

**GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ULTRASONİK DİKİŞ KAYNAĞI
İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN
BAĞLANTI KALİTESİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE YENİYİL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
AĞUSTOS-2018**

**GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ULTRASONİK DİKİŞ KAYNAĞI
İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN
BAĞLANTI KALİTESİNE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE YENİYİL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Prof. Dr. Uğur EŞME**

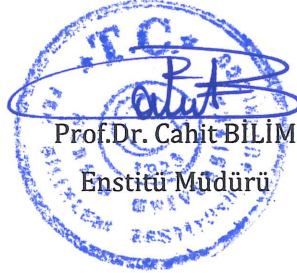
**MERSİN
AĞUSTOS-2018**

ONAY

Emre YENİYİL tarafından Prof. Dr. Uğur EŞME danışmanlığında hazırlanan “Güneş Kollektörlerinin Ultrasonik Dikiş Kaynağı İle Birleştirilmesinde İşlem Parametrelerinin Bağlantı Kalitesine Etkileri” başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 06.08.2018 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Uğur EŞME	
Üye	Dr.Öğr. Üyesi İrem ERSÖZ KAYA	
Üye	Dr.Öğr. Üyesi Cem BOĞA	
Üye		
Üye		

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 29/08/2018 tarih ve 2018-1155/33 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

06 Ağustos 2018/06 August 2018

Emre YENİYİL

ÖZET

GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ULTRASONİK DİKİŞ KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN BAĞLANTI KALİTESİNE ETKİLERİ

Ultrasonik dikış kaynağı iki parçanın ara yüzeyine ultrasonik frekansta titreşimsel kayma gerilmeleri uygulanarak birleştirildiği katı hal kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi günümüzde polimerik malzemelerin birleştirilmesi dışında demir dışı metallerin birbirleri ile birleştirilmesinde de tercih edilmektedir. Bunların en başında güneş enerjisi sistem elemanlarından biri olan güneş kollektörlerinin, ısı tutucu elemanlarından olan selektif kaplı levhanın, ısı taşıyıcı borular ile birleştirilmesi gelmektedir. Bu iki malzeme kaynak edilirken, işlem parametre düzeyleri selektif levha ile ısı taşıyıcı boru arasındaki ısı transferini etkilemeyecek düzeyde ve numunelerde herhangi bir deformasyona yol açmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu parametrelerin optimize edilmesi amacıyla sabit basınç değerlerinde 4 m/dk, 8 m/dk, 12 m/dk ve 16 m/dk'lık kaynak hızları ve 4 µm 5 µm ve 6 µm genlik düzeylerinde birleştirilen bakır numunelerine ayrı ayrı çekme-kayma testi yapılmış ve kayma gerilmesi değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca kaynak bölgesine ait taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüler sunulmuş olup, birleştirilmiş ara yüzeye ait sertlik ölçümleri alınmıştır. En optimum kaynak performansına 4 µm genlik, 12 m/dk kaynak hızı değerlerinde ulaşılmış olup, bu parametrelerde ortalama kayma gerilmesi değeri 0.1386 MPa ortalama sertlik değeri ise 112 HV olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik Dikış Kaynağı, Ultrasonik Dikış Kaynağı İşlem Parametreleri, Güneş Kollektörleri.

Danışman: Prof.Dr. Uğur EŞME, Mersin Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

EFFECTS OF PROCESS PARAMETERS ON CONNECTION QUALITY OF SOLAR COLLECTORS WITH ULTRASONIC SEAM WELDING

The solid state welding method in which the ultrasonic seam welding is joined to the interface of two parts by applying ultrasonic frequency vibrational shear stresses. This welding method is also preferred nowadays when non-ferrous metals are combined with each other except for joining of polymeric materials. At the top of these, solar collectors, one of the components of the solar energy system, combine with the selective-coated plate of heat-retaining elements with heat-conducting pipes. When these two materials are welded, the process parameter levels should be adjusted so as not to affect the heat transfer between the selective plate and the heat transfer pipe, and not to cause any deformation of the samples. In order to optimize these parameters, welding speeds of 4 m / min, 8 m / min, 12 m / min and 16 m / min at constant pressure values and specimens of copper specimens joined at 4 μ m 5 μ m and 6 μ m amplitude levels, and the shear stress values were calculated. In addition, images obtained by scanning electron microscopy of the source region were presented and hardness measurements of the combined interface were taken. The optimum welding performance was achieved at 4 μ m amplitude and 12 m / min welding speeds, where the mean shear strain value was measured as 0.1386 MPa and the mean hardness value as 112 HV.

Keywords: Ultrasonic Seam Welding, Ultrasonic Seam Welding Process Parameters, Solar Collectors.

Supervisor: Prof.Dr. Uğur EŞME, Mersin University, Department of Manufacturing Engineering, Mersin.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince her zaman yanımda olup, beni yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Uğur Eşme'ye ve çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Cem Boğa ve Dr. Öğr. Üyesi İrem Ersöz Kaya'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yaptığım çalışmanın en büyük destekçilerinden olan Şimşek Güneş Enerjisi San. Tic. Ltd. Şti. ortakları Sinan Şimşek, İnan Şimşek Hasan Şimşek ve çalışma arkadaşlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca numunelerin kayma testlerinde yardımlarını esirgemeyen İstanbul Teknik Üniversitesi Öğretim üyesi Prof. Dr. Halit Türkmen ve testleri yapmamda yardımcı olup beni İstanbul'da ağırlayan Uzman Dr. Müslüm Çakır'a bakalitleme ve sertlik ölçümleri için Adana Kosgeb müdürü Adil Göksel ve teknisyen Gürcan Yurtsever'e mikroyapı analizleri için Çukurova Üniversitesi Öğretim üyesi Doç. Dr. Ahmet Ekicibil ve Uzman Dr. Deniz Kadir Takcı'ya teşekkürü borç bilirim.

Lisans dönemim boyunca karşılaştığım her zorlukta yanımda olan, desteklerini ve yardımlarını hiçbirzaman esirgemeyen aileme çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLOLAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xiii
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMALARI	2
2.1 LİTERATÜR TARAMASI	2
2.2 ULTRASONİK DİKİŞ KAYNAĞI YÖNTEMİ	4
2.2.1 Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yönteminin Tanımı	4
2.2.2 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Tarihçesi	5
2.2.3 Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yöntemi Çalışma Prensibi	5
2.2.4 Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yönteminin Ekipmanları	7
2.2.4.1 Kontrol Ünitesi (Jeneratör)	7
2.2.4.2. Dönüştürücü (Converter-Transducer)	7
2.2.4.3 Yükseltici (Booster)	8
2.2.4.4 Sonotrot (Horn)	9
2.2.5 Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yönteminin işlem Parametreleri	10
2.2.5.1 Uygulama Frekansı	11
2.2.5.2. Titreşim Genliği (Amplitude)	11
2.2.5.3. Kaynak Basıncı	11
2.2.5.4 Güç Enerji ve Kaynak Hızı	12
2.2.5.5 Malzeme Seçimi	13
2.2.5.6 Ultrasonik Kaynağın Avantajları ve Dezavantajları	15
2.2.5.7 Ultrasonik Kaynağın Kullanım Alanları	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM	17
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	17
3.2 Kullanılan Kaynak Cihazı ve Özellikleri	18
3.3 Numunelerin Hazırlanması	19
3.3.1 Numunelerin Kesilmesi	19
3.3.2 Yüzey Temizleme İşlemleri	20
3.3.3 Numunelerin Kaynaklanması	21
3.3.4 Görsel Muayene	25
3.4 Test İşlemleri	25
3.4.1 Çekme-Kayma Testi	25
3.4.2 Bakalite Alma ve Yüzey Zımparalama İşlemleri	28
3.4.3 Mikro Yapı Analizi (Taramalı Elektron Mikroskobu)	31
3.4.4 Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS Analizi)	32
	viii

3.4.5 Mikrosertlik Ölçümleri (Vickers-Sertlik Testi)	32
4.BULGULAR ve TARTIŞMA	34
4.1 Çekme-Kayma Testi	34
4.1.1 Genlik Değişiminin Bağlantı Kalitesine Olan Etkisinin İncelenmesi	46
4.1.2 Kaynak Hızının Bağlantı Kalitesine Olan Etkisinin İncelenmesi	50
4.2 Mikro Yapı Analizi (Taramalı Elektron Mikroskobu)	53
4.2.1 Genlik Değişiminin Etkisi	53
4.2.2 Kaynak Hızının Etkisi	54
4.3 Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS Analizi)	56
4.4 Mikrosertlik Ölçümleri (Vickers-Sertlik Testi)	59
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	67



TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Bakır alaşımının kimyasal bileşimi.	17
Tablo 3.2. Kullanılan sacın ebatları, mekanik, optik ve fiziksel özellikleri.	17
Tablo 3.3. Schunk USC III kaynak cihazının teknik özellikleri.	18
Tablo 3.4. Kullanılan kaynak parametreleri ve numuneye 1 sn’de aktarılan ortalama enerji akışı.	22
Tablo 4.1. 4 m/dk Kaynak hızı 4,5,6 µm genlik değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.	46
Tablo 4.2. 8 m/dk Kaynak hızı 4,5,6 µm genlik değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.	47
Tablo 4.3. 12 m/dk Kaynak hızı 4,5,6 µm genlik değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.	48
Tablo 4.4. 16 m/dk Kaynak hızı 4,5,6 µm genlik değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.	49
Tablo 4.5. 4 µm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.	50
Tablo 4.6. 5 µm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.	51
Tablo 4.7. 6 µm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.	52
Tablo 4.8. 4 µm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde ölçülen sertlik değerleri.	59
Tablo 4.9. 5 µm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde ölçülen sertlik değerleri.	60
Tablo 4.10. 6 µm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde ölçülen sertlik değerleri.	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ultrasonik kaynak ekipmanları.	4
Şekil 2.2. Ultrasonik dikiş kaynağı prensibi.	6
Şekil 2.3 Ultrasonik dikiş kaynağı sistem elemanları.	6
Şekil 2.4. Ultrasonik dikiş kaynağı kontrol ünitesi.	7
Şekil 2.5. Dönüştürücünü yapısı.	8
Şekil 2.6. Yükselticinin yeri ve genliğe etkisi.	8
Şekil 2.7. Farklı şekillerde imal edilmiş sonotrot tipleri.	9
Şekil 2.8. (a) Yeni sonotrot'un deforme olmamış yüzeyine ait görsel (b) sonotrot'un deforme olan yüzeyine ait görsel.	10
Şekil 2.9. Ultrasonik kaynakta güç enerji ve sürenin ilişkisi.	12
Şekil 2.10. Ultrasonik kaynak ile birleştirilebilen metal malzemeler.	13
Şekil 2.11. Ultrasonik kaynak ile birleştirilebilen polimer malzemeler.	14
Şekil 2.12. Ultrasonik kaynağın (a) tekstil sektöründeki (b) enerji sektöründeki (c) otomotiv sektöründeki kullanım alanları.	16
Şekil 3.1. Ultrasonik dikiş kaynağı cihazı ve kontrol ünitesi.	19
Şekil 3.2. Minimum dikiş yapılabilecek kalıp mesafesi.	19
Şekil 3.3. Boru ve sacın kesim işleminden sonraki hali.	20
Şekil 3.4. 3M marka yüzey temizleme bezi.	21
Şekil 3.5. Numunenin zımparalanan ve kaynak yapılan yönlerinin gösterimi.	21
Şekil 3.6. Numunelerin cihaza yerleştirilmesi ve kaynak işlemine ait görseller.	23
Şekil 3.7. 5 µm Genlik ve 16 m/dk kaynak hızı parametrelerinde kaynaklanmış numuneye ait görseller ve kaynak bölgesinin ölçüleri.	24
Şekil 3.8. Farklı parametre düzeylerinde kaynak yapılmış olan numunelere ait görseller.	24
Şekil 3.9. MTS 322.21 marka çekme test cihazı ve kontrol ünitesi.	25
Şekil 3.10. Çekme-kayma testine hazır hale getirilmiş numuneler.	26
Şekil 3.11. Numunenin çekme test cihazına bağlanması ve gerilmeye bağlı kalan kaynak bölgesinin ölçüleri.	27
Şekil 3.12. Çekme-kayma testi başarıyla tamamlanmış olan numunelere ait görseller.	27
Şekil 3.13. Hazırlanan numunelerin numaralandırılması ve paketlenmesi.	29
Şekil 3.14. Bulumount-1 model bakalit presi.	29
Şekil 3.15. Buehler Metaserv marka su zımpara makinesi.	30
Şekil 3.16. Bakalitlenip yüzeyi zımparalanmış numuneler.	30
Şekil 3.17. Quorum Q150R ES marka numune kaplama cihazı.	31
Şekil 3.18. FEI QUANTA FEG 650 marka taramalı elektron mikroskobu.	32
Şekil 3.19. Wilson Hardness 1102 marka mikrosertlik ölçüm cihazı.	33
Şekil 3.20. Kaynak bölgesinden ölçüm alınan bölgelerin gösterimi.	33
Şekil 4.1. Genlik 4 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	34
Şekil 4.2. Genlik 4 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	34
Şekil 4.3. Genlik 5 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	35
Şekil 4.4. Genlik 5 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	35
Şekil 4.5. Genlik 6 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	36
Şekil 4.6. Genlik 6 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	36
Şekil 4.7. Genlik 4 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	37
Şekil 4.8. Genlik 4 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	37
Şekil 4.9. Genlik 5 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	38
Şekil 4.10. Genlik 5 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	38
Şekil 4.11. Genlik 6 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	39

Şekil 4.12. Genlik 6 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	39
Şekil 4.13. Genlik 4 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	40
Şekil 4.14. Genlik 4 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	40
Şekil 4.15. Genlik 5 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	41
Şekil 4.16. Genlik 5 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	41
Şekil 4.17. Genlik 6 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	42
Şekil 4.18. Genlik 6 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	42
Şekil 4.19. Genlik 4 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği	43
Şekil 4.20. Genlik 4 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	43
Şekil 4.21. Genlik 5 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	44
Şekil 4.22. Genlik 5 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	44
Şekil 4.23. Genlik 6 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	45
Şekil 4.24. Genlik 6 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği.	45
Şekil 4.25. 4 m/dk Kaynak hızında genlik değişiminin kayma gerilmesine etkisi.	46
Şekil 4.26. 8 m/dk Kaynak hızında genlik değişiminin kayma gerilmesine etkisi.	47
Şekil 4.27. 12 m/dk Kaynak hızında genlik değişiminin kayma gerilmesine etkisi.	48
Şekil 4.28. 16 m/dk Kaynak hızında genlik değişiminin kayma gerilmesine etkisi.	49
Şekil 4.29. 4 µm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin kayma gerilmesine etkisi.	50
Şekil 4.30. 5 µm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin kayma gerilmesine etkisi.	51
Şekil 4.31. 6 µm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin kayma gerilmesine etkisi.	52
Şekil 4.32. 8 m/dk Sabit hızda 4 µm genlik değerlerinde kaynatılmış numunenin (a) 2000 µm'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri (b) 500 µm'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri.	53
Şekil 4.33. 8 m/dk Sabit hızda 6 µm genlik değerlerinde kaynak yapılmış numunenin (a) 1000 µm'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri (b) 500 µm'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri.	54
Şekil 4.34. 5 µm Genlik değerinde 4 m/dk kaynak hızında kaynak yapılmış numunenin (a) 2000 µm'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri (b) 500 µm'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri.	55
Şekil 4.35. 5 µm Genlik değerinde 16 m/dk kaynak hızında kaynak yapılmış numunenin (a) 2000 µm'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri (b) 500 µm'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri.	55
Şekil 4.36. Kaynak nüfuziyetini gösteren mikroyapı görüntüleri.	56
Şekil 4.37. Kaynak kesitinden alınan EDS analizi ve numunenin kimyasal bileşimi.	57
Şekil 4.38. Kaynak bölgesinin tüm yüzeyinden alınan EDS analizi ve numunenin kimyasal bileşimi.	58
Şekil 4.39. 4 µm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin sertliğe etkisi.	59
Şekil 4.40. 5 µm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin sertliğe etkisi.	60
Şekil 4.41. 6 µm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin sertliğe etkisi.	61

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
F	Kuvvet
A	Kaynaklı yüzey kesit alanı
τ	Kayma gerilmesi
W	Watt
N	Newton
μm	Mikrometre
m	Metre
mm	Milimetre
Nm	Manometre
MPa	MegaPascal
Al	Aluminyum
Cu	Bakır
dk	Dakika

1.GİRİŞ

İki veya daha fazla malzemeyi, ısı, basınç veya her ikisini birden uygulayarak aynı veya farklı özelliklerdeki metalleri ilave bir metal kullanarak veya kullanmaksızın yapılan birleştirme veya dolgu işlemlerine kaynak denir [1].

Endüstriyel uygulamalarda kullanılacak olan kaynak yöntemi, tercih edilen malzemenin özelliklerine ve teknolojisine göre seçilmelidir. Kaynaklı birleştirmeler, ergime ya da katı hal kaynak yöntemlerinden biri kullanılarak yapılmaktadır. Ergime kaynak yönteminde kaynak için ek malzeme olarak elektrot kullanılırken katı hal kaynak yönteminde ise ek malzemeye ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu yöntemde birleştirilecek malzemelerin birbirine basınç altında sürtünmesi ile malzemelerin temas noktaları yumuşamakta ve kaynak difüzyon yolu ile gerçekleşmektedir [2].

Ultrasonik kaynak, günümüzde plastik parçaların ve demir olmayan metallerin birleştirilmesi ve montajında kullanılan hızlı ve maliyetsiz bir katı hal kaynak yöntemidir. Ultrasonik kaynak, ekonomik olmanın yanı sıra çevreci bir teknolojidir. Çünkü bu yöntem kullanıldığında herhangi bir solvent bazlı kimyasallara ihtiyaç duyulmaz [3].

Ultrasonik kaynak yönteminde akustik bir parça olan sonotrot saniyede 20000 veya 40000 kez titreşimler oluşturur. Bu titreşimler birleştirilecek malzemelerin arayüzeyinde kayma gerilmeleri oluşturur. Bu gerilme sayesinde numuneler birleştirilir [3].

Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yöntemi daha çok güneş enerjisini toplayan kollektörlerin ısı tutucu elemanlarından olan, selektif kaplı levhanın, ısı taşıyıcı borular ile kaynaklanmasında kullanılır. Bu iki malzeme kaynak edilirken işlem parametreleri hem numunede deformasyona yol açmamalı hem de kaynak bölgesinin uzun zaman rijitliğini koruyacak biçimde ayarlanmalıdır.

2.KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1 LİTERATÜR TARAMASI

Ultrasonik kaynak yöntemi kullanılarak yapılmış çalışmalar kısaca şöyle özetlenebilir:

Shakeeb Z. A. [4] yaptığı çalışmada, ultrasonik punta metal kaynak sisteminin sonotrot tasarımı, karakterizasyonu ve testleri hakkında bilgi vermiştir. Ayrıca, kaynak mukavemeti ve kalitesinin sıkıştırma kuvveti, titreşim genliği, kaynak süresi ve giriş gücü gibi işlem parametrelerinin ilişkileri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Ultrasonik metal punto kaynak sisteminin kaynak performansının, akustik sonotrot tasarımına, dönüştürücünün verimliliğine ve jeneratörden güç sağlama kapasitesine bağlı olduğu gözlemlemiştir. Şengül O. [5] yaptığı çalışmada güneş enerji sistemlerinin, imalat ve çalışma esaslarına da değinmiş olup seçilen bakır soğurucu yüzey-bakır boru birleştirmelerinde frekans, genlik, hız ve basınç parametrelerinin etkilerini incelemiştir. Taş Y. [6] yaptığı çalışmada ultrasonik kaynak metodu ile plastiklerin kaynaklanmasına değinmiş üretim kolaylığı, çevrim süresi, maliyet, dayanım ve kalite açısından diğer birleştirme yöntemleri ile kıyaslanmasını gerçekleştirmiştir. Ayrıca günümüzde yeni gelişmekte olan ultrasonik kaynak metodu'nun avantajları irdelenmiş ve çeşitli örneklerle kullanım alanlarına değinilmiş ve parametrelerini incelemiştir. Tsujino J. ve Jeoka [7] 28 khz frekansda çalışan kompleks titreşim diskli ultrasonik dikiş kaynağı metodu kullanarak 0.3 mm ve 3.0 mm kalınlığında 50 mm genişlikteki alüminyum levha numuneleri, başarılı bir şekilde birleştirip numunelerin kaynak bölgelerine çekme testi uygulamıştır. Yine başka bir çalışmada Tsujino J. ve arkadaşları [8] 40, 60, 100 kHz değerinde yüksek frekanslı kompleks dairesel sonotrot'a sahip ultrasonik seam welding sistemi ile poliüretan kaplı bakır telleri 0.3 mm kalınlıktaki bakır plakalar ile kaynaklamıştır. Yüksek frekansda kaynatılan numunelerde oluşan deformasyonun düşük frekansda kaynaklanan numunelere göre daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Baboı M. ve Grewell D. [9] yaptıkları çalışmada sabit titreşim genliği ve kademeli titreşim genliğini kıyaslamıştır. Elde ettiği sonuçlarda kademeli genlik kullanımının sabit genliğe göre kaynak mukavemeti değerlerinde artışa neden olduğu gözlenmiştir. Ayrıca numune kalınlığı arttıkça kademeli genlik kullanımının yararlarının dahada belirgin olduğu görülmüştür. Xiangyu Dai ve arkadaşları [10] Tungsten ark kaynak destekli hibrit ultrasonik dikiş kaynak sistemi ile 1 mm kalınlığında MgAZ31B ve Al6061 alaşımlı plakaları direkt olarak başarı ile birleştirilmiştir. Ark kaynağı kullanılarak malzemenin azaltılan sertliği artan plastisitesi ile bu malzemelerin ultrasonik dikiş kaynağı metodu kullanılarak birbirirleri ile birleştirilmesi sağlanmıştır. Tsujino J. ve arkadaşları [11] 0.3-0.5 mm kalınlıkta alüminyum plakalar ile 2.0-5.0 kalınlıkta yine aynı malzemeden yapılmış plakaları ultrasonik dikiş kaynağı kullanarak birleştirmişlerdir. Yine başka bir çalışmada ultrasonik spot kaynağı ile ultrasonik

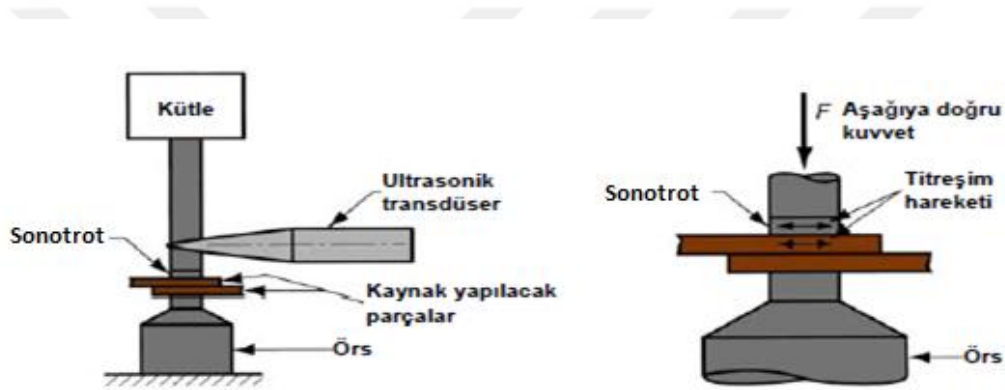
dikiş kaynağı metotları kullanılarak alüminyum-bakır bakır-bakır ve alüminyum-alüminyum numunelerin kaynak performanslarını ölçülmüşlerdir [12]. Wagner G. ve arkadaşları [13] ultrasonik kaynak yöntemi kullanılarak sadece bakır ve alüminyum malzemelerin değil farklı malzeme gruplarında kaynaklanabilmesinin mümkün olabileceğine dair bir araştırma yapmışlardır. Bu bağlamda metal-cam ve metal-seramik malzemeleri birleştirilmiştir. Elde edilen çekme testi sonuçlarında metal-cam birleştirmelerinde 50 MPa, metal-seramik birleştirilmesinde ise 150 Mpa'a kadar bir kesme kuvveti ölçmüşlerdir. Tsujino J. ve Ueoka T [14] 19 kHz frekansında çalışan ultrasonik dikiş kaynağı yöntemi ile 0,3 mm alüminyum plaka ile 1 mm kalınlıkta bakır plakaları kaynaklamış kaynak karakteristliğini incelenmişlerdir. Wienke J. ve arkadaşları [15] ultrasonik kaynak ekipmanı ile basınç, zaman ve genlik gibi bireysel kaynak parametrelerini, CISCuT güneş hücrelerinin elektrik bağlantısı için optimize etmişlerdir. Ultrasonik kaynak kuvveti hassas ayarlanarak, alüminyum bant ile güneş pili arasında deforme olmaksızın bir bağlantı kurmayı başarmışlardır. Shakil M. ve arkadaşları [16] ultrasonik punto kaynak parametrelerini optimize etmek amacıyla, 304 paslanmaz çelik ile 3003 alüminyum alaşımını çeşitli sıkıştırma basınçlarında (yani, 30, 40, 50 ve 60 psi) ve farklı enerji seviyelerinde (125 ve 150 J) birleştirip kaynağın mikro yapısı, mekanik özellikleri ve bağ kalitesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Kong ve arkadaşları [17] metallerin katmanlı bir şekilde basit yüzey temizleme işlemleri kullanarak ultrasonik kaynak yöntemi vasıtasıyla birleştirilmesini incelemişlerdir. Bu amaçla alüminyum 6061 alaşımı kullanarak, parametre optimizasyonu ve yüzey hazırlığı konuları ele alınmış, hem mekanik test hem de optik gözlem yoluyla kaynak kalitesini değerlendirmişlerdir.

Bu çalışmada Cu-DHP (Sf-Cu) bakır selektif levha ile yine aynı malzemeden imal edilmiş ısı taşıyıcı boru ultrasonik dikiş kaynağı yöntemi kullanılarak farklı kaynak değişkenleri ve bu değişkenlere ait farklı seviyelerde kaynak yapılarak birleştirilecek, kaynağın mekanik ve mikro yapı özellikleri incelenecektir. Böylece bu kaynak yöntemi için optimum kaynak parametreleri belirlenip güneş kollektör sistemlerinin kaynak edilmesinden doğabilecek performans düşüklüklerinin önüne geçilecektir.

