A. (2014). Resistance spot welding joints of AISI 316L austenitic stainless steel sheets: Phase transformations, mechanical properties and microstructure characterizations. *Materials and Design*, 61, 251–263.
- Kim, S. J., Lee, C. G., Choi, I., ve Lee, S. (2001). Effects of heat treatment and alloying elements on the microstructures and mechanical properties of 0.15 wt pct C transformation-induced plasticity-aided cold-rolled steel sheets. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 32(3), 505-514.

- Kimichi, M., Gould, J., Colombus, M., Helenius, A., Heppi, H., ve Nipperet, R. A. (1989). Evulation of Various Elektrode Materials for Resistance Spot Welding Thin Galvanized Steel Sheets, 54-60.
- Kimchi, M., ve Phillips, D. H. (2017). Resistance Spot Welding: Fundamentals and Applications for the Automotive Industry. *Synthesis Lectures on Mechanical Engineering* (Vol. 1).
- Koral, M. (2018). *5052 Alüminyum Alaşım Oranı 0,6 Olan Metal Matrisli Kompozit Malzeme ile Mekanik Araç Krikosu Gerilme Analizi ve Taguchi Metodu*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Kumar, R., Jasgurpreet, S. C., Rohit, G., ve Chauhan, P. (2020). Impact of process parameters of resistance spot welding on mechanical properties and micro hardness of stainless steel 304 weldments. *International Journal of Structural Integrity*, 12(3), 366-377.
- Lane, C. T., Sorensen, C. D., Hunter, G. B., Gedeon, S., ve Eagar, T. W. (1987). Cinematography of resistance spot welding of galvanized steel sheet. *Weld. J.*, 66(9), 260.
- Marashi, P., Pouranvari, M., Amirabdollahian, S., Abedi, A., ve Goodarzi, M. (2008). Microstructure and failure behavior of dissimilar resistance spot welds between low carbon galvanized and austenitic stainless steels. *Materials science and engineering: A*, 480(1-2), 175-180.
- Mercan, Ş. (2019). *Deney Tasarımı ve Yapay Zeka Tekniklerinden Yaralanarak Ürün Kalitesinin Geliştirilmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Mutlusu, Ö. (2019). *Derin çekilebilir çelik sacların hafif metaller ile noktasal kaynak edilebilirliğinin araştırılması*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Němeček, S., Mužík, T., ve Míšek, M. (2012). Differences between laser and arc welding of HSS steels. *Physics Procedia*, 39, 67-74.
- Oğuz, H. (2018). *Paslanmaz çelik-galvanizli çelik çiftinin elektrik nokta direnç kaynağında kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirmenin dayanım ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Pervaiz, M., Panthapulakkal, S., Sain, M. ve Tjong, J. (2016). Emerging trends in automotive lightweighting through novel composite materials. *Materials Sciences and Applications*, 7(01), 26-38.

- Ramazani, A., Mukherjee, K., Abdurakhmanov, A., Abbasi, M., ve Prahl, U. (2015). Characterization of microstructure and mechanical properties of resistance spot welded DP600 steel. *Metals*, 5(3), 1704-1716.
- Ross, P. J. ve McGraw, T. (2005). Taguchi Techniques for Quality Engineering. *New York: McGraw-Hill*.
- Rwma, E. (2003). Resistance welding manual. *ed: Philadelphia, PA: RWMA*, 30-32.
- Sarı, H. (2002). *Alüminyum alaşımlarının nokta direnç kaynağında direnç bileşenleri ve nokta boyutları arasındaki ilişkinin incelenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Shi, G., ve Westgate, S. A. (2003). Resistance spot welding of high strength steels. *Int. J. Joining Mater.*, 16, 9-14.
- Sing, S. H., Ruxton, T. ve Wang, J. (2001). Taguchi concepts and their applications in marine and offshore safety studies, *Journal of Engineering Design*, 12(4), 331-358.
- Şirvancı, M. (1997). Kalite için deney tasarımı yaklaşımı, taguchi yaklaşımı. *Wisconsin Üniversitesi İşletme Fakültesi, ABD*.
- Thakur, A. G., Rao, T. E., Mukhedkar, M. S. ve Nandedkar, V. M. (2010). Application of Taguchi method for resistance spot welding of galvanized steel. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(11), 22-26.
- Tutar, M., Aydın, H. ve Bayram, A. (2017). Effect of weld current on the microstructure and mechanical properties of a resistance spot-welded TWIP steel sheet. *Metals*, 7(12), 519.
- Tutar, M., AYDIN, H. ve Bayram, A. (2018). Elektrik direnç punta kaynağı ile kaynak edilmiş TWIP çeliklerinde kaynak parametrelerinin Taguchi yöntemi ile optimizasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 650-657.
- Uijl, N. ve RD&T, T. S. (2010). Resistance spot welding of a complicated joint in new advanced high strength steel. In *Proceedings of the 6th International Seminar on Advances in Resistance Welding, Hamburg*.
- Vural, M. (1992). *Galvanizli çelik sacların karbonlu ve ferritik paslanmaz çelikler ile nokta kaynağında kaynak parametrelerinin kaynak davranışına ve bağlantının dayanımına etkisi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yanar, N. (2008). *Hidrolik silindir imalatında yüzey pürüzlülüğüne etkili parametrelerinin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Yıldırım, O. (2010). *Otomotiv endüstrisinde kullanılan nokta direnç kaynak uygulamalarında işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, M. ve Keskin, M. E. (2019). Determination of Optimal Reading Conditions by Taguchi Method. *Acad. Platf. J. Eng. Sci.*, 7(1), 24–32.
- Yuan, X., Li, C., Chen, J., Li, X., Liang, X. ve Pan, X. (2017). Resistance spot welding of dissimilar DP600 and DC54D steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 239, 31-41.
- Yürük, A. (2015). *Elektrik nokta direnç kaynak yöntemi ile birleştirilen farklı özellikteki paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinin karakterizasyonu*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Zhang, H. ve Senkara, J. (2011). *Resistance welding: fundamentals and applications*. CRC press.

ÖZGEÇMİŞ

ADI SOYADI : MURAT KARAKÖSE

BİLİMSEL FAALİYETLER

1. IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu 18-20 Nisan 2018, Trakya Üniversitesi, Edirne
2. 3. Uluslararası Mühendislik-Mimarlık Ve Tasarım Kongresi 04-05 Mayıs 2018, Kocaeli
3. İstanbul International Modern Scientific Research Congress –III