2.2 ULTRASONİK DİKİŞ KAYNAĞI YÖNTEMİ

2.2.1 Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yönteminin Tanımı

Ultrasonik kaynakta birleştirilmek istenen parçalar, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi hareketli ultrasonik frekansla titreşen sabit sonotrot ile örs arasına konur ve çok az bir kuvvetle bastırılır. Sonotrot tarafından oluşturulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olarak üstteki parçaya iletilir ve temas yüzeylerinde yani alt ve üst kaynak yerinde izafi bir harekete neden olur. Ultrasonik dikiş kaynağında ise, benzer işlem dönen tekerlek şeklindeki sonotrotlar tarafından sağlanır. Böylece oluşan sürtünme ısısı, kaynak yapılan her iki bölgede atomsal düzeyde birleştirme kuvvetleri oluşturur [18].



Şekil 2.1. Ultrasonik kaynak ekipmanları [19].

Çoğu çalışma ağırlıklı olarak ultrasonik plastik kaynak ve uygulamalarına odaklandığından, ultrasonik metal kaynak yönteminin prensipleri ve uygulama alanları tam olarak anlaşılmamıştır. Bu yöntemi anlamak için öncelikle teknik yönlerini ele almak daha mantıklıdır. Kaynak işleminin prensibi, birleştirilen parçalar arasındaki arayüze salınımlı bir kayma kuvveti oluşturulmasından kaynaklanır. Yüzeyde bulunan oksitleri, boşlukları, sıvıları ve çapakları temizlemek birçok noktada bağlantıya yeni temaslar sunar. Bir lokal alanda titreşim beslemesi sırasında, ortaya çıkan salınım, ara yüz boyunca difüzyonda bir artışa neden olmakta ve difüzyon kaynağına benzer bir kaynak tipi ortaya çıkarmaktadır. Bağlanma bölgesinde, statik yük ve ultrasonik titreşimin birleşik etkisinden dolayı dinamik kayma gerilmeleri oluşur. Ara yüzey kaymasının ve plastik deformasyonun etkileri, kullanılan metalin erime noktasından daha düşük olan bir sıcaklık ortaya çıkaracaktır. Ancak birleştirilen metallerin özellikleri, iki

yüzey arasındaki sıcaklığı etkileyebilir, bu da sıcaklığın daha yüksek olabileceği anlamına gelebilir [4].

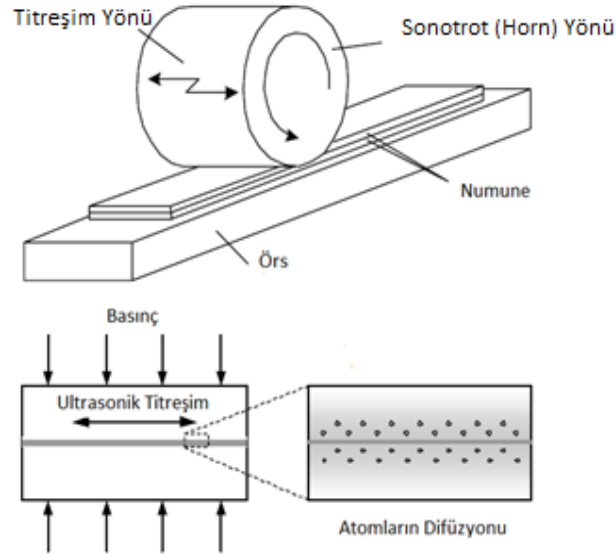
2.2.2 Ultrasonik Kaynak Yönteminin Tarihçesi

Ultrasonik metal kaynağı tekniği ilk olarak 1950'lerin başında ortaya konmuştur. O zamanki araştırmalar, bir kaynak üretmenin bazen ultrasonik yollarla gerçekleştirildiğini ortaya çıkarmıştır. Bundan yola çıkarak, 1953 yılında ultrasonik enerjinin soğuk kaynak uygulamasına ilişkin ilk raporu ortaya çıktı. Ancak, 1960'lı yıllara kadar ultrasonik metal kaynağı tekniğini geliştirmeyi amaçlayan ilk çalışma reddedilmiştir. Çünkü o zamanki patent, mevcut makinelerin metalürjik bir bağ oluşturabileceğini ve ısıya ihtiyaç duymadan bir şekillendirme durumu yaratabileceğini kabul etmemiştir. Ultrasonik kaynak tekniği, 1960'larda yapısal bileşenler için geniş bir uygulama yelpazesi içerecek şekilde gelişmeye devam etmiştir. Bundan sonra, teknik otomotiv mühendisliği ve imalat süreçlerinde birçok alanı kapsayacak şekilde kullanılmıştır. 1969'da ise ultrasonik metal kaynak yöntemi kullanılarak bir otomobilin ilk montajı gerçekleştirilmiştir [18].

Günümüz uygulamalarında ise ultrasonik kaynak yöntemi özellikle enerji sistemleri üzerinde dikiş kaynağı, havacılık ve otomotiv sektörlerinde spot kaynağı uygulamaları ile ön planda olup tekstil ve cam sektörlerindede kullanım alanı bulmuştur [5].

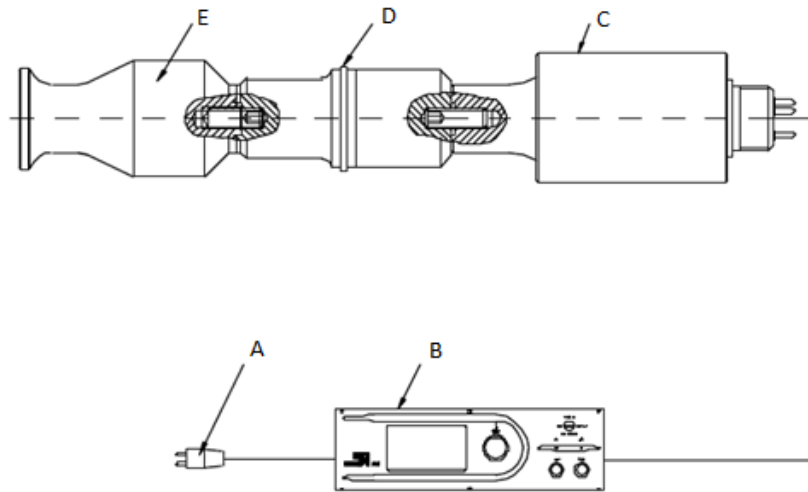
2.2.3 Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yöntemi Çalışma Prensibi

Ultrasonik dikiş kaynak yönteminin ana prensibi yüksek frekansta sağlanan elektrik enerjisinin mekanik titreşime dönüştürülmesidir. Ses dalgaları ile sağlanan bu titreşim akustik ayarlı bir sonotrot yardımıyla kaynak yüzeyine aktarılmaktadır. Bu aktarım birleştirilecek malzemenin cinsine göre metal malzemelerde yatay, plastik matrisli malzemelerde ise dikey darbeler şeklinde gerçekleştirilir [5] [Şekil 2.2].



Şekil 2.2. Ultrasonik dikiş kaynağı prensibi [17].

Kontrol Ünitesi (Jeneratör) tarafından alınan yüksek frekanslı elektriksel enerji dönüştürücüden (converter) titreşim genliğini artırabilen bir yükselticiye (booster) transfer edilir. Booster içerisinde genliği yükseltilecek hareket sonotrot parçasına ve buradan da doğrudan kaynak yapılacak malzemelerin ara yüzeyine aktarılır. Uygulanan bu mekanik darbeler, baskı kuvvetinin de yarattığı basınç etkisiyle bir iç sürtünmeye ve plastik deformasyona neden olur. Böylelikle yüzeyler arası birleşme sağlanır [5]. Sistem elemanlarının şematik gösterimi Şekil 2.3’de verilmiştir.



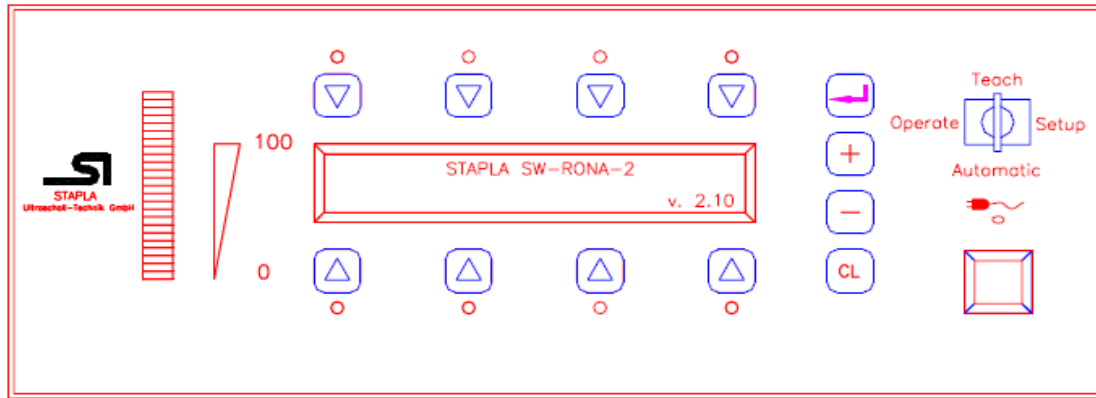
Şekil 2.3 Ultrasonik dikiş kaynağı sistem elemanları [20].

- A. Güç Girişi B. Kontrol Ünitesi (Jeneratör) C. Dönüştürücü (Converter) D.Yükseltici (Booster)
E. Sonotrot (Horn)

2.2.4 Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yönteminin Ekipmanları

2.2.4.1 Kontrol Ünitesi (Jeneratör)

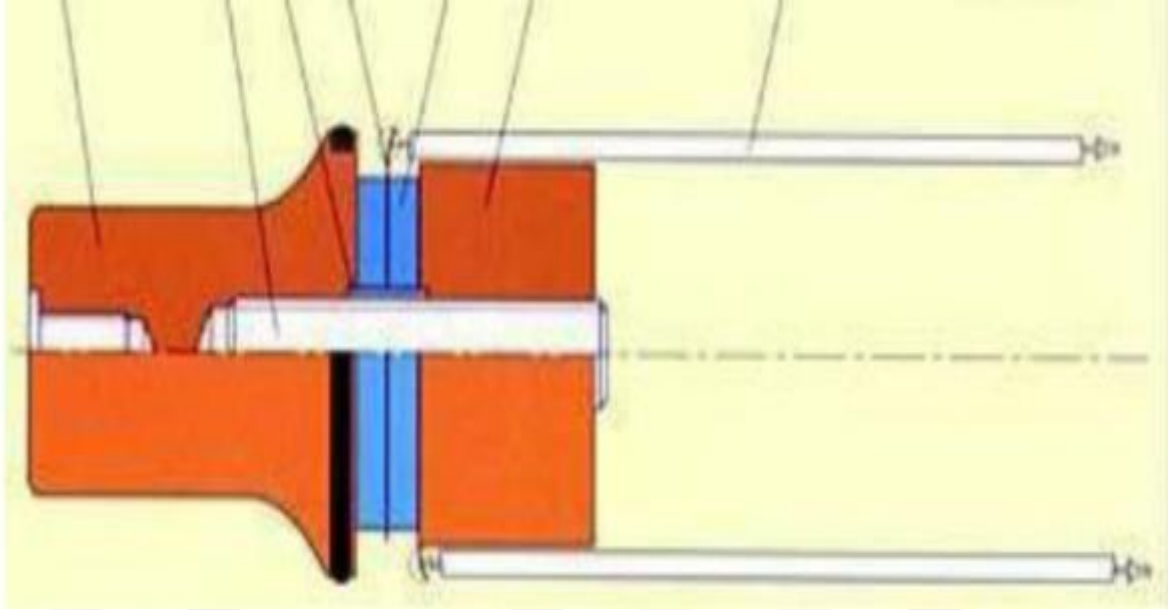
Ultrasonik kontrol ünitesi, ultrasonik jeneratörüne güç sağlar ve makinenin kontrollerini yapar. Buna ek olarak, duruma göre kaynakların değiştirilmesi ve uyarlanması için gerekli tüm unsurları içerir [21]. Şekil 2.4’de standart bir ultrasonik kontrol ünitesine ait görsele yer verilmiştir.



Şekil 2.4. Ultrasonik dikiş kaynağı kontrol ünitesi [21].

2.2.4.2. Dönüştürücü (Converter-Transducer)

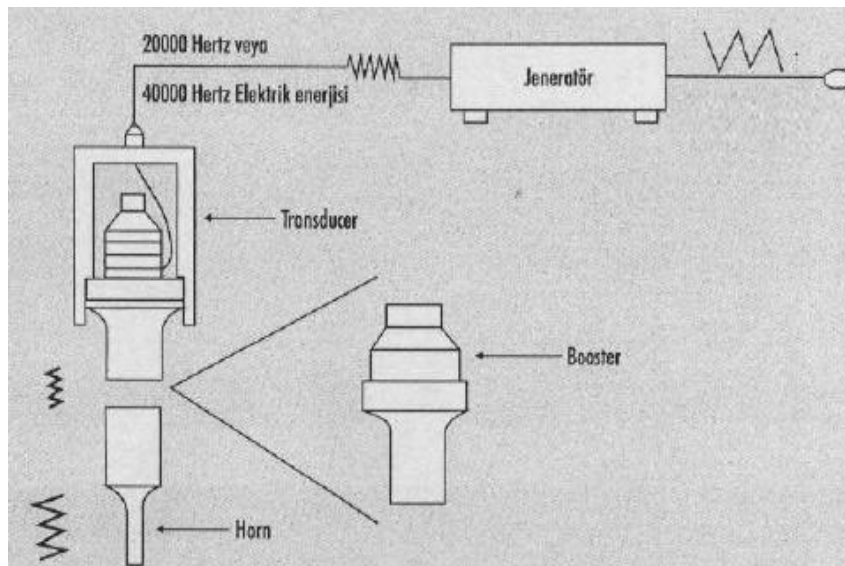
Dönüştürücü gelen elektrik enerjisini kaynak prosesinde kullanılacak olan mekanik titreşimlere dönüştürür. İçinde, piezoelektrik seramik diskler barındırmaktadır [21]. Piezoelektrik seramik diskler elektriksel gerilim altında şekil değiştirme özelliği gösterirler. Bu ters piezoelektrik etki olarak adlandırılır. Bu seramikler elektriksel gerilim altında titreşimler oluşturup malzemelerin bu titreşim altında birleştirilmesini sağlarlar [22]. Bu seramik diskler yaklaşık % 90’a kadar verimlilikle çalışırlar [20]. Şekil 2.5’te standart bir dönüştürücünün yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Dönüştürücünün yapısı [6].

2.2.4.3 Yükseltici (Booster)

Dönüştürücüden çıkan düşük genlikli titreşimler bu halleriyle birleştirme operasyonu için uygun değildirler. Yükseltici bu frekansların genliğini arttırıp sonotrot'a iletir. Bir diğer görevi ise dönüştürücü ile sonotrot arasında rijit ve merkezi bir montaj yapılmasını sağlamaktır [6]. Şekil 2.6'te standart bir yükselticinin şematik gösterimi yer almaktadır.



Şekil 2.6. Yükselticinin yeri ve genliğe etkisi [5].

2.2.4.4 Sonotrot (Horn)

Ultrasonik kaynak yönteminin en önemli ekipmanlarından biridir. En önemli görevi titreşimlerin iş parçasına dağıtımını yapmaktır. Diğer bir görevi ise numune yüzeyine gerekli görülen basıncı uygulamaktır. Sonotrot, kaynak yapılacak malzemelerin yorulma mukavemetleri ve yüzey sertliklerinin yüksek olması sebebiyle genellikle titanyum malzemesinden imal edilir. Sonotrot kullanılacak uygulamalara göre Şekil 2.7’de gösterildiği gibi farklı şekil yada tiplerde olabilir [23,24].

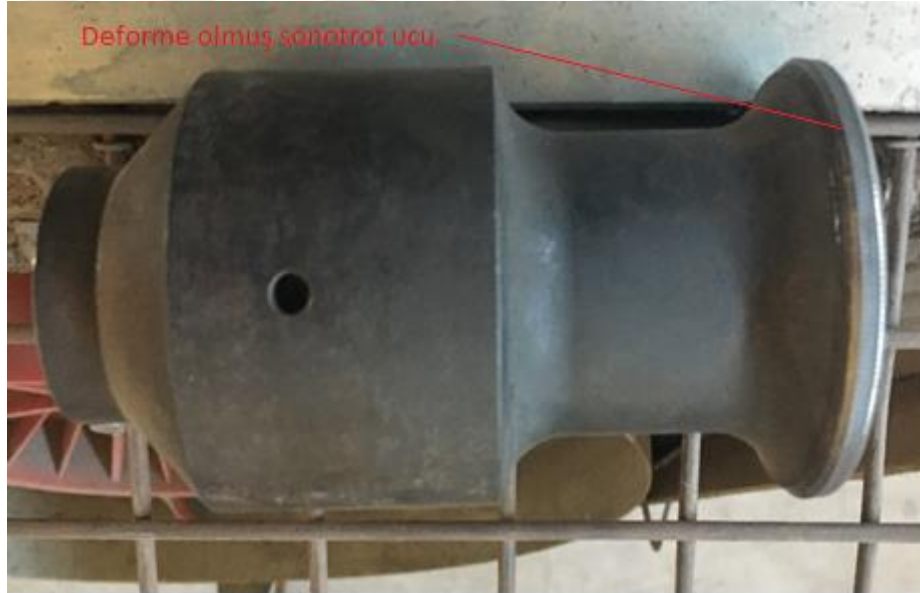


Şekil 2.7. Farklı şekillerde imal edilmiş sonotrot tipleri [25].

Ultrasonik dikiş kaynak yönteminde sonotrot ömrü kaynak dikiş performansında oldukça büyük öneme sahiptir. Bir sonotrot yaklaşık 5000 ila 6000 arası güneş kolektörü dikmektedir. Bu süre sonunda sonotrot’un değişmesi şarttır. Şekil 2.8.’de yeni ve deforme olmuş sonotrotların yüzeylerine ait görseller verilmiştir. Görseller incelendiğinde sonotrot yüzeyinin aşındığı net görülmektedir. Buda kaynak performansını etkileyen en önemli etkenlerden biridir.



(a)



(b)

Şekil 2.8. (a) Yeni sonotrot'un deforme olmamış yüzeyine ait görsel (b) sonotrot'un deforme olan yüzeyine ait görsel.

2.2.5 Ultrasonik Dikiş Kaynağı Yönteminin İşlem Parametreleri

Ultrasonik kaynağın, kaynak davranışını etkileyen birçok parametreleri vardır. Frekans, titreşim genliği, basınç, kaynak enerjisi, ve kaynak hızı bu parametrelerden bazılarıdır. Bu parametreler proses parametreleri olarak adlandırılır. Bunun dışında kaynak yapılacak metalin doğası ile ilgili başka parametreler vardır. Bunlara sertlik, yüzeydeki oksitler, yüzey pürüzlülüğü, kullanılan kaynak cihazının takım ömürleri gibi örnekler verilebilir. Proses

parametreleri arasındaki ilişkiler kaynak kalitesinin yapısını etkileyen en önemli parametrelerdir [4].

2.2.5.1 Uygulama Frekansı

Frekans birim zamandaki titreşim sayısı olarak ifade edilmektedir. Ultrasonik sistemlerde, dönüştürücü, belirli bir frekansta ayarlanacak şekilde tasarlanmıştır. Çoğu ultrasonik kaynak ekipmanı 15 ila 300 kHz aralığındaki frekansları kullanır. Metal kaynak sistemlerinde, frekans aralığı 20 ila 40 kHz arasındadır. Diğer kaynak sistemlerinde, frekans 60 ila 120 kHz gibi çok daha yüksek bir değer olabilir [4,5].

2.2.5.2. Titreşim Genliği (Amplitude)

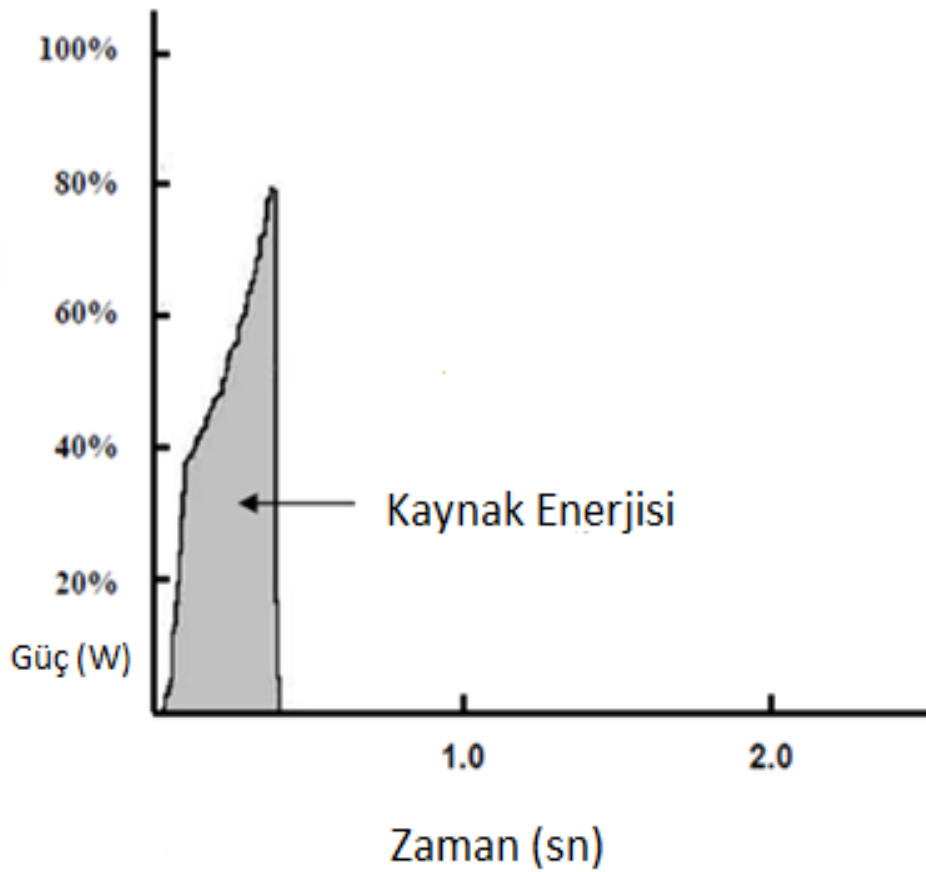
Titreşim genliği, kaynağın gücünü ve kalitesini etkileyebilecek en önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Ultrasonik aletlerde, titreşim genliği sonotrotun eksensel genişleme ve büzülme miktarını tanımlar [5]. Bu parametre kaynak yapılmak istenen malzemelerin ergime noktaları ve yapısına göre belirlenir. Örneğin, ABS, Akrilik, Polistiren, Polikarbonat, SAN gibi kaynak yapılması kolay malzemeler, düşük ve orta büyüklükte genliğe ihtiyaç duyar. Yüksek sıcaklık amorf ve yarı-kristalin reçineler, örneğin Acetal, LCP, Polyester, Poliamid, PE, PP, PPS, Polieterimid ve Polysulfone, orta ila yüksek genlik gerektirir. Bu parametrenin genellikle düşük değerlerde tutulması numune deformasyonunun en aza indirilmesi açısından oldukça önemlidir [26].

2.2.5.3. Kaynak Basıncı

Basıncı, katı halli bir bağlama mekanizmasında oldukça önemli bir parametredir. Ultrasonik dikiş kaynağı sistemlerinde, basınç genellikle sonotrot ve sabit örs arasında sıkışmış olan pnömatik veya hidrolik sistemler vasıtasıyla uygulanır. Basıncın gerekli büyüklüğü, kullanılan metallerin türüne, birleştirilecek olan numunelerin kalınlıklarına ve kaynak yapılacak alana büyük ölçüde bağlıdır. Basıncı değeri belirlenirken dikkat edilmelidir, çünkü aşırı basınç numune yüzeyinde deformasyona ve enerjinin kaynak bölgesi dışına yayılmasına neden olabilir. Yetersiz basınç ise temas yüzeyi üzerinden sonotrot ucunun kaymasına neden olur [4].

2.2.5.4 Güç Enerji ve Kaynak Hızı

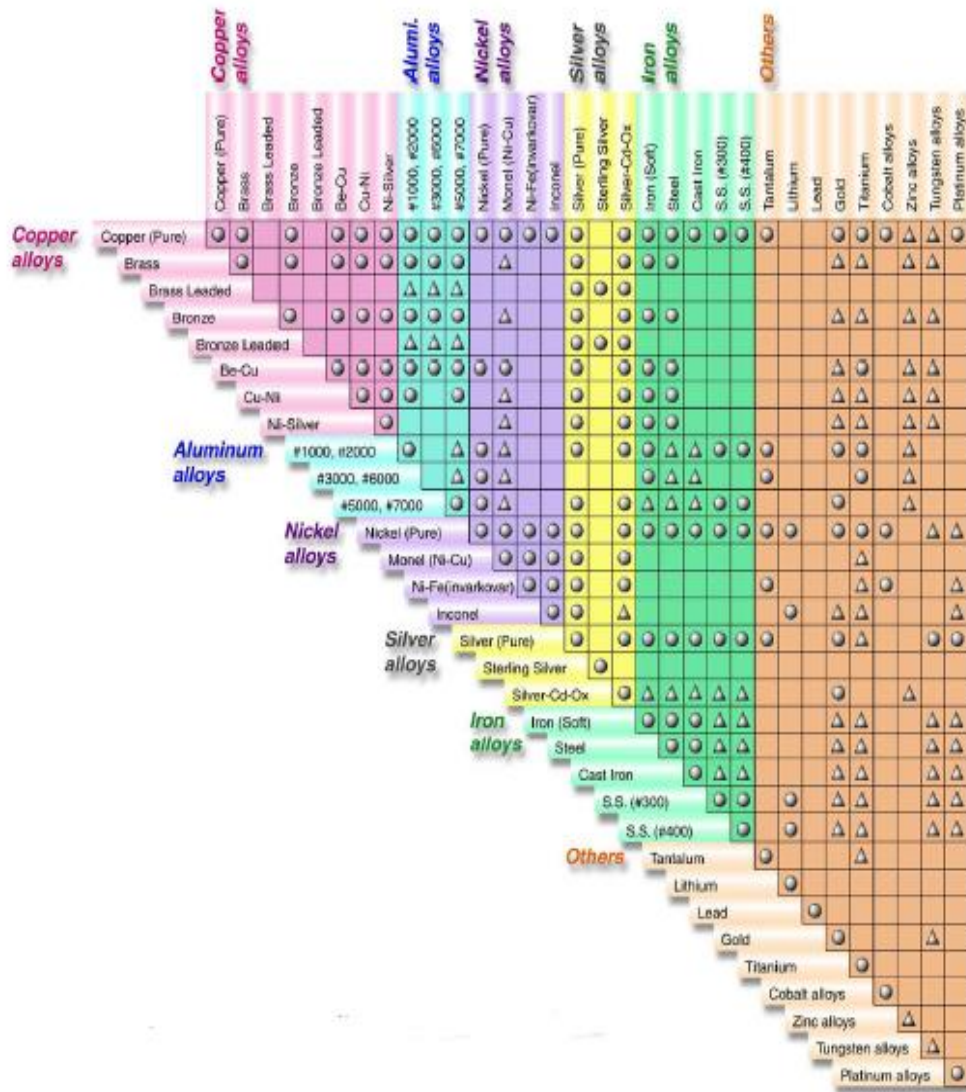
Güç, enerji ve zaman ayrı sistem parametreleri olarak düşünülse bile, her bir kaynak döngüsü için bu parametreler birbiriyle yakından ilişkilidir. Bir kaynak yapıldığında, güç kaynağındaki voltaj ve akım, kaynak çevrimi sırasında transdüser elektrik enerjisi olarak akar. Bu enerji, kaynak gücü eğrisinin altındaki bölge olarak ifade edilir [Şekil 2.9]. Ayrıca bu parametreler kaynaklanacak numunenin türü, yüzey yapısı, geometrisinden etkilenir. Ek olarak titreşim genliği ve basınç parametreleride enerjiyi etkileyen diğer faktörlerdendir [4]. Güç kaynakları, birkaç yüz watt ile birkaç kilowatt arasında değişebilen aktarabileceği en yüksek güç ile derecelendirilir [27].



Şekil 2.9. Ultrasonik kaynakta güç enerji ve sürenin ilişkisi [4].

2.2.5.5 Malzeme Seçimi

Ultrasonik kaynak, benzer ve farklı metallerin birleştirilmesine olanak sağlar. Kullanılacak metallerin Young modülü, sertliği ve akma dayanımı kaynaklanabilirliği açısından en önemli parametrelerden biridir. Genel olarak, alüminyum, bakır, nikel, magnezyum, altın, gümüş ve platin gibi yumuşak alaşımlar kolay şekilde ultrasonik kaynak kullanılarak birleştirilebilir. Titanyum, ve çelikler gibi sert alaşımlar, nikel bazlı havacılık alaşımları ve refrakter metallerin (molibden ve tungsten) birleştirilmesi daha zordur [28].



Şekil 2.10. Ultrasonik kaynak ile birleştirilebilen metal malzemeler [4].

Şekil 2-10'te gösterilen grafikte, metaller ve alaşımlar için kullanılan bir kaynak yapılabilirlik çizelgesi verilmiştir. Grafik, metalleri ve alaşımları üç kategoriye ayırır: dairesel

şekle sahip sembollerle kaynak verimi yüksek malzemeler, üçgen şekilli semboller düşük kalitede kaynaklanabilen malzemeleri, herhangi bir işaret bulunmayan malzemeler ise birbirleriyle kaynak edilemeyen malzemeleri ifade eder. Bu şekil, farklı deneylerden ve kaynaklardan alınan verilere göre hazırlanmıştır [28]. Çoğu malzeme ve malzeme kombinasyonunun, belirli kaynak parametresi ve performans verileri birbirine uygun olmamasına rağmen ek işlemler vasıtasıyla birbirine kaynak yapılabildiğine ulaşılmıştır [4,29,30].

Polimer matrisli malzemelerde ise durum çok farklı değildir. Ultrasonik kaynak yöntemi yüzde 45'e kadar dolgu içeriği olan malzemeler dahil olmak üzere bilinen tüm termoplastiklere uygulanabilir. Şekil 2.11.'da ultrasonik kaynak ile birleştirilebilen polimer malzemelere ait bir tablo verilmiştir. Ek olarak ahşap elyaf, tekstil elyafı veya Poliüretan gibi fiber takviyeli taşıyıcılar doğrudan veya kompozit yüzey kaplaması ile birleştirebilirler [28].

	ABS	ABS/PC	LCP	PA	PBT	PC	PC/PBT	PE	PEEK	PEI	PET	PMMA	POM	PP	PPO	PPS	PS	PVC	SAN
ABS	X	X										X					O	O	O
ABS/PC	X	X				X	O					O							
LCP			X																
PA				X															
PBT					X		O			O									
PC		X				X	O					X			O				
PC/PBT		O			O	O	X					O							
PE								X											
PEEK									X										
PEI					O					X									
PET											X								
PMMA	X	O				X	O					X							O
POM													X						
PP														X					
PPO						O									X		X		O
PPS																X			
PS	O														X		X		O
PVC	O																	X	
SAN	O											O			O		O		X

X Uygun
 O Makul Seviyede

Şekil 2.11. Ultrasonik kaynak ile birleştirilebilen polimer malzemeler [28].

Bunlara ek olarak, malzeme kombinasyonu uygun olsa bile birleştirilmek istenen malzemelerin yüzey özellikleri, kaplamaları, kirlilik içerip içermemesi gibi faktörlerde kaynaklanabilirliği önemli ölçüde etkilediği unutulmamalıdır.

2.2.5.6 Ultrasonik Kaynağın Avantajları ve Dezavantajları

Ultrasonik kaynak yönteminin geleneksel yöntemlere göre avantaj ve dezavantajları kısaca şöyle özetlenebilir:

Avantajları:

- İşlem sıcaklıkları malzemenin ergime sıcaklığının çok altındadır.
- Birçok farklı malzeme kombinasyonunu başarıyla birleştirilebilir.
- Hızlı kolay ve ekonomik bir sistemdir.
- Görsel açıdan iyi ve mukavemet açısından güçlü kaynaklar elde edilebilir.
- Doğa dostu ve çevrecidir.
- Dolgu ya da kimyasal malzeme kullanılmasına gerek yoktur.
- İş güvenliği bakımından oldukça emniyetlidir.
- Kaynaklanan malzemeler geri dönüşüm yoluyla tekrar kullanılabilir [5,27,29-32].

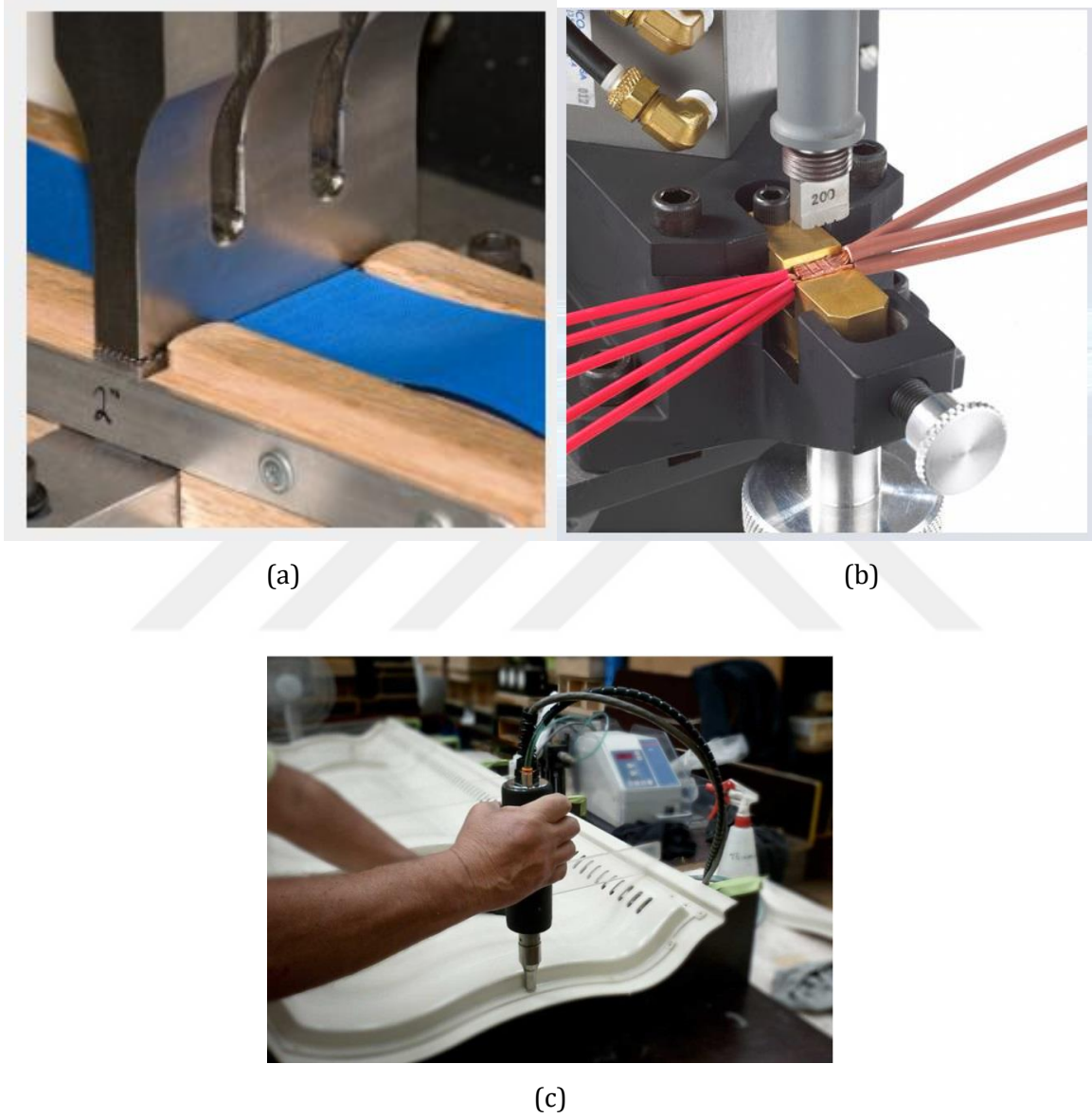
Dezavantajları:

- İlk kurulum ve servis maliyetleri yüksektir.
- Malzeme kalınlığı ve geometrisi açısından sınırlıdır.
- Malzeme deformasyonuna maruz kalır.
- Parametre optimizasyonu zor olup kullanılacak malzemelere optimize edilmesi gerekebilir.
- Birçok mühendisin bilmediği bir süreçtir [5,27].

2.2.5.7 Ultrasonik Kaynağın Kullanım Alanları

- Otomotiv Sektörü
- Tekstil Sektörü
- Ambalaj Sektörü
- Güneş Enerjisi Sistemlerinin Kaynaklanması

Bunlara ek olarak ultrasonik kaynak, plastik malzemelerin birleştirilmesi, ilaç, kozmetik gibi birçok uygulama alanı bulmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle ve kaynak işlemlerinde karşılaşılan problemler çözüldükçe bu yöntemin farklı alanlarda dahada uygulanabilir olacağı unutulmamalıdır [33-35]. Şekil 2.12’de ultrasonik kaynağın çeşitli uygulama alanlarına ait görsellere yer verilmiştir.



Şekil 2.12. Ultrasonik kaynağın (a) tekstil sektöründeki (b) enerji sektöründeki (c) otomotiv sektöründeki kullanım alanları [33-35].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada bakır selektif levha ile bakır ısı taşıyıcı boru ultrasonik dikiş kaynağı yöntemi ile birleştirilip, kaynağın mekanik ve mikro yapı özellikleri incelenmiştir. Bu kaynak yöntemi için farklı kaynak değişkenleri seçilmiş ve bu değişkenlere ait farklı seviyelerde birleştirmeler yapılarak optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir.

3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Sarkuysan firmasından temin edilen 8 mm et kalınlığına sahip Cu-DHP (Sf-Cu) bakır boru ile Analod GmbH firmasından temin edilen aynı kimyasal bileşime sahip 0,12 mm kalınlığa sahip Cu-DHP (Sf-Cu) bakır saclar kullanılmıştır. Kullanılan bakır alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 3.1’de, kullanılan sacın ebatları, mekanik, optik ve fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Bakır alaşımının kimyasal bileşimi.

Cu-DHP/Sf-Cu	Cu	P	Standartlar
Min. (%)	99,90	0,015	ASTM B280,ATSM 868,ASTM 888,EN 1057,EN 12735,EN 12449
Max. (%)	-----	0,040	

Tablo 3.2. Kullanılan sacın ebatları, mekanik, optik ve fiziksel özellikleri.

Özellikler	Parametreler	Eta plus® Cu	Standartlar
Mekanik	Alaşım	Cu-DHP/Sf-Cu	EN 13599-EN 1652
	Sertlik	Yarı sertlik (30-65 HV 5)	
Optik	Isı Emilimi	0,95±0,02	DIN 5033
	Termal Emisyon $\varepsilon_{100}^{\circ\text{C}}$	0,05±0,02	
	Renk Koordinatı a* (D 65)	0-+14	
	Renk Koordinatı b* (D 65)	-35--10	
Fiziksel	Özgül Ağırlık g/cm ³	8,9	
Ebatlar	Kalınlık mm (inch)	0,12-0,3	

Ultrasonik dikiş kaynağı yöntemi daha çok güneş enerji sistemlerinin elemanı olan güneş kollektörlerinin kaynaklanmasında kullanıldığından dolayı kullanılacak olan bakır levhanın yüzeyinin selektif kaplı olması tercih edilmiştir. Bu kaplama ısı iletimini arttırmakla beraber sac ve borunun kaynak verimliliğini de önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu selektif yüzey, bakır levhanın yüzeyinin 0,03 mm kalınlıkta titanyum kaplanmasıyla oluşmaktadır.

3.2 Kullanılan Kaynak Cihazı ve Özellikleri

Numuneler 20 KHz frekansında çalışan Schunk (Stapla) USC III (RM-20) marka kontrol ünitesi ve titreşim modülüne sahip ultrasonik dikiş kaynak cihazıyla kaynaklanmıştır. Cihazın hareket sistemi ise, Siemens Simatic 300 kontrol panelline, lenze motora ve Bosch-Rexroth doğrusal modüle sahiptir. Cihaza ait teknik veriler Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Schunk USC III kaynak cihazının teknik özellikleri.

Salınım Frekansı	20 KHz
Basınç	Max. 8 bar
Başınçlandırma Sistemi	Pnömatik Sistem
Güç Tüketimi	Max. 3000W
Sigorta	16A
Şebeke bağlantısı	230 ± 15% VAC 50 / 60Hz, 1 fazlı, topraklı
Kaynak ünitesinin boyutları	Æ141 x 530 mm (motor montajı olmadan)
Kontrol Ünitesi Boyutları	450 x 135 x 445 mm
Ağırlık	35 kg (osilatör sistemi ve kontrol ünitesi)

Cihazın kontrol panelinden 3 farklı parametre değerleri okunmaktadır. Bunlar genlik , kaynak hızı ve numuneye aktarılan enerji miktarıdır. Cihazda ayarlanabilen maksimum genlik değeri 10 µm, maksimum kaynak hızı değeri ise 24 m/dk’dır. Değiştirilen parametre düzeylerinde, fabrika ayarlarında belirlenmiş enerji aralığında cihaz otomatik olarak numuneye aktarılan enerji miktarını görüntülemektedir. Cihazın basınç ayarı ise osilatör sistemi üzerinde bulunan basınç ölçerlerden değiştirilebilmektedir. Cihaza ve kontrol ünitesine ait resimler Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Ultrasonik dikiş kaynağı cihazı ve kontrol ünitesi.

3.3 Numunelerin Hazırlanması

Deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği Şimşek Güneş Enerjisi üretim hattında üretilen güneş kolektörleri TS 12975 ve TS 736 standardının gereklerine göre imal edilmiştir.

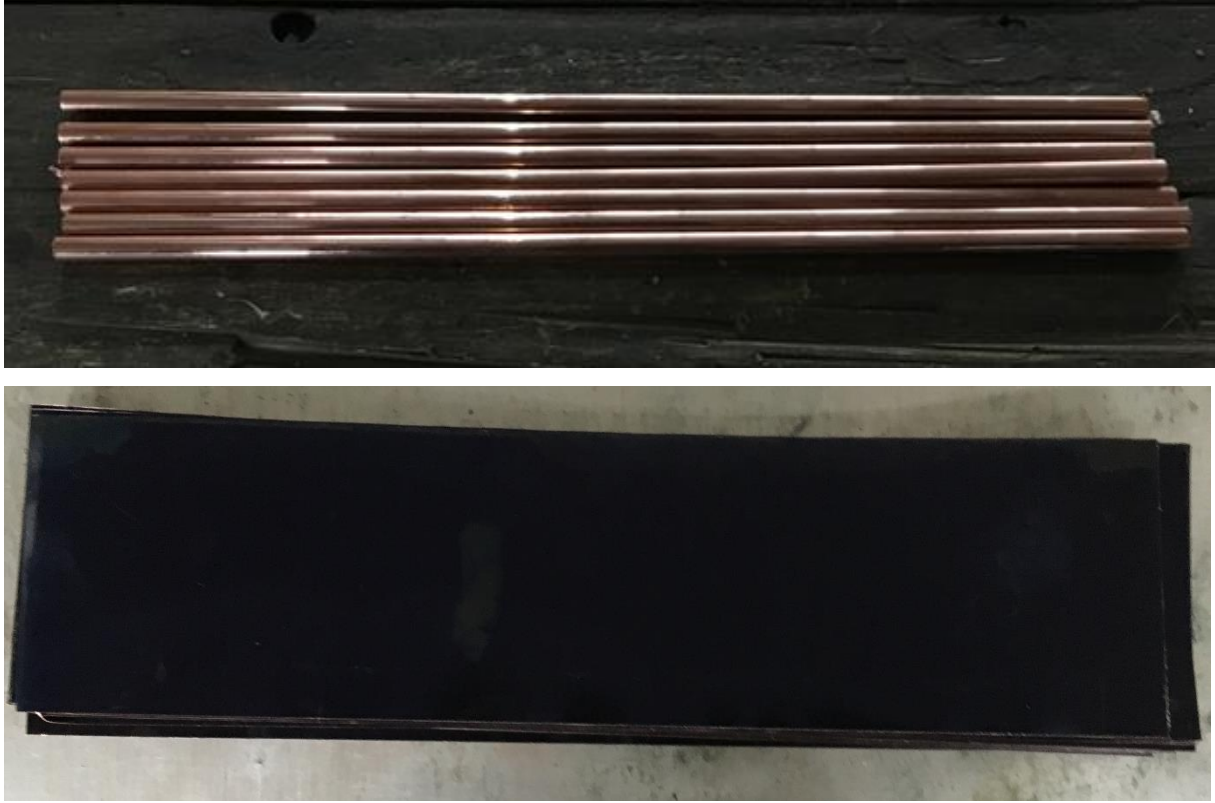
3.3.1 Numunelerin Kesilmesi

Numunelerin boyutları Şekil 3.2’de kırmızı çerçeve ile gösterilen ultrasonik dikiş kaynak makinesinin minimum dikiş yapabileceği örs mesafesi dikkate alınarak ayarlanmıştır. Böylece kaynak verimliliğinin korunması amaçlanmıştır. Ayrıca numunelerin çekme testindeki tutucu uçlara kaynağa zarar vermeden bağlanabilmesi amacıyla numune başlangıcında 50 mm’lik bir kaynaksız alan ayrılmıştır. Buna göre numunelerin boyunun 350 mm, genişliğinin ise 80 mm olarak ayarlanmasına karar verilmiştir.



Şekil 3.2. Minimum dikiş yapılabilecek kalıp mesafesi.

Daha sonra numuneler 350 mm x 80 mm boyutlarında spiral yardımıyla Şekil 3.3’de gösterildiği gibi kesilmiş ve kaynaktan önceki aşama olan yüzey temizleme işlemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.3. Boru ve sacın kesim işleminden sonraki hali.

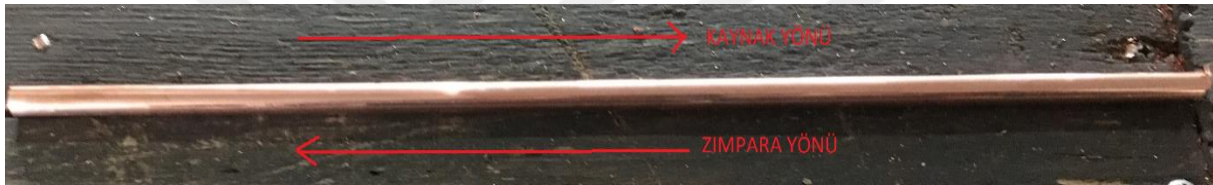
3.3.2 Yüzey Temizleme İşlemleri

Numunelere kaynak işlemine başlamadan önce, iki yüzey arasında kusursuz bir birleşme sağlanabilmesi amacıyla oldukça büyük bir öneme sahip olan yüzey zımparalama işlemi uygulanmıştır. Ayrıca numunelerin kesilmesine bağlı olarak yüzeyde oluşan çapak ve numune kalıntılarının temizlenmesi ile birlikte kaynak çapaklarının sistem elemanlarında meydana getirebileceği zararlarında önüne geçilerek kaynak verimliliği arttırılmıştır. Numuneler Şekil 3.4’de gösterilen 3M marka yüzey temizleme bezi ile yüzeyde herhangi bir pürüzlülük kalmayıncaya kadar zımparalanmıştır.



Şekil 3.4. 3M marka yüzey temizleme bezi.

Numunelerin yüzeyleri temizlenirken (Şekil 3.5’de gösterildiği gibi) kaynak ile zımpara yönü birbirine zıt olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu şekilde kaynak sırasında oluşacak olan titreşimin numune yüzeyindeki etkisi arttırılır bu da kaynak verimliliğinin artmasını sağlar.



Şekil 3.5. Numunenin zımparalanan ve kaynak yapılan yönlerinin gösterimi.

3.3.3 Numunelerin Kaynaklanması

Numuneler 20 KHz frekansında çalışan Schunk (Stapla) USC III (RM-20) marka kontrol ünitesi ve titreşim modülüne sahip ultrasonik dikiş kaynak cihazıyla kaynaklanmıştır. Cihazda okunan 4 farklı parametre bulunmaktadır. Bunlar şöyle sıralanabilir:

Genlik (Amplitude): Bu parametre sonotrot’un numuneye uyguladığı titreşim genliği olarak da ifade edilebilir. 1 μm den 10 μm ’a kadar değiştirilebilen bu parametrede kaynak yapılacak malzemelerin kalınlığı dikkate alınır. Test aşamasında bu parametrenin 4 μm ‘dan aşağı tutulması ile birleşmenin mümkün olmadığı 6 μm dan fazla parametrelerde ise titreşimin fazla olması nedeniyle oldukça ince olan sacın yırtıldığı ve düzgün bir birleşme sağlanamadığı için bu parametrenin 4 μm , 5 μm ve 6 μm olarak alınmasına karar verilmiştir.

Kaynak Hızı: Bu parametre USC III kontrol ünitesinde 1 m/dk’dan 24 m/dk’ya kadar ayarlanabilmektedir. Yüksek hızlarda birleşme sağlanamadığı düşünülerek numuneler 4 m/dk, 8 m/dk, 12 m/dk ve 16 m/dk hız parametrelerinde kaynaklanmıştır. Böylece kaynak hızının birleşme kalitesine olan etkisinin daha verimli ölçülebilmesi amaçlanmıştır.

Basınç: Basınç sonotratın numune yüzeyine uyguladığı baskı olarak düşünülebilir. Bu parametrenin değiştirilmesi sistem ekipmanlarına ciddi hasarlar vermekle beraber, bakır borunun yüzeyinde de ciddi deformasyona yol açmaktadır. Bu nedenle bu parametre 2 bar olarak sabit tutulmuştur.

Enerji: Numuneye hapsedilen enerji kontrol ünitesinden okunmakla beraber değiştirilememektedir. Değiştirilen parametrelerde, fabrika ayarlarında belirtilen enerji aralığında cihaz otomatik olarak numuneye hapsedilen enerjiyi görüntülemektedir. Ek olarak cihazın kullanma kılavuzunda belirtildiği gibi enerji miktarının çok düşük olması bağlantı kuvvetinin düşmesine aşırı miktarda olması ise, dağınık bir bağlantı oluşturmaya sebebiyet vermektedir. Bunun sonucunda malzemede istenmeyen yer değiştirme oluşmasına, bu da malzemelerin deforme olmasına yol açmaktadır [20,21].

Tablo 3.4. Kullanılan kaynak parametreleri ve numuneye 1 sn’de aktarılan ortalama enerji akışı.

Genlik (μm)	Kaynak Hızı (m/dk)	Ortalama Enerji Akışı (W)
4	4	1428
	8	1432
	12	1451
	16	1445
5	4	1434
	8	1418
	12	1391
	16	1407
6	4	1433
	8	1406
	12	1416
	16	1438

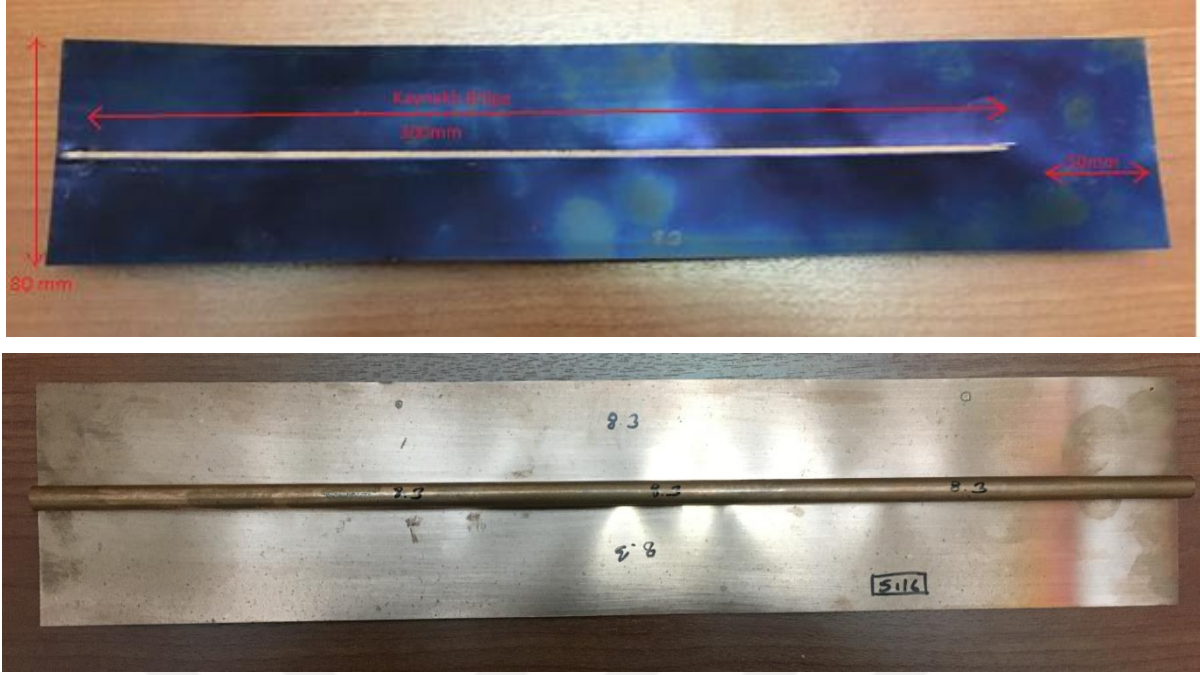
Belirtilen parametre değerlerinden Tablo 3.4’de gösterildiği gibi her parametre değerinden 3 adet olmak üzere toplam 36 adet numune ultrasonik dikiş kaynağı kullanılarak birleştirilmiştir. Ayrıca tabloda 1 sn’de 3 farklı numune üzerinden alınan ortalama enerji akış miktarları da yer almaktadır.

Numuneler Şekil 3.6' deki gösterildiği gibi levha üstte kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Kaynak sırasında oluşan titreşimden dolayı borunun kalıplar arasında hareket etmemesinin sağlanması amacıyla kalıplar arasındaki boşluklar alınmış olup, levha ise üst kısımdan indirilen pnomatik sistem vasıtasıyla sabitlenmiştir. Daha sonra kaynak işlemine başlanmıştır.

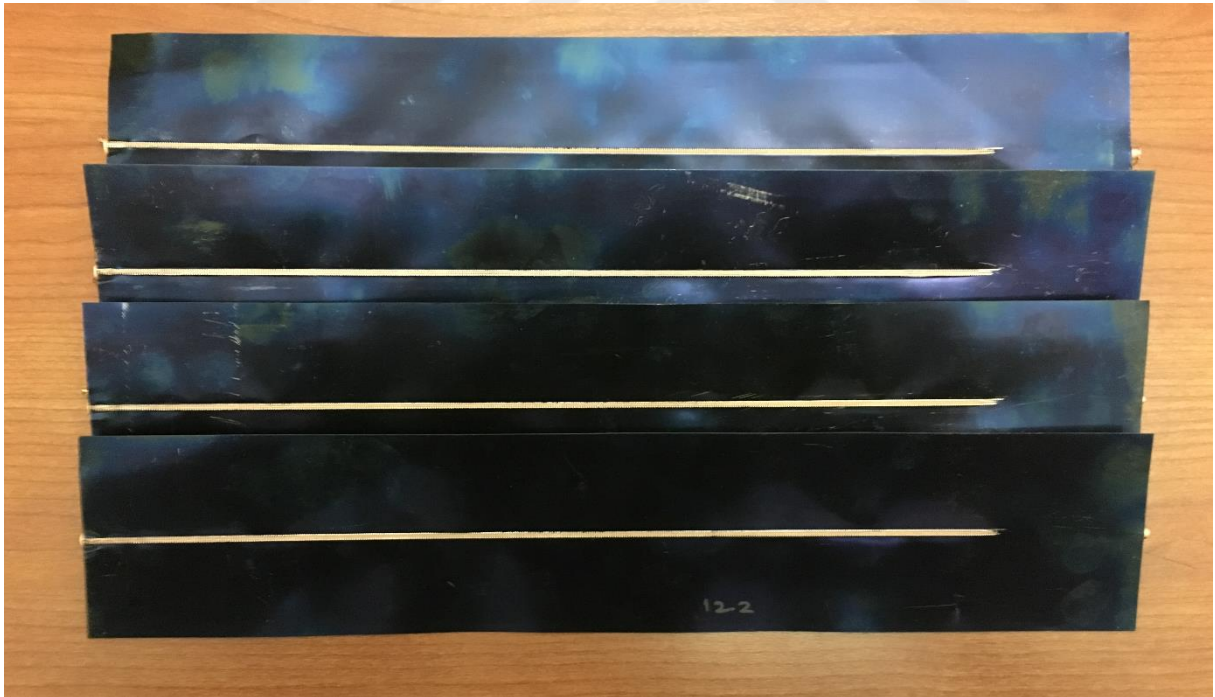


Şekil 3.6. Numunelerin cihaza yerleştirilmesi ve kaynak işlemine ait görseller.

Numunelerin boyutları 350 mm x 80 mm olup, numunelerin çekme testindeki tutucu uçlara kaynağa zarar vermeden bağlanabilmesi amacıyla numune başlangıcında 50 mm'lik bir alana kaynak yapılmamıştır. Buna ait görseller Şekil 3.7'de kaynaklanmış numunelere ait görseller ise Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. 5 μ m Genlik ve 16 m/dk kaynak hızı parametrelerinde kaynaklanmış numuneye ait görseller ve kaynak bölgesinin ölçüleri.



Şekil 3.8. Farklı parametre düzeylerinde kaynak yapılmış olan numunelere ait görseller.

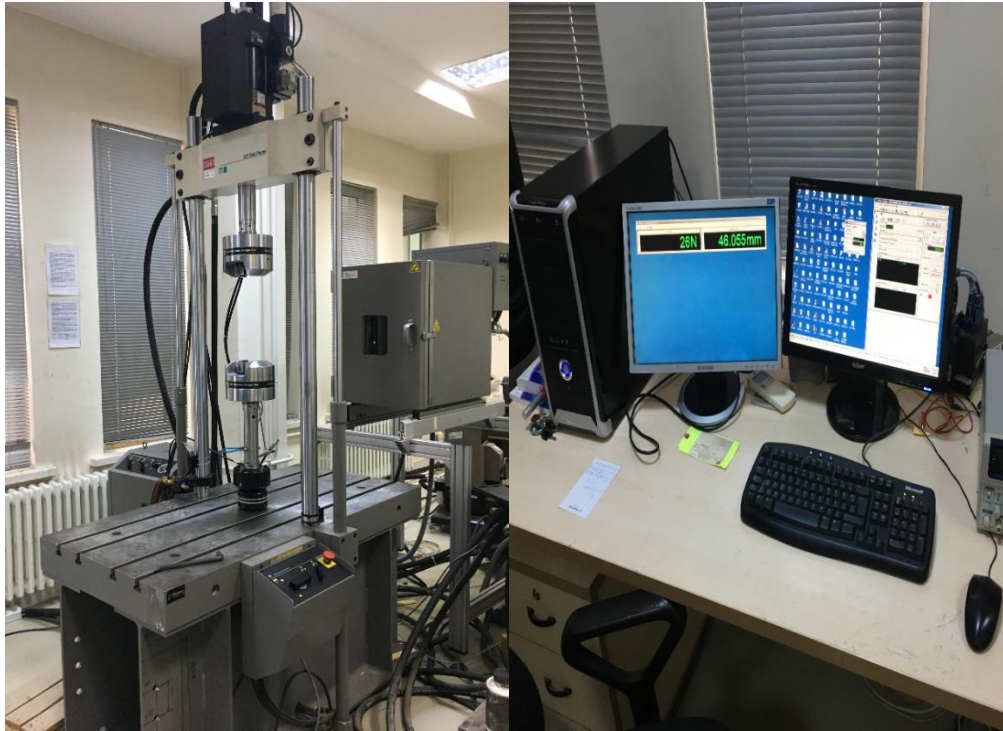
3.3.4 Görsel Muayene

Farklı parametrelerde kaynaklanmış numuneler teste tabi tutulmadan önce görsel olarak incelenmiş daha sonra el ile basit yüklemeler altında birleşmenin düzgün olup olmadığı incelenmiştir. Birleşmenin düzgün olmadığı gözlenen numuneler tekrar kaynaklanmış olup, daha sonra numunelerin test aşamalarına geçilmiştir.

3.4 Test İşlemleri

3.4.1 Çekme-Kayma Testi

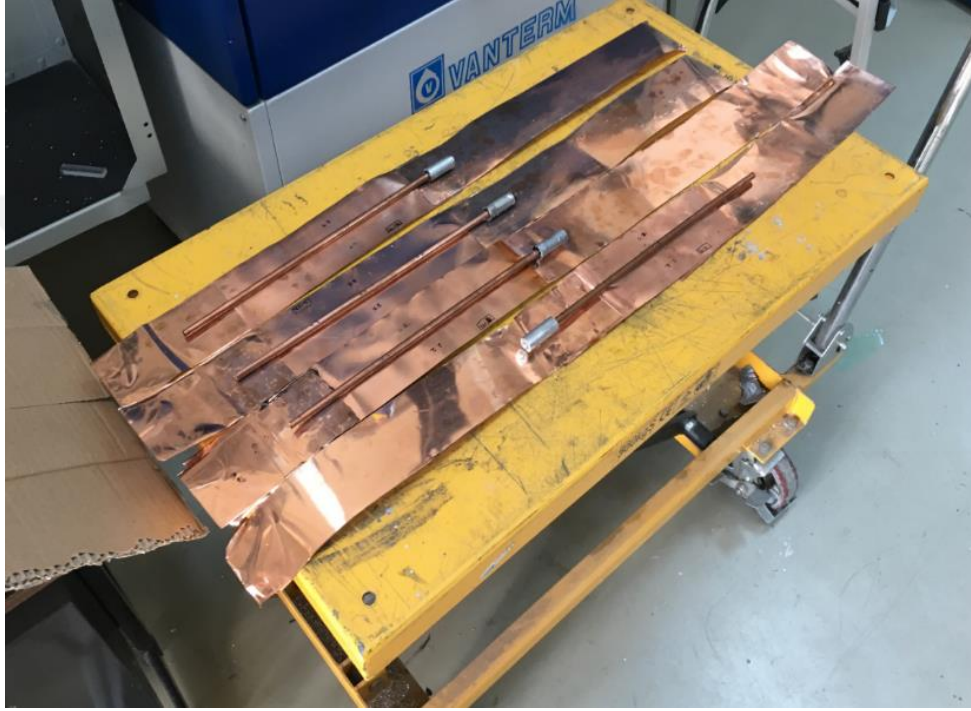
Bu testte farklı kaynak hızı ve titreşim genliği parametrelerinde kaynaklanan numunelerin kaynak performansının ölçülmesi amaçlanmıştır. Testler İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi bünyesinde bulunan Şekil 3.9'de gösterilen MTS 322.21 marka çekme test cihazında 2 m/sn hız ile yapılmıştır. Bu tür numunelerin herhangi bir çekme testi standardı bulunmadığı için, ASTM D-1002 kesme test standartları ile ASTM D3514 sıyrma test standartları detaylı olarak incelenmiş sistemin bu standartlara uygun hale getirilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.9. MTS 322.21 marka çekme test cihazı ve kontrol ünitesi.

Çekme-kayma testi adı verilen bu testte sisteme yerleştirilen numunede paralel yönde oluşturulan çekme kuvveti ile kaynak bölgesinde gerilme oluşturulup, bu gerilmeye bağlı olarak numunelerin kaynak bölgesinden ayrılması sağlanmıştır. Elde edilen maksimum eksenel kuvvet değerinden yola çıkarak kayma gerilmesi değeri hesaplanmıştır.

Test işlemine başlanmadan önce levhaların fazla ince olması sebebiyle çekme testi sırasında tutucu uçlara bağlı olan numunede yırtılmanın önüne geçilmesi amacıyla levhanın alt kısmı Şekil 3.10'deki gibi bakır levha ile özel metal yapıştırıcı ile yapıştırılıp kalınlaştırılmıştır.

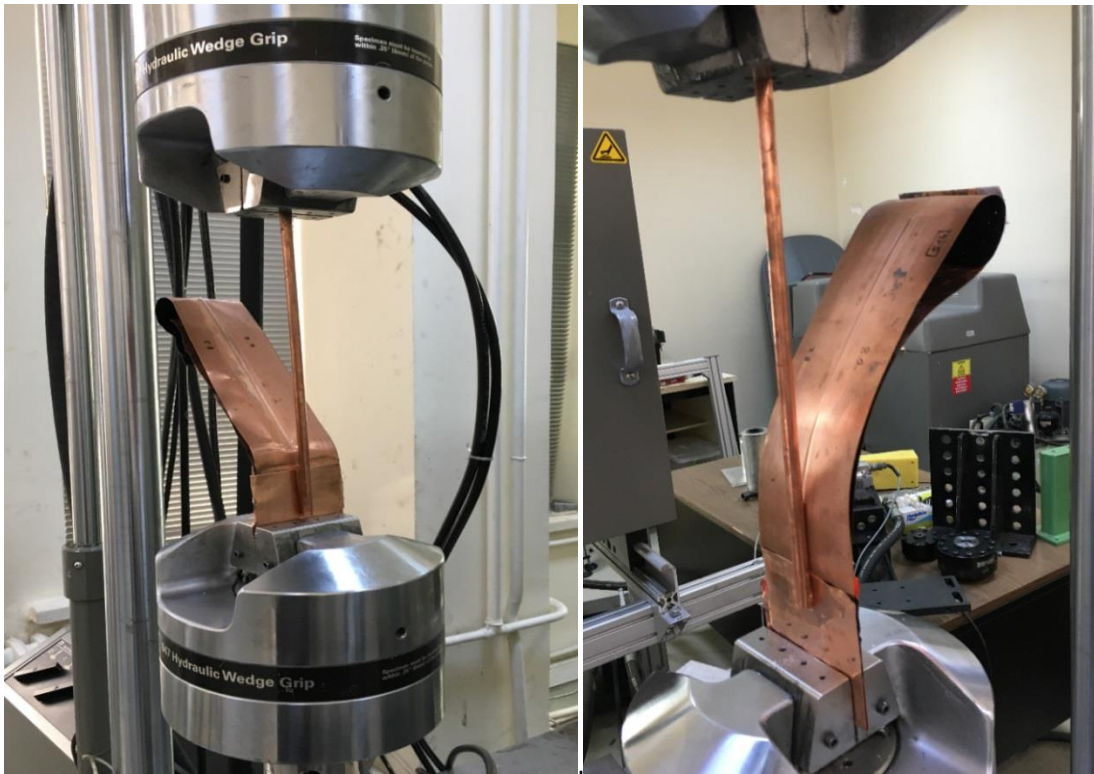


Şekil 3.10. Çekme-kayma testine hazır hale getirilmiş numuneler.

Numunede test sırasında oluşabilecek şekil değişimin önüne geçilmesi amacıyla levhanın üst kısmında numunenin toplam boyutu kadar bir levha kesimi yapıp, kaynak yapılmayan 50 mm'lik bölgenin üstüne özel metal yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Böylece numune test cihazına bağlandığında üst taraftaki tutucu uca ısı taşıyıcı borunun alt taraftaki tutucu uca ise hem levhanın alt hem de üst kısmının bağlanması sağlanmıştır. Numunenin teste tabi tutulan kaynak bölgesi 250 mm, numune genişliği ise 80 mm olup numenin bağlanış şekli ve ölçüleri Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Numuneler merkezlemeyi doğru sağlayacak biçimde yerleştirildikten sonra test işlemine başlanmıştır.



Şekil 3.11. Numunenin çekme test cihazına bağlanması ve gerilmeye bağlı kalan kaynak bölgesinin ölçüleri.



Şekil 3.12. Çekme-kayma testi başarıyla tamamlanmış olan numunelere ait görseller.

Deney sırasında çekme test cihazına bağlı olan bir bilgisayar tarafından eksenel kuvvet-uzama dataları kaydedilmiştir. Daha sonra bu datalar grafiğe dökülmüştür. Numunelerin kaynak bölgesinden tamamen ayrılması 60-90 sn gibi bir zaman diliminde gerçekleşmiştir. Daha sonra çekme test cihazı durdurulup deney sonlandırılmıştır. Test işlemi tamamlanan numunelere ait resimler Şekil 3.12’de gösterilmiştir.

Her bir parametreye sahip numuneden 2’şer adet yani toplam 24 adet numune çekme-kayma testine tabi tutulmuştur. Bu testlerin grafiklerinden elde edilen maksimum eksenel kuvvet değerlerinin ortalaması alınıp, Denklem (3.1) kullanılarak kayma gerilmesi değerleri hesaplanmıştır. Böylece elde edilen sonuçların daha doğruyu yansıtmaları amaçlanmıştır. Ayrıca aynı parametreye sahip iki numunenin çekme-kayma testinden elde edilen grafikte maksimum eksenel kuvvet değerleri arasındaki farkın 700 N’u geçmemesine dikkat edilmiştir. Elde edilen veriler testi yapılan diğer numunelerden elde edilen veriler ile kıyaslanmıştır. Sonuçların tutarsız olduğu düşünülen numunelerden aynı kaynak parametreleri kullanılarak tekrar kaynaklanmış olup, bu numuneler daha sonra tekrar çekme-kayma testine tabi tutulmuştur.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

Burada:

τ (MPa) : Kayma gerilmesi

F (N) : Eksenel kuvvet

A (mm²) : Yüzey Alanı

(Numunenin Kaymaya Maruz Bırakılan Bölgenin Alanı 250 mm x 80 mm =12000 mm²)

3.4.2 Bakalite Alma ve Yüzey Zımparalama İşlemleri

Mikro yapı incelemeleri ve sertlik ölçümleri için öncelikle numuneler 10 mm x 30 mm boyutlarında spiral yardımıyla kesilmiş ve numaralandırılmıştır. Kesim sırasında kaynak bölgesine zarar verilmemesine özen gösterilmiş olup, her parametreye sahip numuneden 5’er adet hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler numaralandırılıp Şekil 3.13’deki gibi paketlenmiştir.



Şekil 3.13. Hazırlanan numunelerin numaralandırılması ve paketlenmesi.

Kesim sırasında oluşan çapakların temizlenmesi ve daha pürüzsüz yüzey elde etmek amacıyla numuneler zımparalanmıştır. Ancak numunelerin kaynak bölgesinin hassas olması ve koruma gerektirmesi sebebiyle öncelikle numunelere sıcak bakalitleme işlemi uygulanmıştır. Sıcak bakalitleme işlemi, kolay tutunabilmesi ve daha iyi yüzey sonuçlarının elde etmek için numunelerin reçine içine gömülme işlemidir [36]. Bu işlem Şekil 3.14’de gösterilen Bulut Makina tarafından üretilmiş Bulumount-1 model bakalit presi ile 180 ° C sıcaklık 180 bar basınç ile yapılmıştır.



Şekil 3.14. Bulumount-1 model bakalit presi.

Bakalite alınmış numuneler daha sonra metalografik numune hazırlama yöntemleri dikkate alınarak Şekil 3.15’de gösterilen Buehler Metaserv marka su zımpara makinesi ile sırasıyla 180, 400, 600, 800 mesh zımpara ile zımparalanmıştır. Daha sonra bakalitlerin yüzeyleri çuha zımpara ile parlatılmıştır.



Şekil 3.15. Buehler Metaserv marka su zımpara makinesi.

Her bir bakalitin içinde sabit tutulan genlik değerinde 4 farklı hız parametrelerinde kaynaklanmış numuneler yer almaktadır. Şekil 3.16’de gösterildiği gibi üç farklı genlik değerine sahip üç bakalit yani toplam 12 adet numune 1 set numuneyi temsil etmektedir. Taramalı elektron mikroskobu ve mikrosertlik ölçümleri için ayrı ayrı olmak üzere toplam 2 set bakalit numune hazırlanmıştır.



Şekil 3.16. Bakalitlenip yüzeyi zımparalanmış numuneler.

3.4.3 Mikro Yapı Analizi (Taramalı Elektron Mikroskobu)

Bakalitlenmiş numunelerin mikro yapı analizinin gerçekleştirilebilmesi için analiz edilecek numunelerin iletken bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Kullanılan malzeme iletken bir yapıya sahip olsa bile bakalitlemeden doğabilecek görüntü bozukluklarının giderilmesi amacıyla numuneler Şekil 3.17’de gösterilen Quorum marka Q150R ES model kaplama cihazıyla 1 nanometre kalınlıkta altın ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi yaklaşık 40 sn sürmüştür.



Şekil 3.17. Quorum Q150R ES marka numune kaplama cihazı.

Altın ile kaplanarak iletken hale getirilen numunelerin mikro yapısını incelemek için Şekil 3.18’de gösterilen FEI marka QUANTA FEG 650 model taramalı elektron mikroskobu ile kaynak kesitinden görüntüler alınarak mikro yapı analizi gerçekleştirilmiştir. Parametrelerin etkisini daha iyi gözlemleyebilmek için kaynak hızı 4 m/dk, 16 m/dk ve genlik değeri 4 μm , 6 μm olan numuneler tercih edilmiştir.



Şekil 3.18. FEI QUANTA FEG 650 marka taramalı elektron mikroskobu.

3.4.4 Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS Analizi)

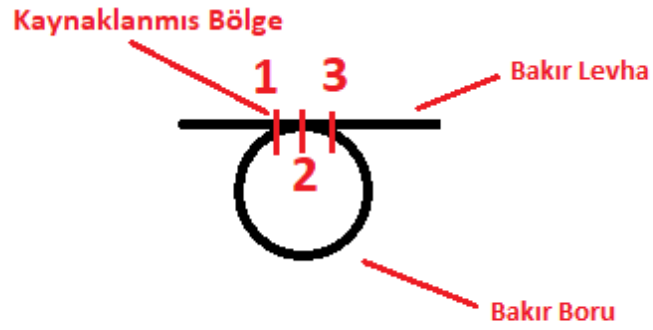
FEI marka QUANTA FEG 650 model taramalı elektron mikroskobu ile numunedeki elementel bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla optimum kaynak parametrelerine sahip 5 μm genlik ve 12 m/dk kaynak hızında kaynak edilen numuneye EDS analizi yapılmıştır. Analiz belirlenen bir kaynak kesitinden hem de numunenin tüm yüzeyinden yapılmıştır. Numune yüzeyindeki 0.003 mm kalınlığa sahip titanyum kaplamanın (selektif yüzeyin) kaynak dikiş bölgesinde nüfuz edip etmediğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.4.5 Mikrosertlik Ölçümleri (Vickers-Sertlik Testi)

Sertlik ölçümleri Şekil 3.19’de gösterilen Wilson Hardness 1102 marka mikrosertlik ölçüm cihazında HV 0,05 (50 gr) yük altında her bir kaynak bölgesinden 1 mm aralıkla 3’er ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri sonucunda ortalama değer, ölçüm yapılan bölgedeki sertlik değeri olarak kabul edilmiştir. Toplam 1 set yani 12 adet numuneye mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Kaynak bölgesinden ölçüm alınan bölgelerin numaralandırılmış şematik gösterimi Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.19. Wilson Hardness 1102 marka mikrosertlik ölçüm cihazı.

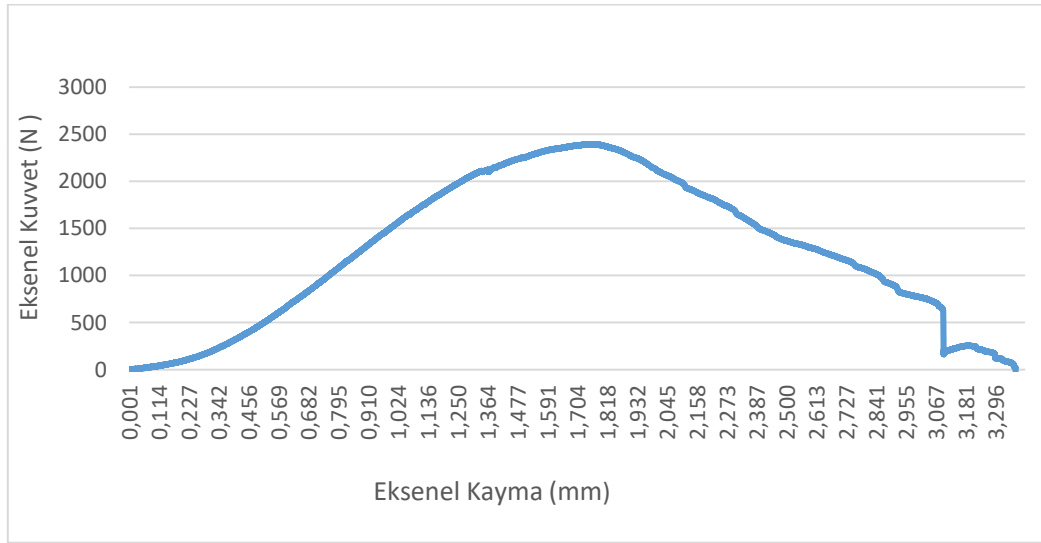


Şekil 3.20. Kaynak bölgesinden ölçüm alınan bölgelerin gösterimi.

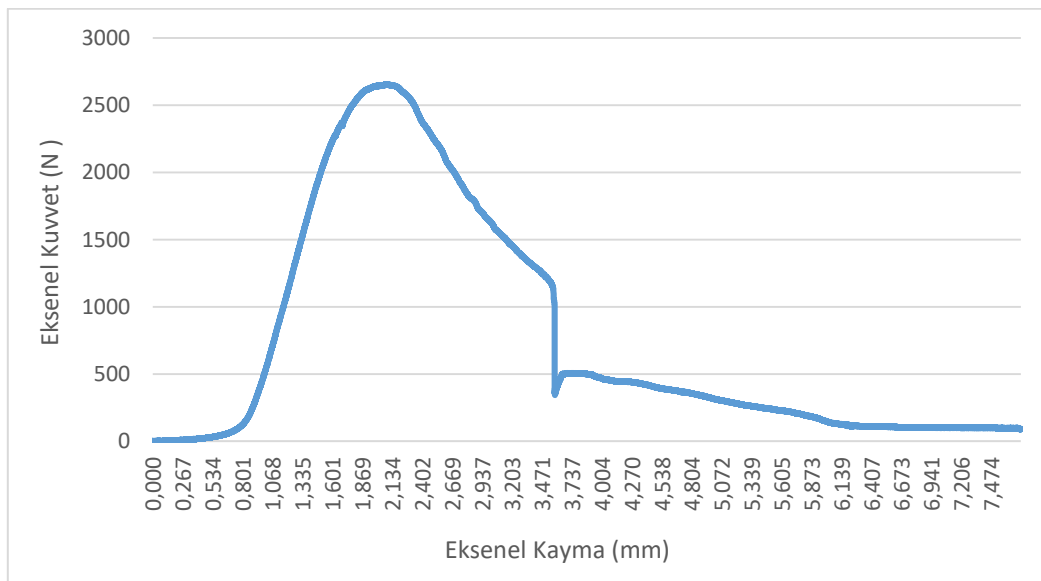
4.BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Çekme-Kayma Testi

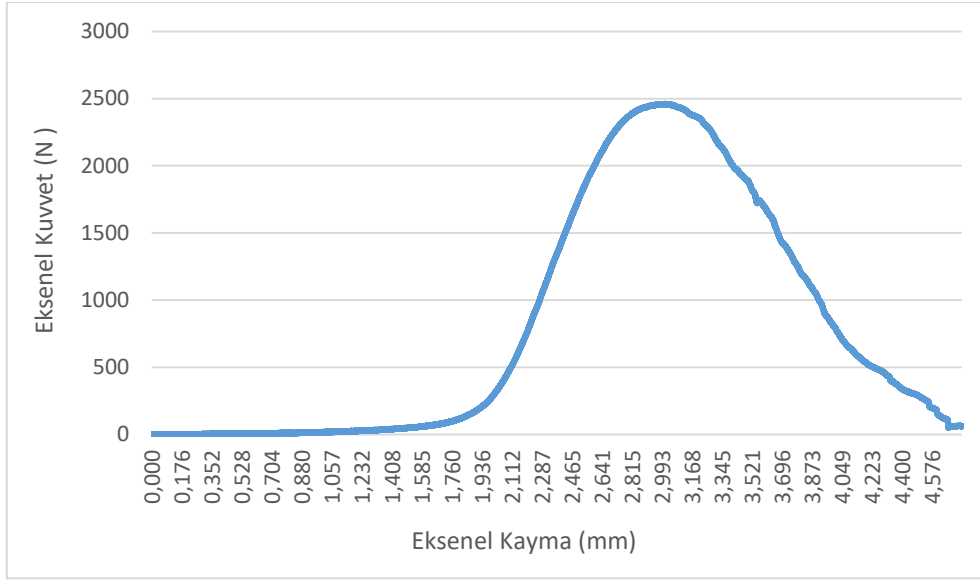
Belirlenen parametrelere sahip numunelerin her birinden 2 adet olmak üzere toplam 24 adet numune çekme-kayma testine tabi tutulmuştur. Test sırasında çekme test cihazına bağlı olan bir bilgisayar tarafından eksenel kuvvet-eksenel uzama dataları kaydedilmiştir. Elde edilen grafikler sırasıyla aşağıda verilmiştir [Şekil 4.1-4.24].



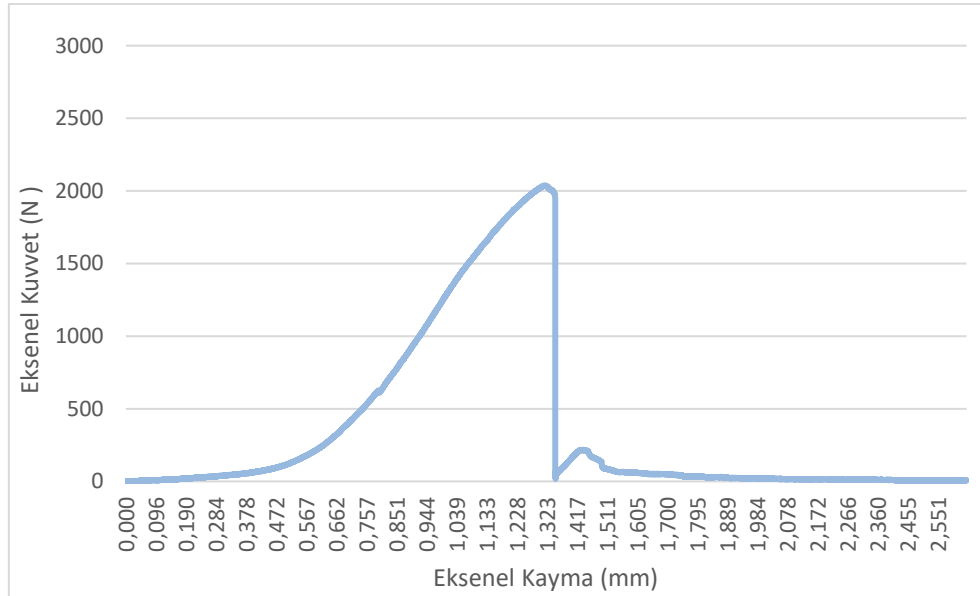
Şekil 4.1. Genlik 4 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (Max. Eksenel Kuvvet Değeri 2392 N).



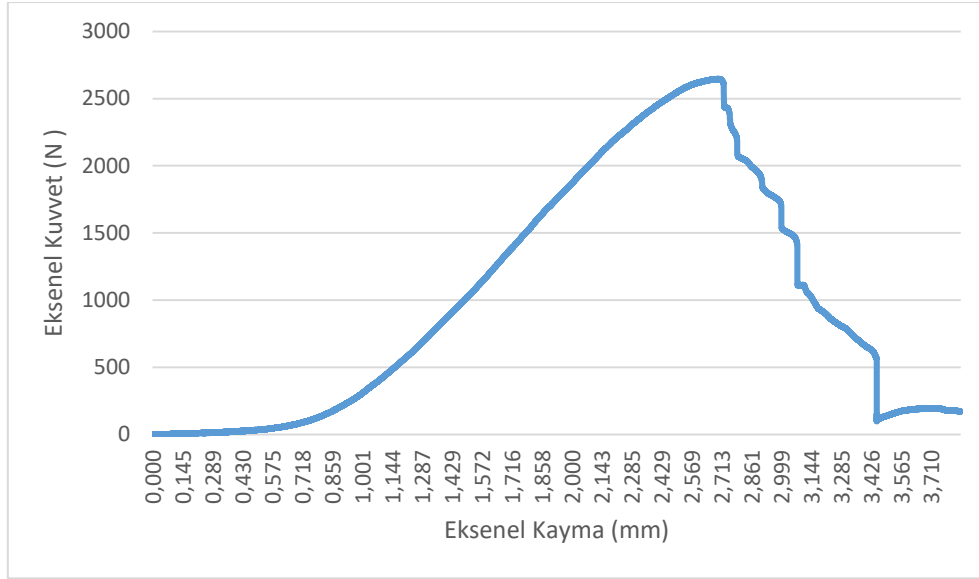
Şekil 4.2. Genlik 4 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2655N).



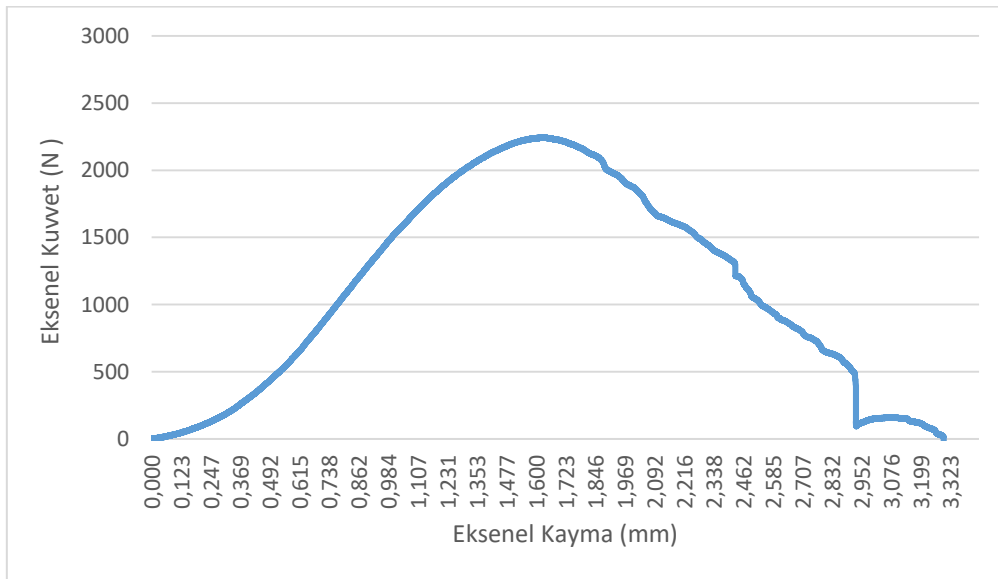
Şekil 4.3. Genlik 5 μ m kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2460 N).



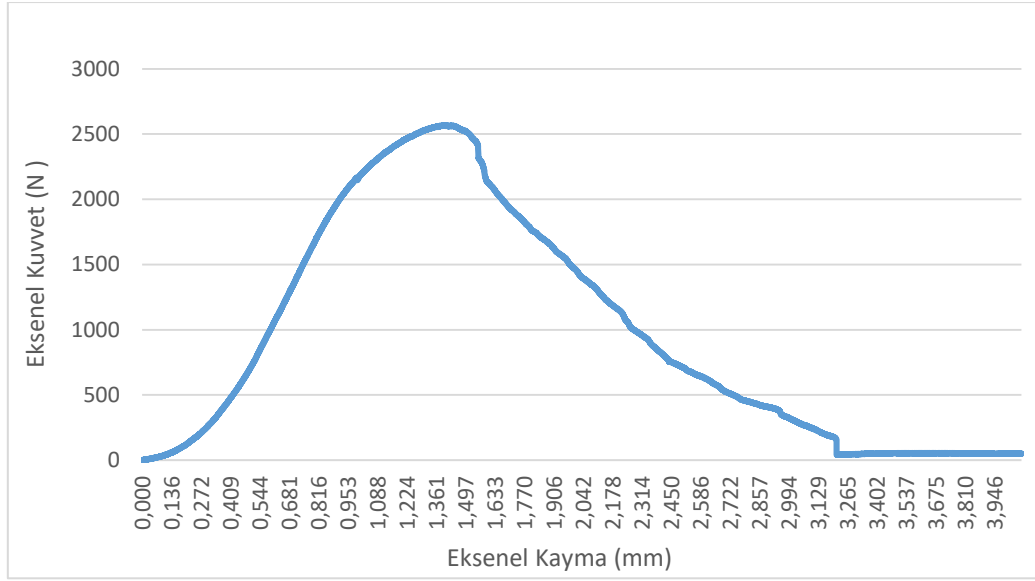
Şekil 4.4. Genlik 5 μ m kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2036 N).



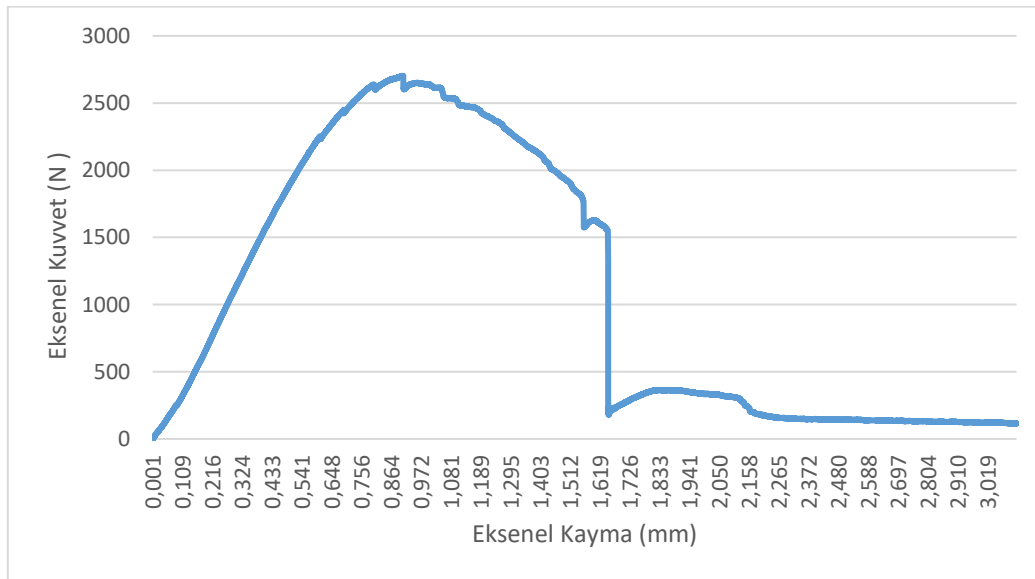
Şekil 4.5. Genlik 6 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2646 N).



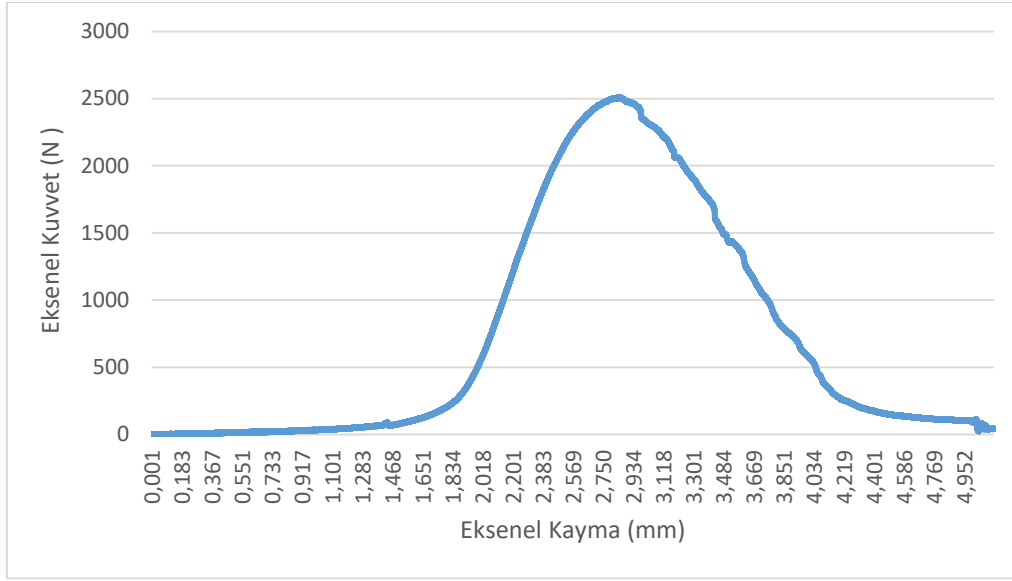
Şekil 4.6. Genlik 6 µm kaynak hızı 4 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2245 N).



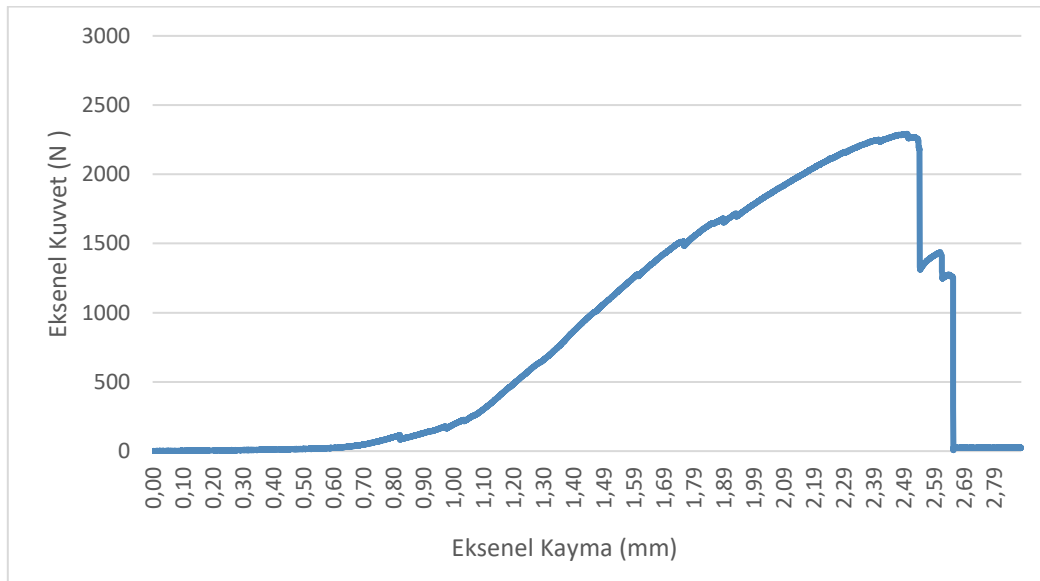
Şekil 4.7. Genlik 4 μ m kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2566 N).



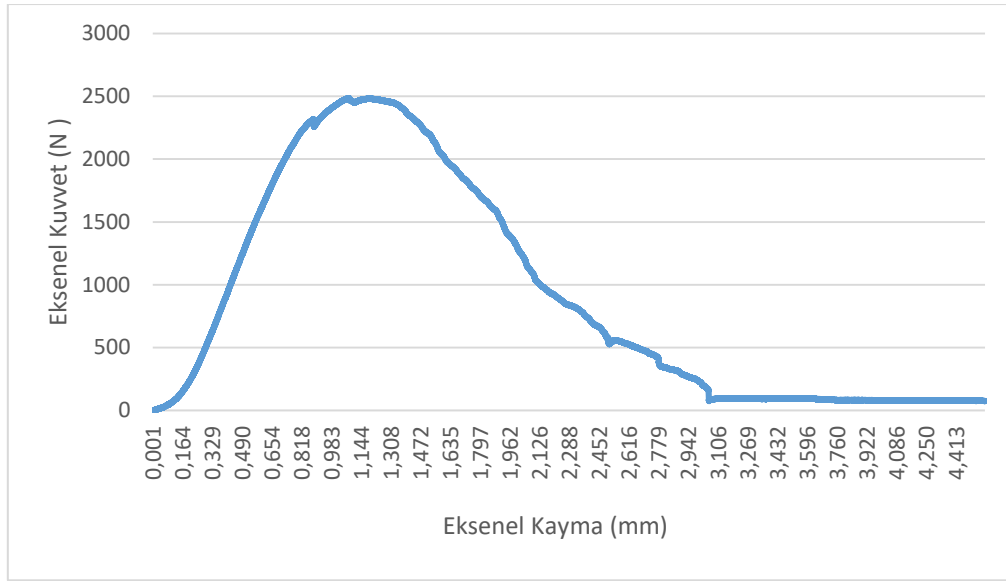
Şekil 4.8. Genlik 4 μ m kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2702 N).



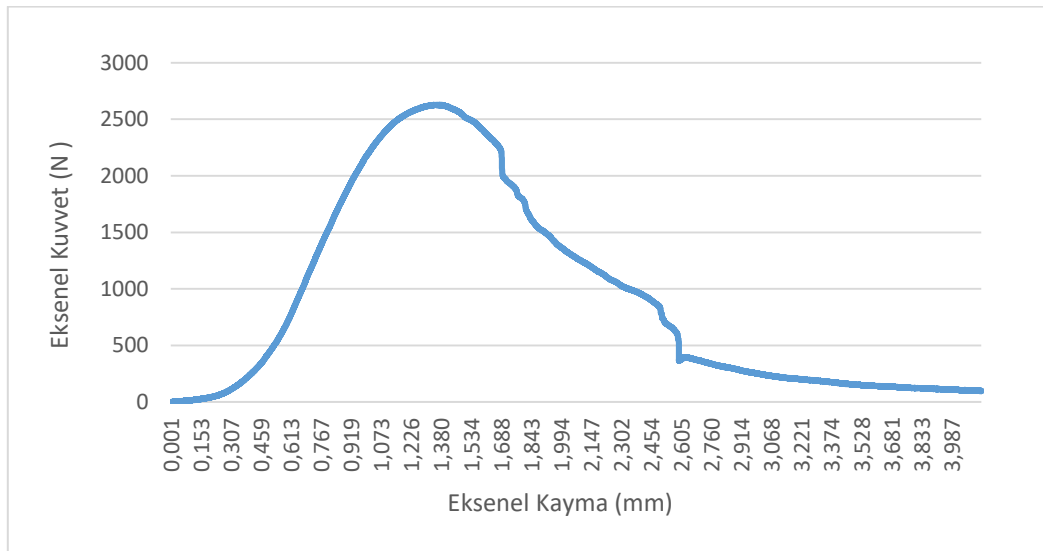
Şekil 4.9. Genlik 5 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2508 N).



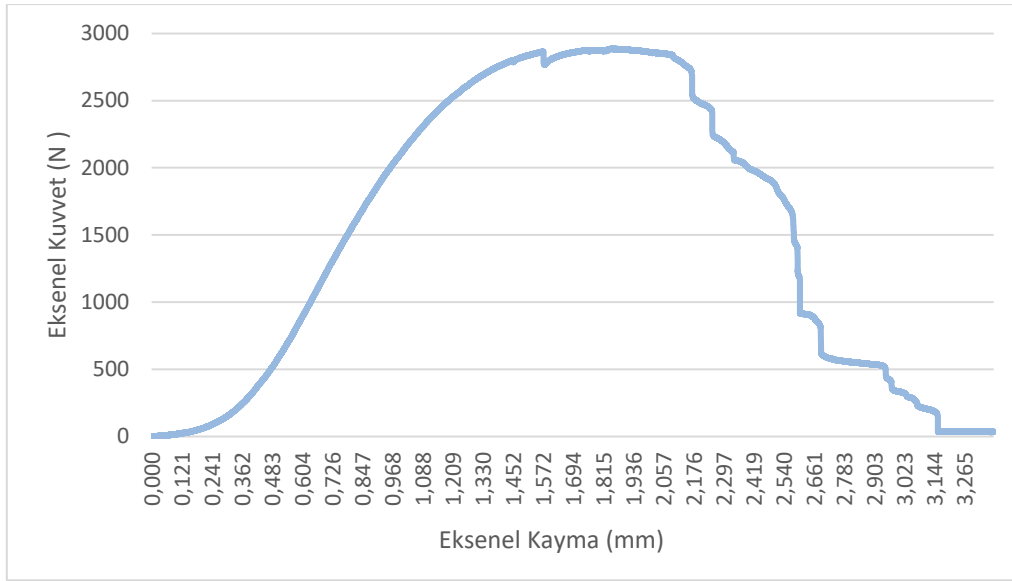
Şekil 4.10. Genlik 5 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2292 N).



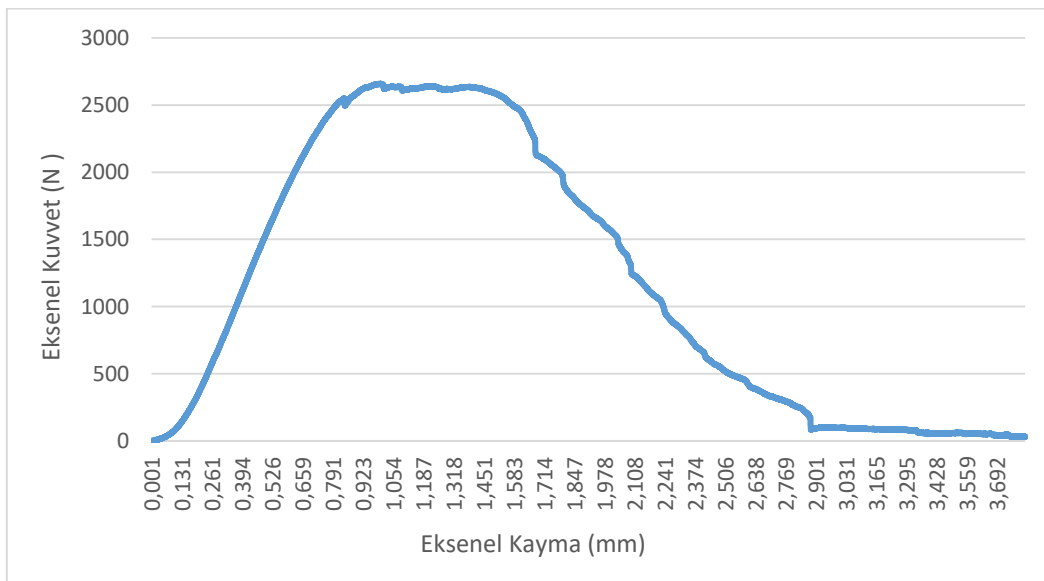
Şekil 4.11. Genlik 6 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2486 N).



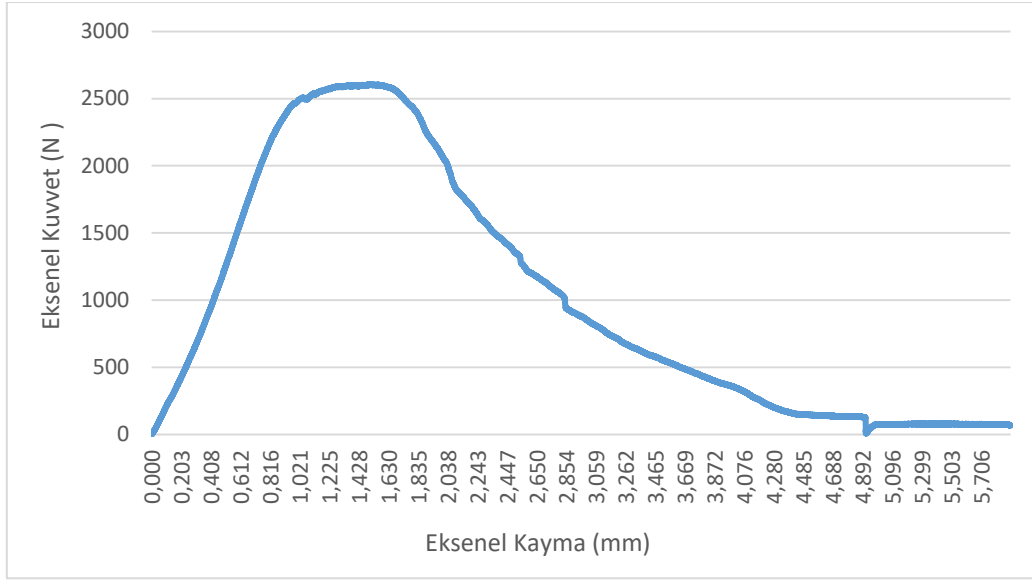
Şekil 4.12. Genlik 6 µm kaynak hızı 8 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2628 N).



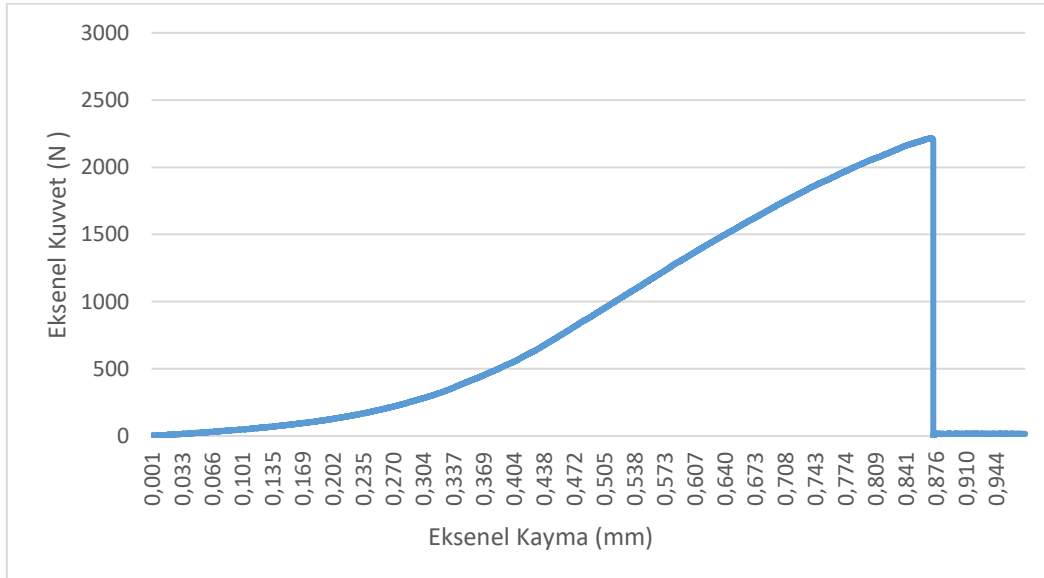
Şekil 4.13. Genlik 4 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2886 N).



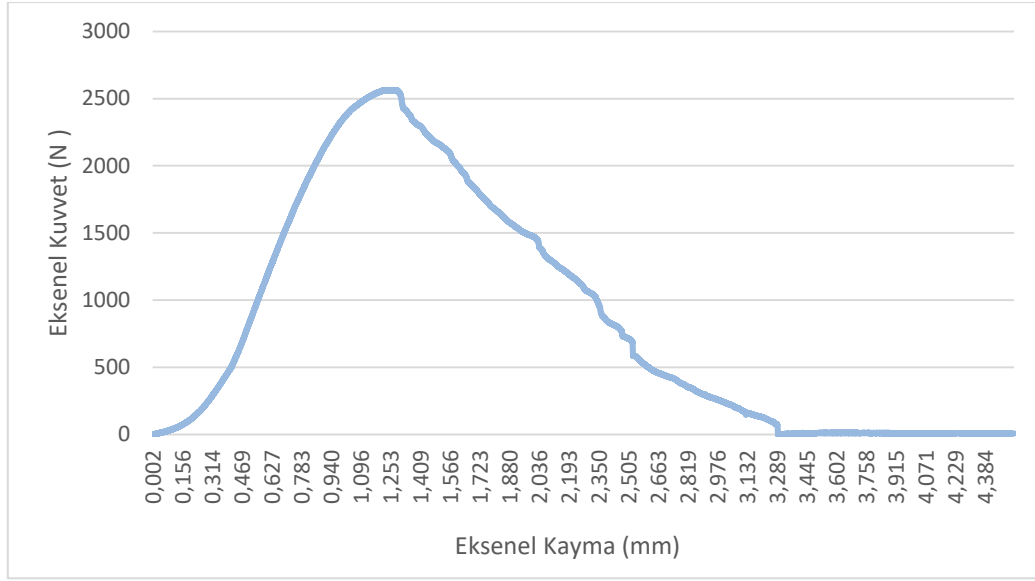
Şekil 4.14. Genlik 4 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2658 N).



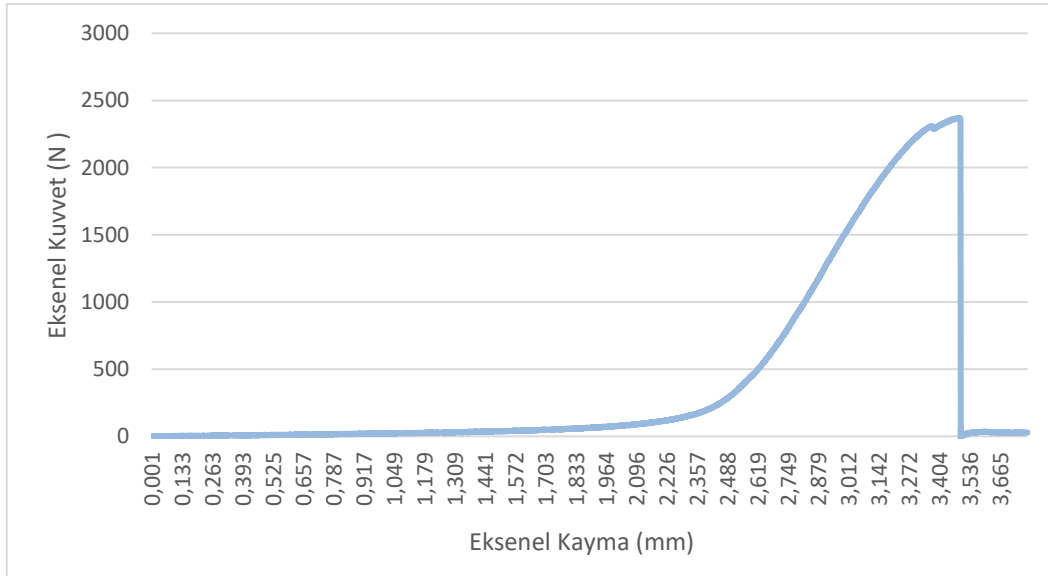
Şekil 4.15. Genlik 5 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2605 N).



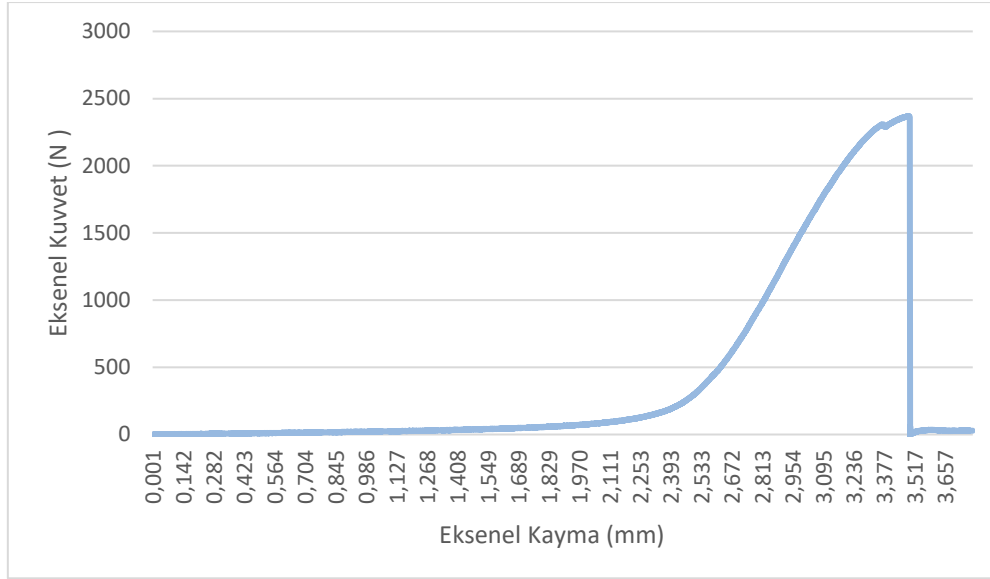
Şekil 4.16. Genlik 5 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2214 N).



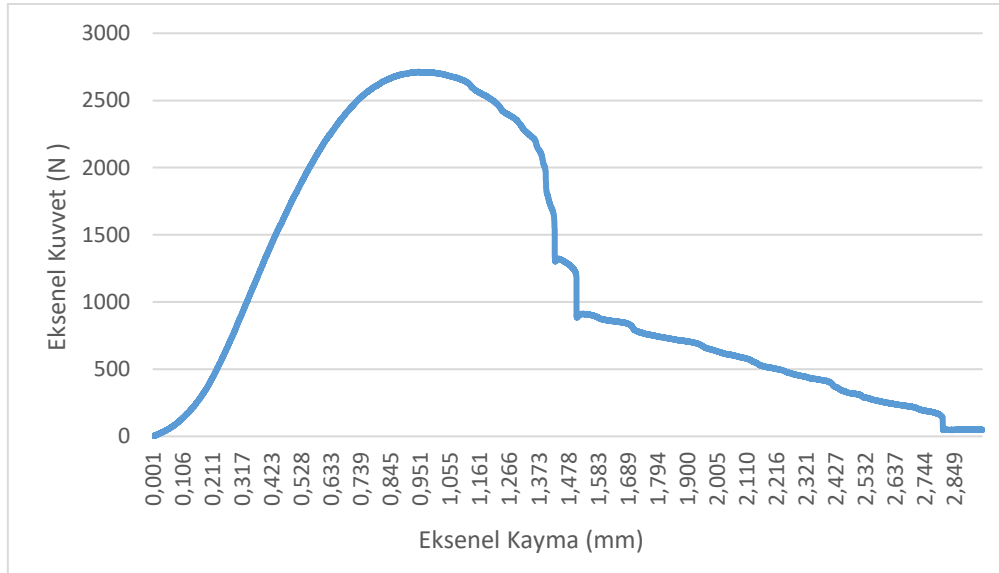
Şekil 4.17. Genlik 6 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2564 N).



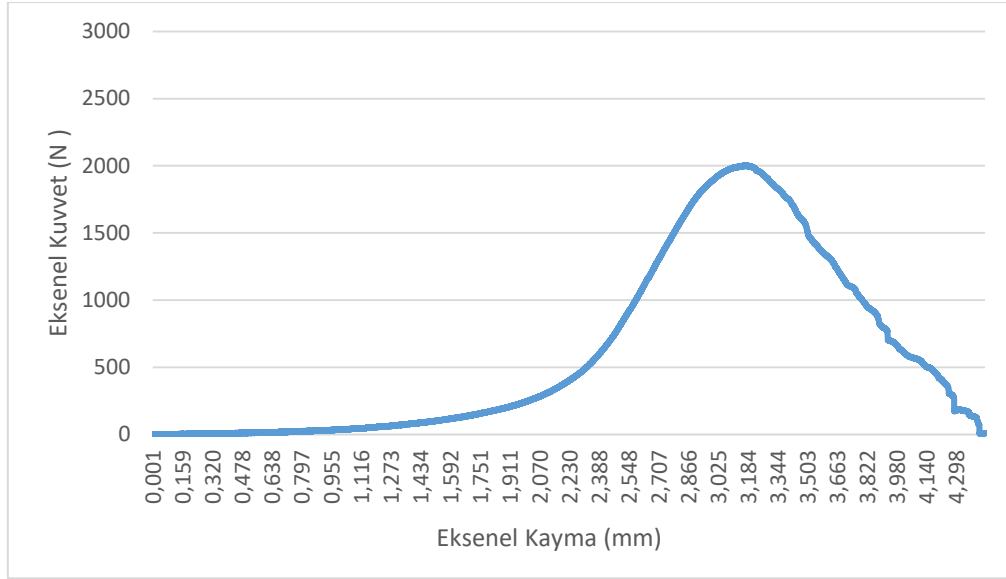
Şekil 4.18. Genlik 6 µm kaynak hızı 12 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2370 N).



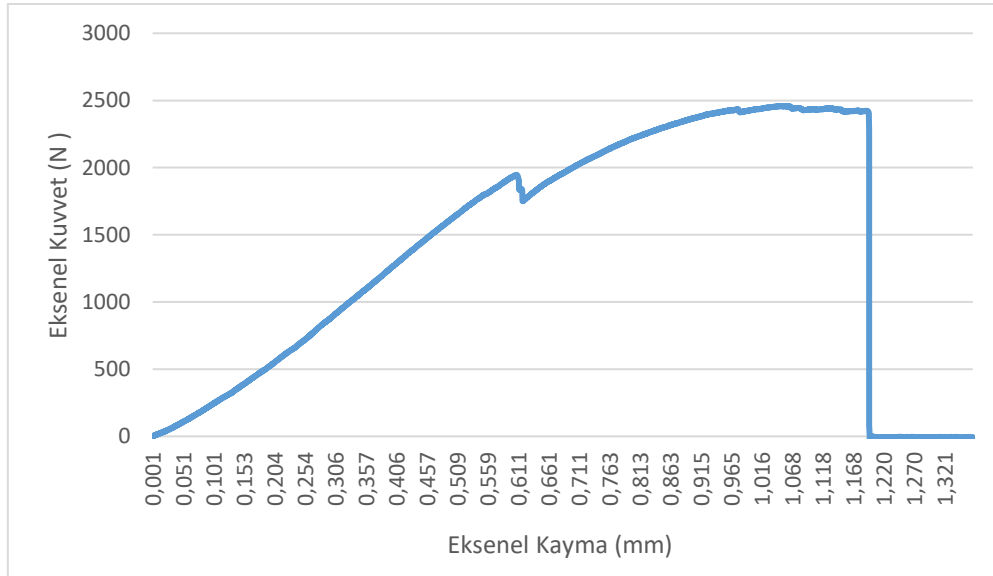
Şekil 4.19. Genlik 4 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2479 N).



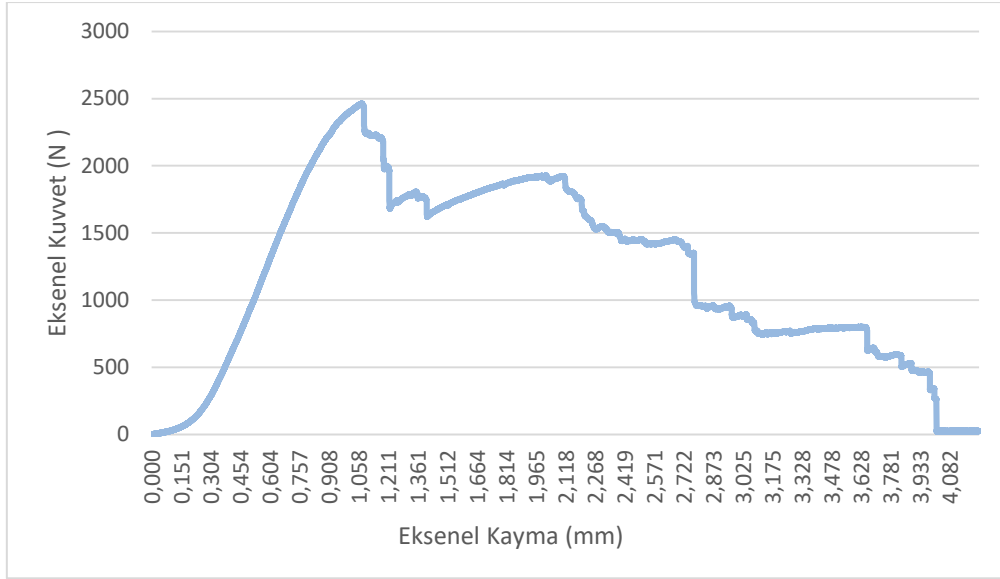
Şekil 4.20. Genlik 4 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2713 N).



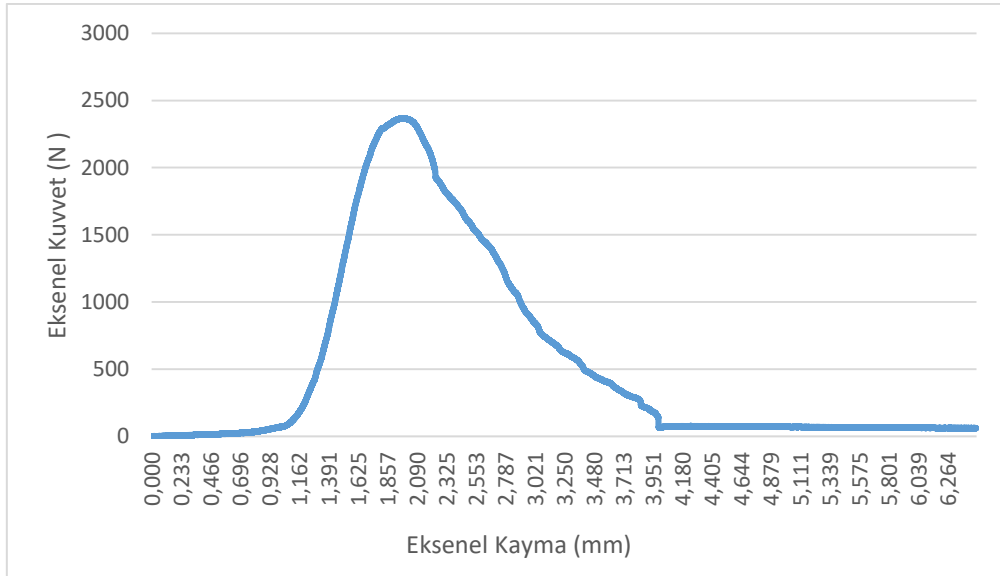
Şekil 4.21. Genlik 5 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2001 N).



Şekil 4.22. Genlik 5 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2458 N).



Şekil 4.23. Genlik 6 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 1. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2462 N).



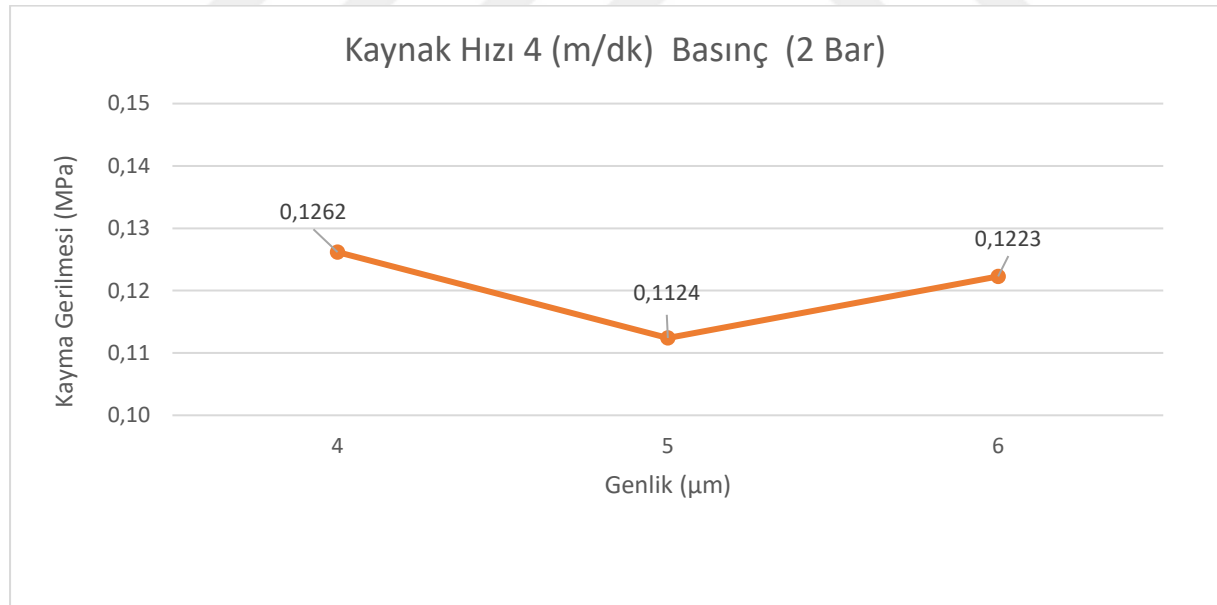
Şekil 4.24. Genlik 6 µm kaynak hızı 16 m/dk olan numuneye ait 2. ölçülen kuvvet-kayma grafiği (max. eksenel kuvvet değeri 2369 N)

Aynı parametreler kullanılarak kaynak edilmiş iki numunenin çekme-kayma testi grafiklerinden elde edilen maksimum eksenel kuvvet değerlerinin ortalaması alınıp, kayma gerilmesi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerde, kaynak hızı sabit tutularak genlik değişiminin bağlantı kalitesine olan etkisi, aynı şekilde uygulama genliği sabit tutularak kaynak hızının bağlantı kalitesine olan etkisi ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1.1 Genlik Değişiminin Bağlantı Kalitesine Olan Etkisinin İncelenmesi

Tablo 4.1. 4 m/dk Kaynak hızı 4,5,6 μm genlik değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.

Kaynak Hızı 4 (m/dk) Basınç (2 Bar)					
Genlik (μm)	1.Numune Max Kuvvet (N)	2.Numune Max Kuvvet (N)	Ortalama Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm^2)	Kayma Gerilmesi τ (MPa)
4	2392	2655	2524	20000	0,1262
5	2460	2036	2248	20000	0,1124
6	2646	2245	2446	20000	0,1223

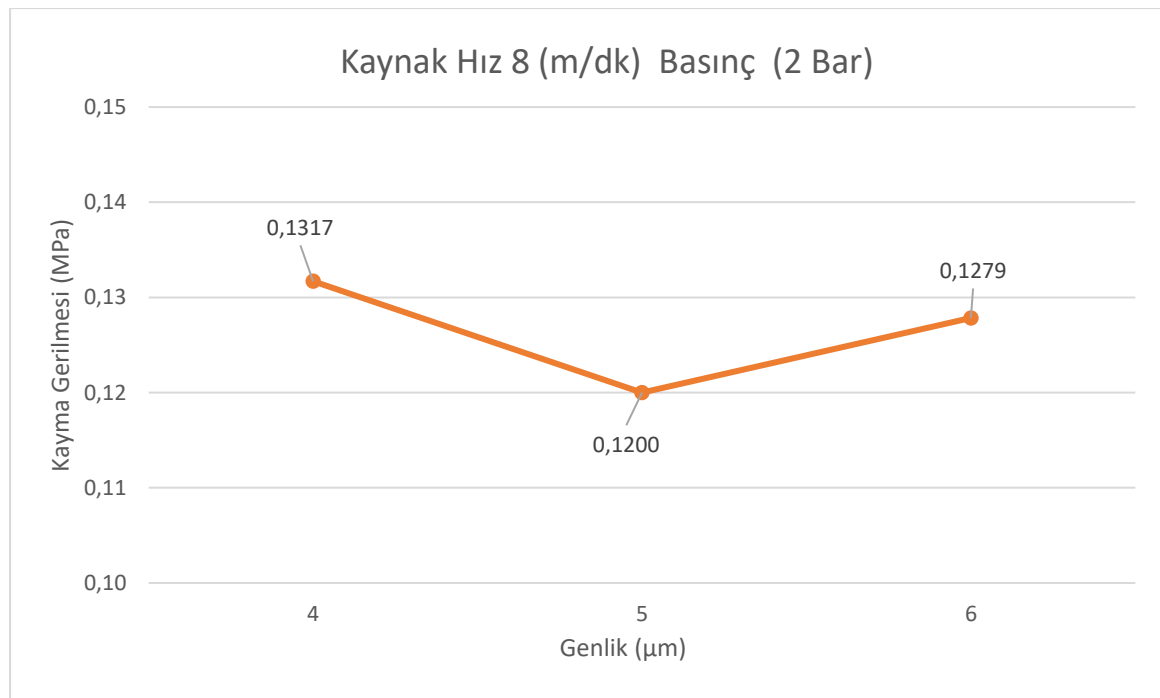


Şekil 4.25. 4 m/dk Kaynak hızında genlik değişiminin kayma gerilmesine etkisi.

Tablo 4.1'deki ortalama kuvvet değerleri kullanılarak hesaplanan kayma gerilmesi değerleri Şekil 4.25'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 4 m/dk sabit hızla kaynaklanan numunelerin kayma gerilmesi değeri 4 μm genlik değerinde 0,1262 MPa, 5 μm genlik değerinde 0,1124 MPa, 6 μm genlik değerinde 0,1223 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2. 8 m/dk Kaynak hızı 4,5,6 μm genlik değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.

Kaynak Hızı 8 (m/dk) Basınç (2 Bar)					
Genlik (μm)	1.Numune Max Kuvvet (N)	2.Numune Max Kuvvet (N)	Ortalama Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm^2)	Kayma Gerilmesi τ (MPa)
4	2566	2702	2634	20000	0,1317
5	2508	2292	2400	20000	0,1200
6	2486	2628	2557	20000	0,1279

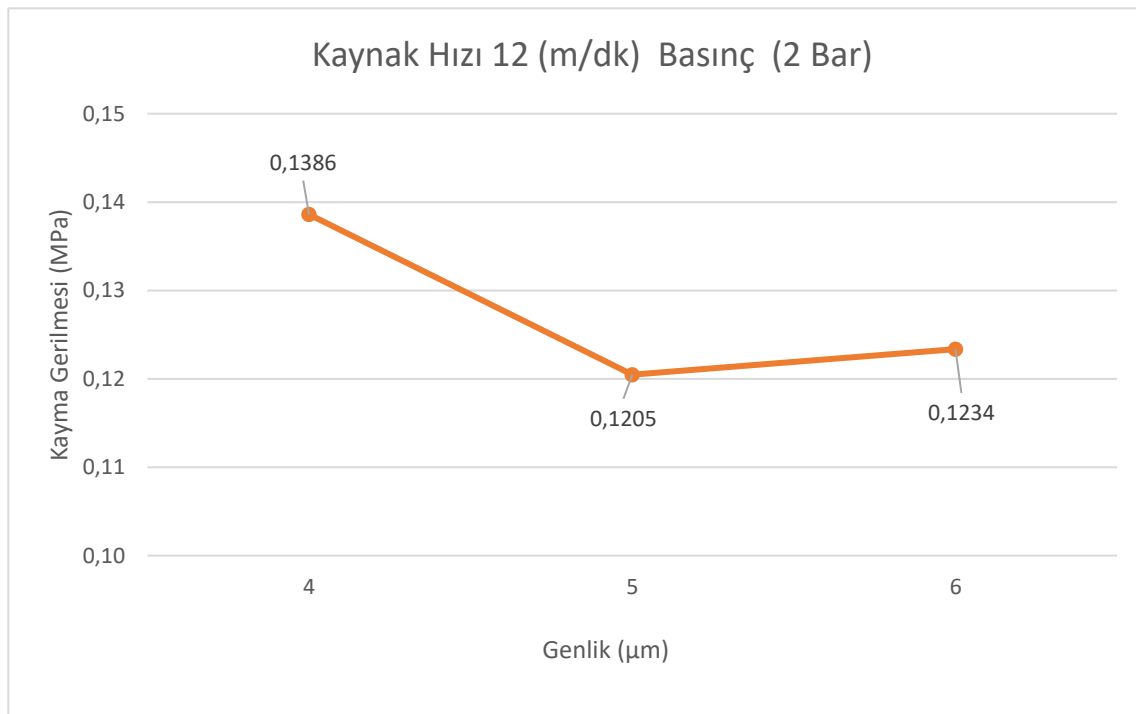


Şekil 4.26. 8 m/dk Kaynak hızında genlik değişiminin kayma gerilmesine etkisi.

Tablo 4.2'deki ortalama kuvvet değerleri kullanılarak hesaplanan kayma gerilmesi değerleri Şekil 4.26'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 8 m/dk sabit hızla kaynaklanan numunelerin kayma gerilmesi değeri 4 μm genlik değerinde 0,1317 MPa, 5 μm genlik değerinde 0,1200 MPa, 6 μm genlik değerinde 0,1279 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.3. 12 m/dk Kaynak hızı 4,5,6 μm genlik değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.

Kaynak Hızı 12 (m/dk) Basınç (2 Bar)					
Genlik (μm)	1.Numune Max Kuvvet (N)	2.Numune Max Kuvvet (N)	Ortalama Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm^2)	Kayma Gerilmesi τ (MPa)
4	2886	2658	2772	20000	0,1386
5	2605	2214	2410	20000	0,1205
6	2564	2370	2467	20000	0,1234

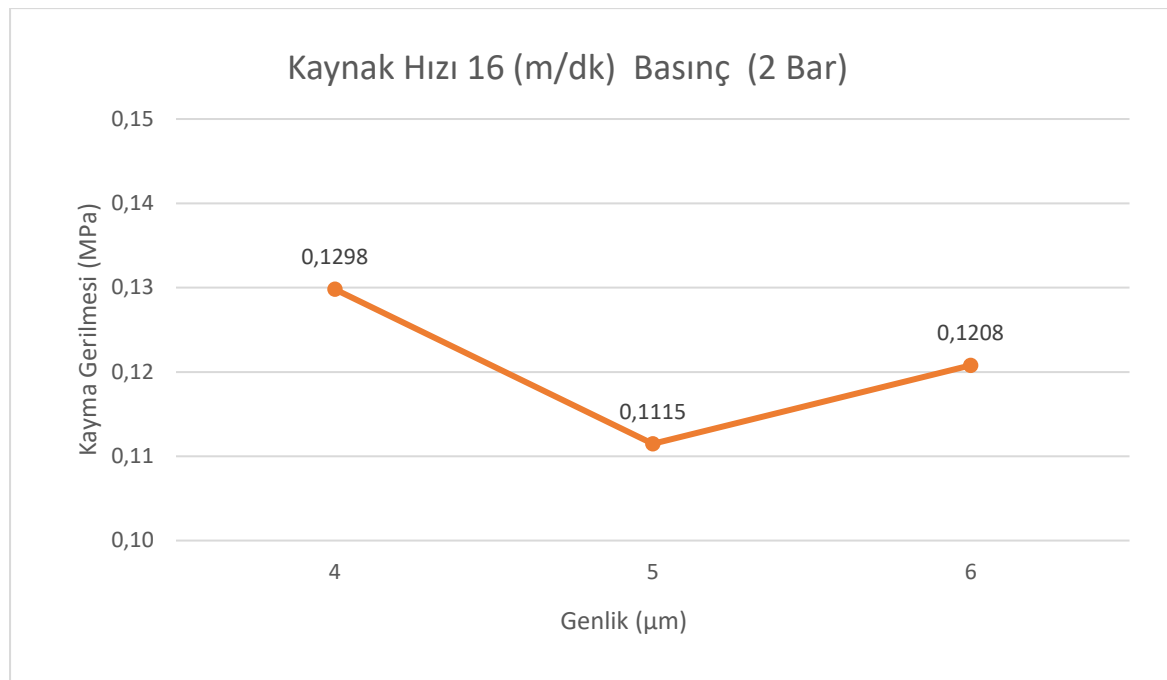


Şekil 4.27. 12 m/dk Kaynak hızında genlik değişiminin kayma gerilmesine etkisi.

Tablo 4.3'deki ortalama kuvvet değerleri kullanılarak hesaplanan kayma gerilmesi değerleri Şekil 4.27'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 12 m/dk sabit hızla kaynaklanan numunelerin kayma gerilmesi değeri 4 μm genlik değerinde 0,1386 MPa, 5 μm genlik değerinde 0,1205 MPa, 6 μm genlik değerinde 0,1234 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.4. 16 m/dk Kaynak hızı 4,5,6 μm genlik değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.

Kaynak Hızı 16 (m/dk) Basınç (2 Bar)					
Genlik (μm)	1.Numune Max Kuvvet (N)	2.Numune Max Kuvvet (N)	Ortalama Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm^2)	Kayma Gerilmesi τ (MPa)
4	2479	2713	2596	20000	0,1298
5	2458	2001	2230	20000	0,1115
6	2462	2369	2416	20000	0,1208

**Şekil 4.28.** 16 m/dk Kaynak hızında genlik değişiminin kayma gerilmesine etkisi.

Tablo 4.4'deki ortalama kuvvet değerleri kullanılarak hesaplanan kayma gerilmesi değerleri Şekil 4.28'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 16 m/dk sabit hızla kaynaklanan numunelerin kayma gerilmesi değeri 4 μm genlik değerinde 0,1298 MPa, 5 μm genlik değerinde 0,1115 MPa, 6 μm genlik değerinde 0,1208 MPa olarak hesaplanmıştır.

Genlik değerinin artması numune yüzeyinde sonotratın daha fazla sağa sola hareket etmesine neden olmaktadır. Bu da kaynak dikiş çapının artmasına neden olup, yeni oluşan ara yüzeylerde birleşmenin tam sağlanamamasına yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak, enerji kayıpları meydana gelmektedir. Oluşan bu enerji kayıplarının bir sonucu olarak farklı kaynak hızı değerlerindede genlik değeri 4 μm 'den 5 μm 'ye çıkarıldığında kayma gerilmesi değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Genlik değeri 5 μm 'dan 6 μm 'ye çıkarıldığında ise oluşan yeni ara

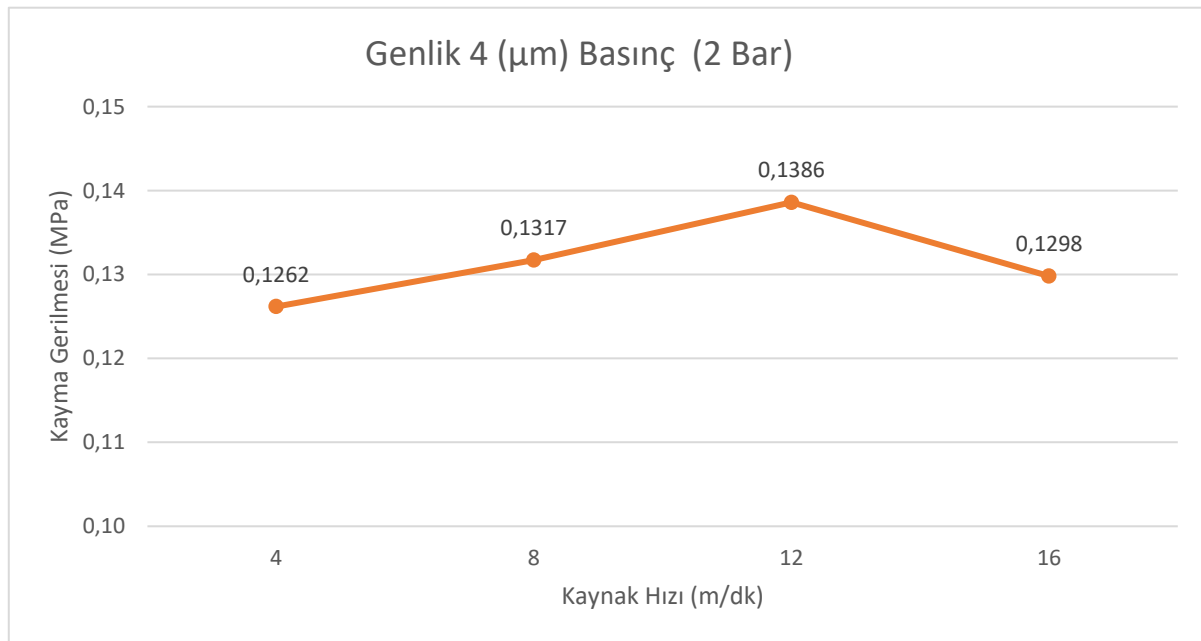
yüzlerde kısmi bir birleşme sağlandığından dolayı kayma gerilmesi değerlerinde artış gözlenmiştir. Kong C.Y. ve arkadaşları [17] yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Ek olarak; genlik değerinin artması kaynak bölgesinde oluşan titreşimi artmaktadır. Kullanılan bakır levhanın çok ince olması sebebiyle artan bu titreşim numune yüzeyinde deformasyona yol açmaktadır. Numune yüzeyinde oluşan deformasyona bağlı olarak kayma gerilmesi değerinde düşüşe yol açan başka bir etmendir.

4.1.2 Kaynak Hızının Bağlantı Kalitesine Olan Etkisinin İncelenmesi

Tablo 4.5. 4 μm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.

Genlik 4 (μm) Basınç (2 Bar)					
Kaynak Hızı (m/dk)	1.Numune Max Kuvvet (N)	2.Numune Max Kuvvet (N)	Ortalama Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm^2)	Kayma Gerilmesi τ (MPa)
4	2392	2655	2524	20000	0,1262
8	2566	2702	2634	20000	0,1317
12	2886	2658	2772	20000	0,1386
16	2479	2713	2596	20000	0,1298

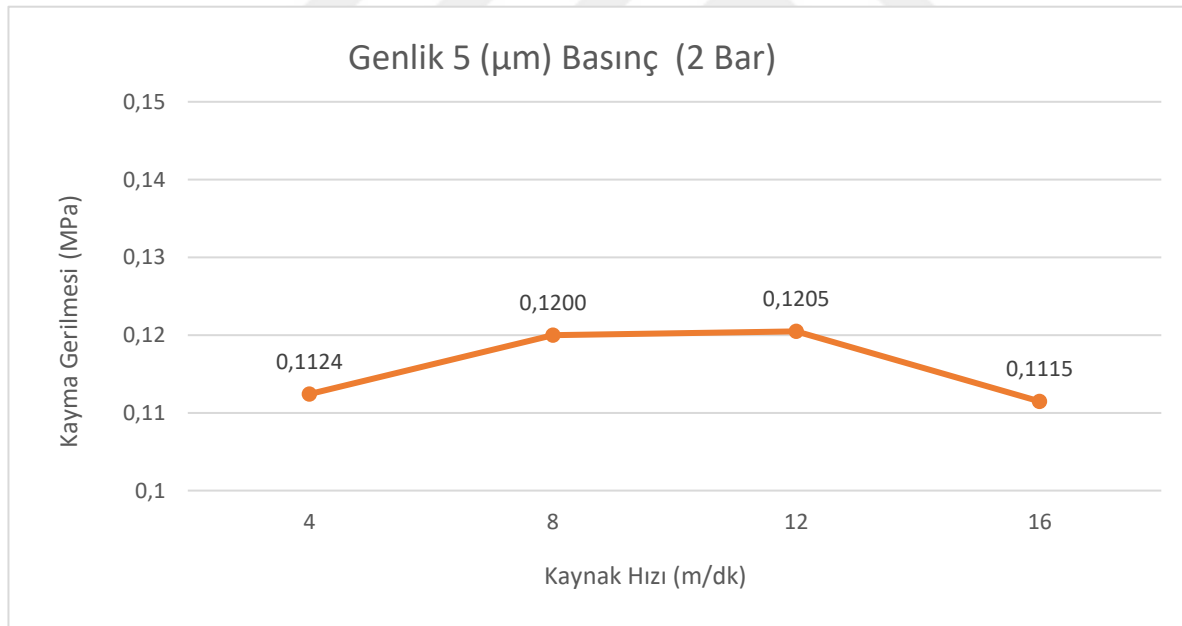


Şekil 4.29. 4 μm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin kayma gerilmesine etkisi.

Tablo 4.5'deki ortalama kuvvet değerleri kullanılarak hesaplanan kayma gerilmesi değerleri Şekil 4.29'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 4 μm genlik değerinde kaynaklanan numunelerin kayma gerilmesi değeri 4 m/dk hızla 0,1262 MPa, 8 m/dk hızla 0,1317 MPa, 12 m/dk hızla 0.1386 MPa, 16 m/dk hızla ise 0.1298 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.6. 5 μm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.

Genlik 5 (μm) Basınç (2 Bar)					
Kaynak Hızı (m/dk)	1.Numune Max Kuvvet (N)	2.Numune Max Kuvvet (N)	Ortalama Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm^2)	Kayma Gerilmesi τ (MPa)
4	2460	2036	2248	20000	0,1124
8	2508	2292	2400	20000	0,1200
12	2605	2214	2410	20000	0,1205
16	2001	2458	2230	20000	0,1115

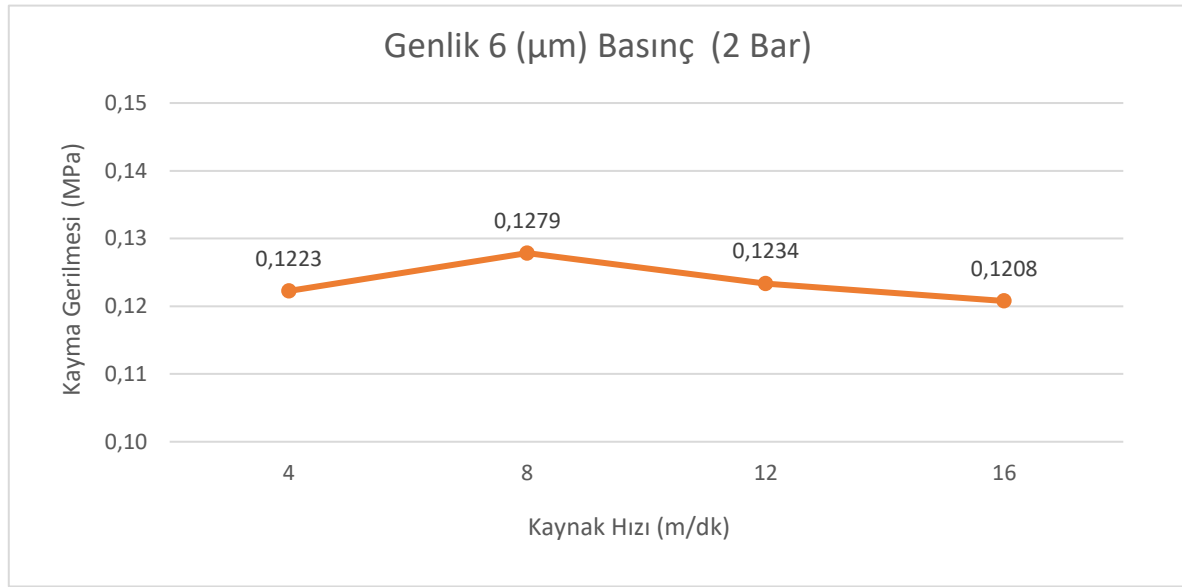


Şekil 4.30. 5 μm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin kayma gerilmesine etkisi.

Tablo 4.6'deki ortalama kuvvet değerleri kullanılarak hesaplanan kayma gerilmesi değerleri Şekil 4.30'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 5 μm genlik değerinde kaynaklanan numunelerin kayma gerilmesi değeri 4 m/dk hızla 0,1124 MPa, 8 m/dk hızla 0,1200 MPa, 12 m/dk hızla 0.1205 MPa, 16 m/dk hızla ise 0.1115 MPa olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.7. 6 μm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde elde edilen kuvvet ve hesaplanan kayma gerilmesi değerleri.

Genlik 6 (μm) Basınç (2 Bar)					
Kaynak Hızı (m/dk)	1.Numune Max Kuvvet (N)	2.Numune Max Kuvvet (N)	Ortalama Kuvvet (N)	Kesit Alanı (mm^2)	Kayma Gerilmesi τ (MPa)
4	2646	2245	2446	20000	0,1223
8	2486	2628	2557	20000	0,1279
12	2564	2370	2467	20000	0,1234
16	2462	2369	2416	20000	0,1208



Şekil 4.31. 6 μm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin kayma gerilmesine etkisi.

Tablo 4.7'deki ortalama kuvvet değerleri kullanılarak hesaplanan kayma gerilmesi değerleri Şekil 4.31'de karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 6 μm genlik değerinde kaynaklanan numunelerin kayma gerilmesi değeri 4 m/dk hızla 0,1223 MPa, 8 m/dk hızla 0,1279 MPa, 12 m/dk hızla 0,1234 MPa, 16 m/dk hızla ise 0,1208 MPa olarak hesaplanmıştır.

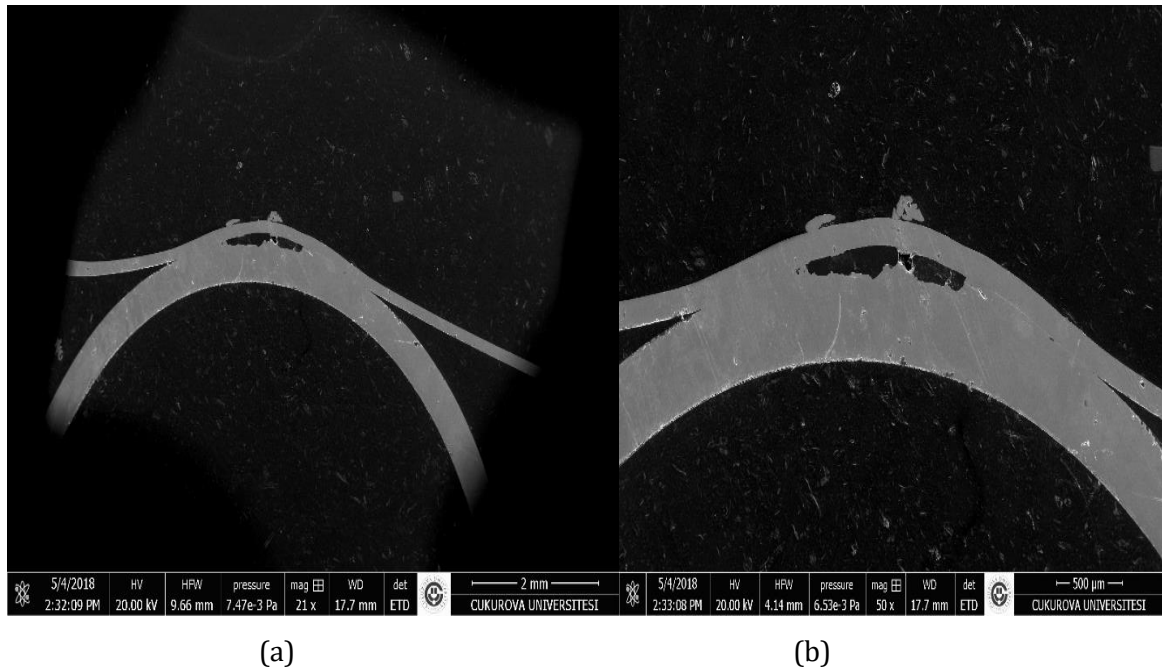
Elde edilen kayma gerilmesi değerlerine göre kaynak hızı 4 m/dk olan numunelerde kaynak hızının yavaş olması sebebiyle numune yüzeyinde artan basınç ve titreşimin bir sonucu olarak ince sacda deformasyona yol açtığı bunun sonucu olarak 8 m/dk hızla kaynak yapılan numunelere göre kayma gerilmesi değerinin azda olsa bir düşüşe yol açtığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlarda en yüksek kayma gerilmesi değerlerine 8 m/dk ve 12 m/dk hızlarında ulaşılmıştır. Kaynak hızının 12 m/dk'ın üstüne çıkması ise kaynak nüfuziyetini kötü etkilemekle beraber bunun sonucu olarak kayma gerilmesi değerinde düşüşe yol açmıştır. Ayrıca çekme-

kayma testlerinin grafiklerde görüldüğü üzere kaynak hızının yüksek olduğu numuneler daha hızlı ve kolay şekilde ayrılmıştır (Şekil 4.16-4.18-4.22).

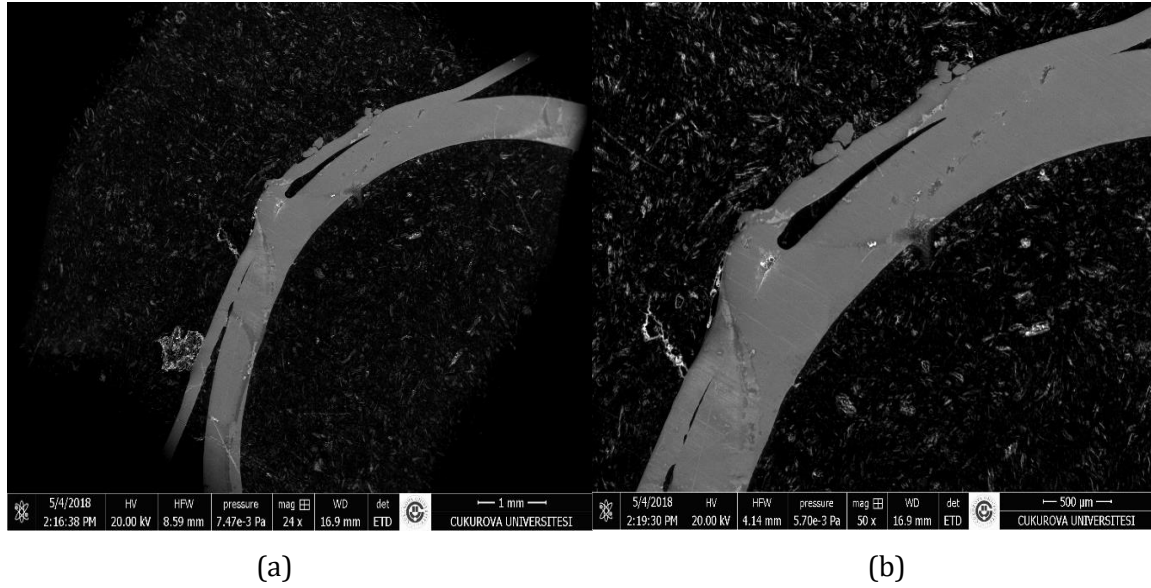
4.2 Mikro Yapı Analizi (Taramalı Elektron Mikroskobu)

4.2.1 Genlik Değişiminin Etkisi

Genlik değişiminin kaynak kalitesine olan etkisinin gözlenebilmesi için 8 m/dk sabit kaynak hızında 4 μm ve 6 μm genlik değerlerinde kaynatılan numunelerin farklı yaklaştırma değerlerinde çekilmiş mikroyapı görüntüleri Şekil 4.32' de ve Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.32. 8 m/dk Sabit hızda 4 μm genlik değerlerinde kaynatılmış numunenin (a) 2000 μm 'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri (b) 500 μm 'de çekilmiş mikroyapı görüntüleri.

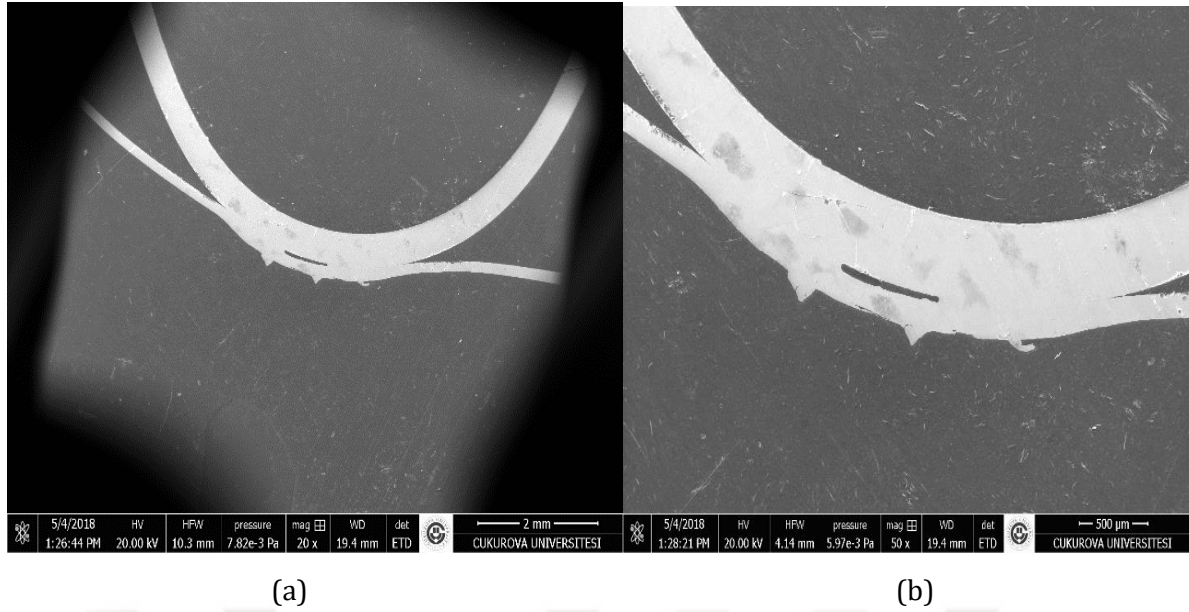


Şekil 4.33. 8 m/dk Sabit hızda 6 µm genlik değerlerinde kaynak yapılmış numunenin (a) 1000 µm’de çekilmiş mikroyapı görüntüleri (b) 500 µm’de çekilmiş mikroyapı görüntüleri.

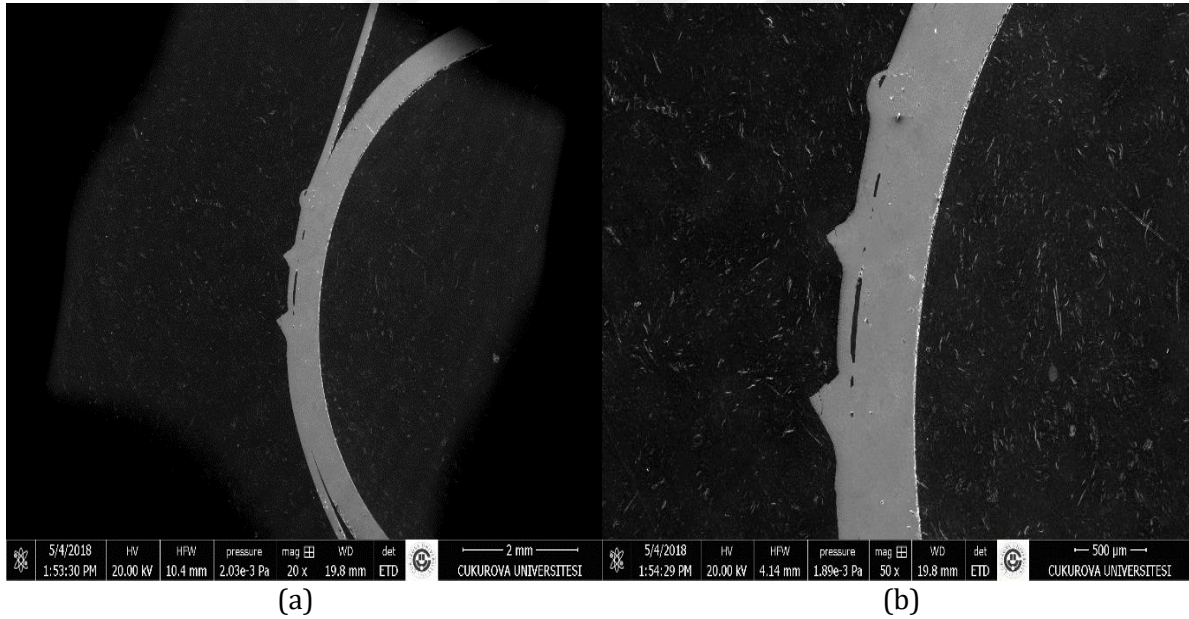
Elde edilen görüntülerde kaynak hızının yetersiz olmasından dolayı dikiş bölgesinde nüfuz edilmemiş bölgeye rastlanmıştır. Buna ek olarak genlik değerinin artması ile beraber levha yüzeyinde oluşan deformasyon açıkça görülmektedir. Bu deformasyona bağlı olarak 6 µm genlik değerinde kaynaklanmış olan numunenin 4 µm genlik değerinde kaynaklanmış numuneye göre yüzeyde daha fazla çapağa ve numune kalıntılarına rastlanmıştır. Bu sonuçlar genlik değerinin artması sonucu kayma gerilmesi değerinin neden azaldığını bir kez daha kanıtlar niteliktedir.

4.2.2 Kaynak Hızının Etkisi

Kaynak hızının bağlantı kalitesine olan etkisinin gözlenebilmesi için 5 µm genlik değerinde 4 m/dk ve 16 m/dk hızda kaynaklanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri incelenmiştir [Şekil 4.34- 4.35].



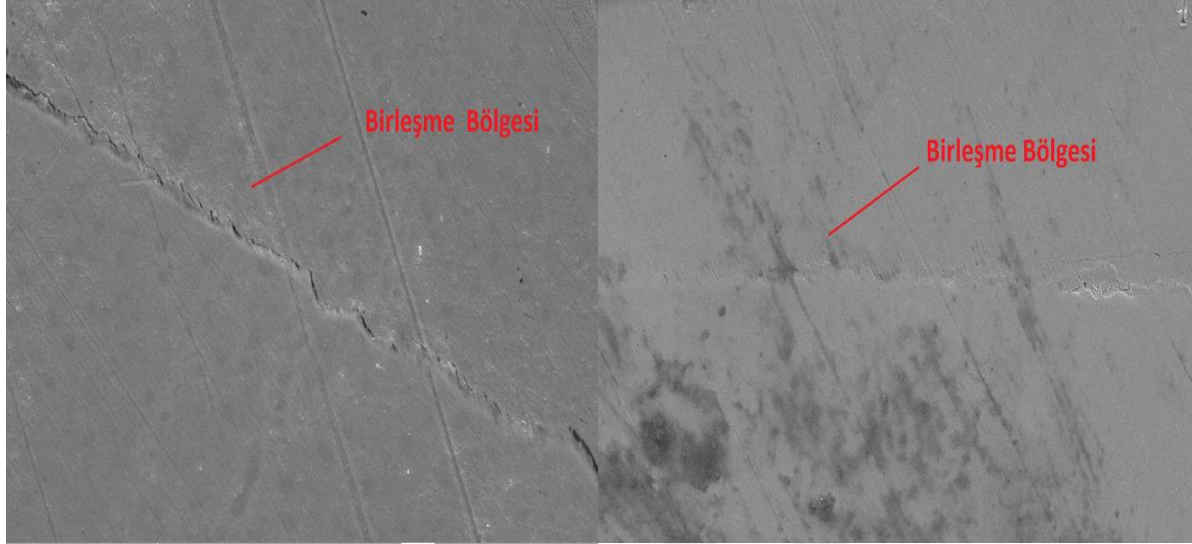
Şekil 4.34. 5 µm Genlik değerinde 4 m/dk kaynak hızında kaynak yapılmış numunenin (a) 2000 µm’de çekilmiş mikroyapı görüntüleri (b) 500 µm’de çekilmiş mikroyapı görüntüleri.



Şekil 4.35. 5 µm Genlik değerinde 16 m/dk kaynak hızında kaynak yapılmış numunenin (a) 2000 µm’de çekilmiş mikroyapı görüntüleri (b) 500 µm’de çekilmiş mikroyapı görüntüleri.

Görüntüler incelendiğinde kaynak hızı 4 m/dk olan numunelerin kaynak bölgesinde birleşmenin sağlanamadığı az da olsa bir bölüme rastlanmıştır. Hızın 16 m/dk olan numunede ise bu bölgenin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak kaynak hızının gerekenden fazla olmasının bir sonucu olarak kaynak bölgesinin diğer kısımlarında da birleşmenin tam sağlanamadığı bölgeler oluşmuştur. Bu da hesaplanan kayma gerilmesi ve ölçülen sertlik değerlerinde düşüşe yol açmıştır.

Şekil 4.36’da kaynak edilmiş bölgeye ait mikroyapı görüntüleri karşılaştırıldığında, ilk resimde ikinci resime göre kaynak nüfuziyetinin yetersiz olmasından dolayı birleşmenin tam sağlanmadığı görülmektedir.

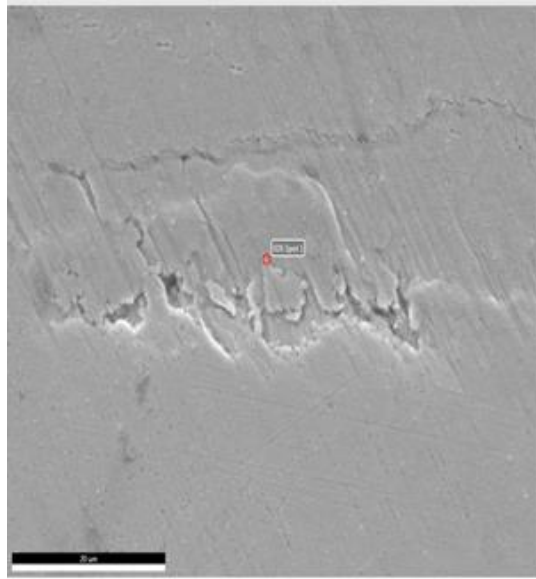


Şekil 4.36. Kaynak nüfuziyetini gösteren mikroyapı görüntüleri.

4.3 Enerji Dağılımı Spektrometresi (EDS Analizi)

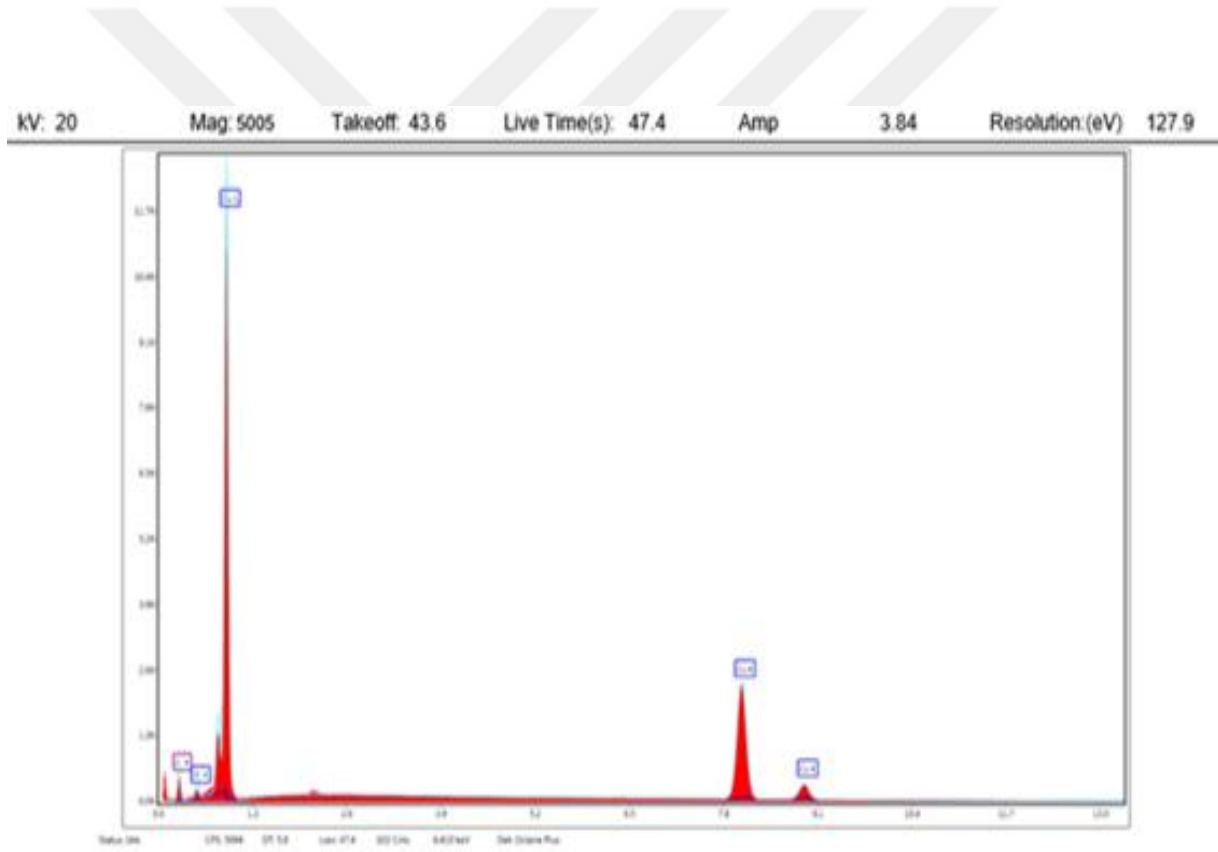
Numunedeki elementel bileşimlerinin belirlenmesi amacıyla hem kesitten hem de tüm yüzeyden EDS analizi yapılmıştır. EDS analizi yapılan bölgelere ait mikroyapı görüntüleri numunenin kimyasal bileşimi ve grafiği Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de verilmiştir.

Numune yüzeyinde ve kesitinde yapılan EDS analizinde 0.003 mm kalınlığa sahip titanyum kaplamaya (selektif yüzey) dair herhangi bir pike rastlanmamıştır. Bunun nedeni kaplamanın çok ince olmasıdır.

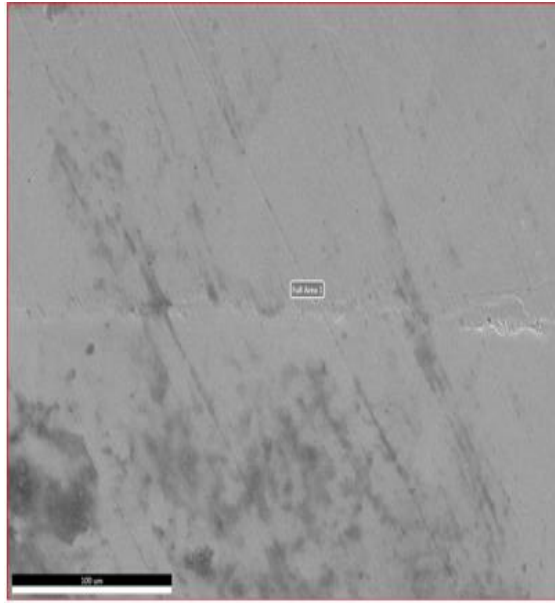


eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
C K	13.55	43.33	68.34
O K	2.47	5.93	36.12
Cu K	83.97	50.74	778.32



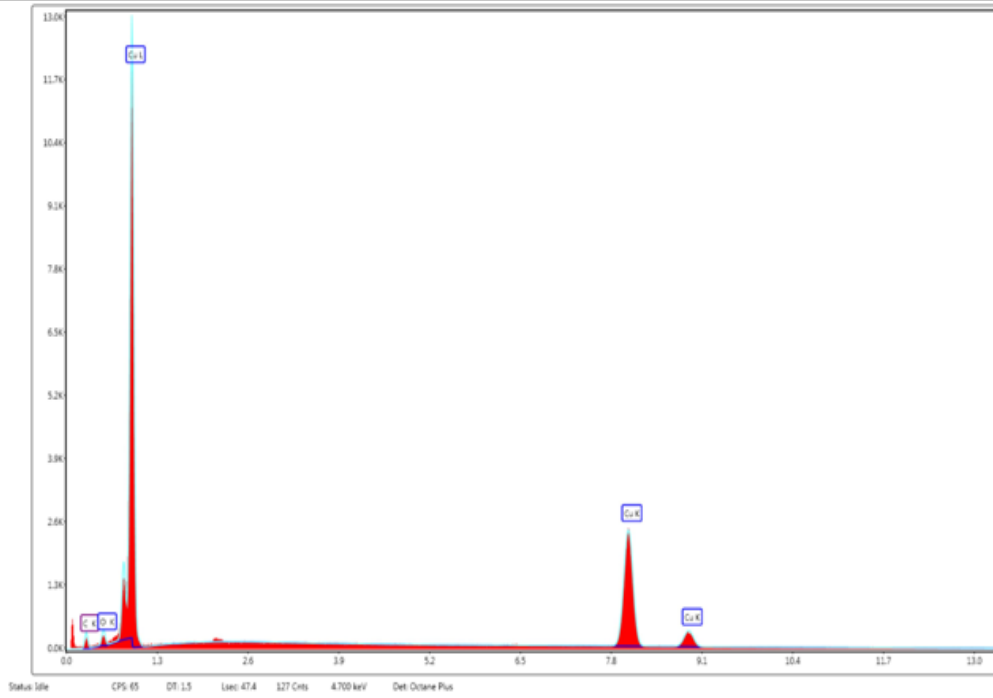
Şekil 4.37. Kaynak kesitinden alınan EDS analizi ve numunenin kimyasal bileşimi.



eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.
C K	7.54	28.58	34.42
O K	2.41	6.86	36.96
Cu K	90.06	64.56	801.5

kV: 20 Mag: 1001 Takeoff: 43.6 Live Time(s): 47.4 Amp 3.84 Resolution:(eV) 127.9



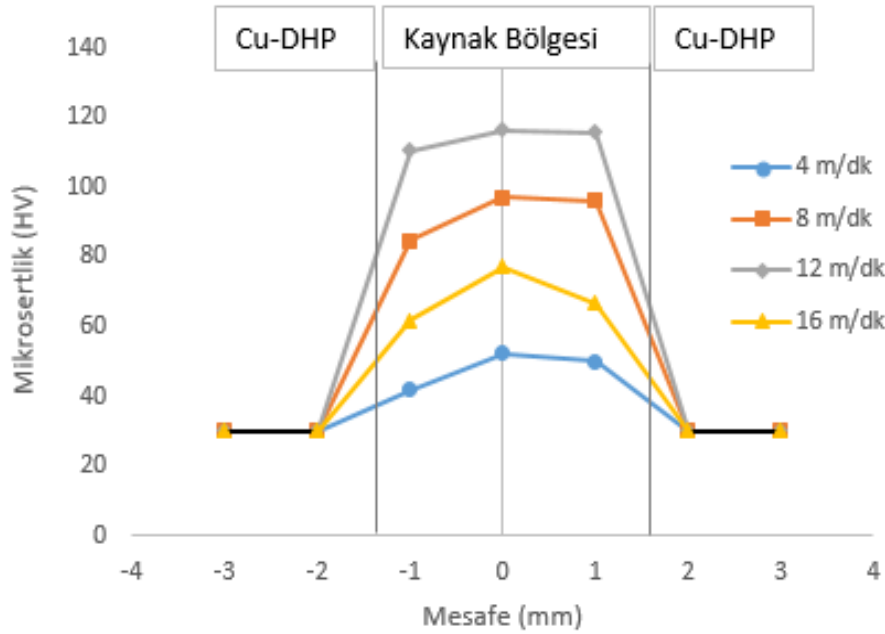
Şekil 4.38. Kaynak bölgesinin tüm yüzeyinden alınan EDS analizi ve numunenin kimyasal bileşimi.

4.4 Mikrosertlik Ölçümleri (Vickers-Sertlik Testi)

Genlik değişiminin sertliğe herhangi bir etkisi gözlenmemiştir. Bu bölümde farklı kaynak hızlarında kaynak edilmiş numunelerin kaynak bölgesine ait kesitten alınan sertlik ölçümleri karşılaştırılmıştır. Bakır selektif levha veya ısı taşıyıcı borunun ortalama sertlik değeri 30 HV olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.8. 4 μm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde ölçülen sertlik değerleri.

Genlik 4 (μm) Basınç (2 Bar)				
Kaynak Hızı (m/dk)	1. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	2. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	3. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	Ortalama Sertlik Değeri (HV)
4	41,9	52,4	50	48
8	84,8	97	96	93
12	110,5	116,5	115,9	114
16	62	77,2	66,8	69



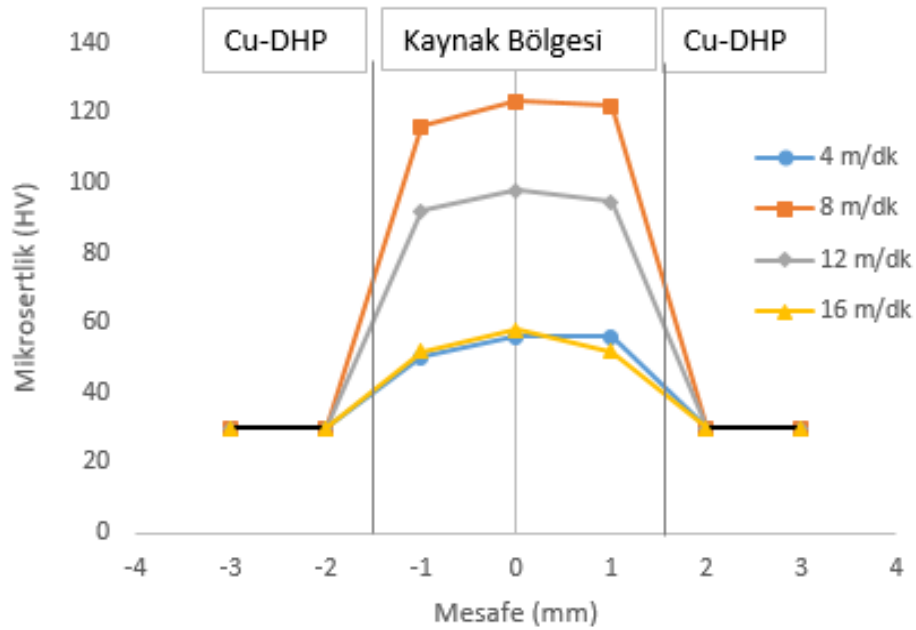
Şekil 4.39. 4 μm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin sertliğe etkisi.

Tablo 4.8'deki ortalama sertlik değerleri kullanılarak Şekil 4.39'da sabit genlikte kaynak hızının sertliğe olan etkisi karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 4 μm genlik değerinde kaynak yapılan numunelerde 4m/dk hızda ortalama sertlik 48 HV, 8 m/dk hızda 93

HV, 12 m/dk hızda 114 HV, 16 m/dk hızda ise 69 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak bölgesinin merkezine yaklaştıkça ölçülen sertlik değerlerinde artış söz konusudur.

Tablo 4.9. 5 μ m Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde ölçülen sertlik değerleri.

Genlik 5 (μ m) Basınç (2 Bar)				
Kaynak Hızı (m/dk)	1. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	2. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	3. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	Ortalama Sertlik Değeri
4	50,2	56,2	56	54
8	116,2	123,5	122	121
12	91,9	97,9	94,7	95
16	51,8	57,9	51,8	54

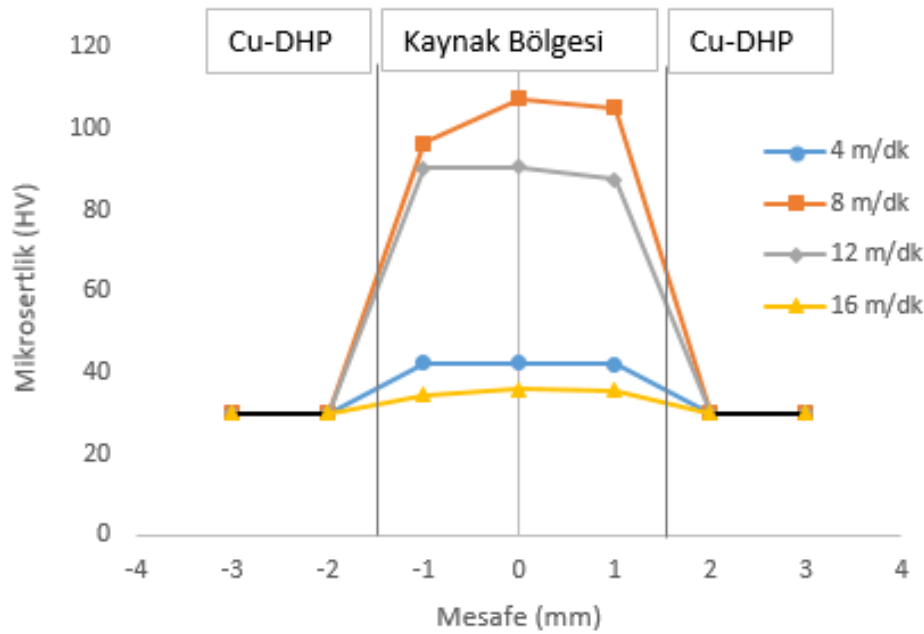


Şekil 4.40. 5 μ m Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin sertliğe etkisi.

Tablo 4.9'daki ortalama sertlik değerleri kullanılarak Şekil 4.40'da sabit genlikte kaynak hızının sertliğe olan etkisi karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 5 μ m genlik değerinde kaynak yapılan numunelerde 4 m/dk hızda ortalama sertlik 54 HV, 8 m/dk hızda 121 HV, 12 m/dk hızda 95 HV, 16 m/dk hızda ise 54 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak bölgesinin merkezine yaklaştıkça ölçülen sertlik değerlerinde artış söz konusudur.

Tablo 4.10. 6 μm Genlik değerlerinde 4,8,12,16 m/dk kaynak hızı değerlerinde ölçülen sertlik değerleri.

Genlik 6 (μm) Basınç (2 Bar)				
Kaynak Hızı (m/dk)	1. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	2. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	3. Noktadan alınan Sertlik Değeri (HV)	Ortalama Sertlik Değeri
4	42,3	42,5	42	42
8	96,5	107,3	105	103
12	90,3	90,5	87,4	89
16	34,5	35,9	35,6	35

**Şekil 4.41.** 6 μm Genlik değerinde kaynak hızı değişiminin sertliğe etkisi.

Tablo 4.10'daki ortalama sertlik değerleri kullanılarak Şekil 4.41'da sabit genlikte kaynak hızının sertliğe olan etkisi karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 6 μm genlik değerinde kaynak yapılan numunelerde 4 m /dk hızda ortalama sertlik 42 HV, 8 m/dk hızda 103 HV, 12 m/dk hızda 89 HV, 16 m/dk hızda ise 35 HV olarak ölçülmüştür. Kaynak bölgesinin merkezine yaklaştıkça ölçülen sertlik değerlerinde artış söz konusudur.

Sabit genlik değerlerinde, kaynak hızının artmasıyla kaynak bölgesinde ölçülen sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durumu kaynak nüfuziyetinin yetersiz olmasından kaynaklandığı mikroyapı görüntülerinde gözlenmiş olan, kaynak hızının 16 m/dk olduğu numuneler bozmaktadır. Ek olarak, 3 grafik karşılaştırıldığında kaynak hızının 8 m/dk ve 12 m/dk olan numunelerde sertlik değerlerinin diğer numunelere kıyasla daha yüksek çıktığı

görülmektedir. Bu sonuçlar kayma gerilmesi değerleri ile de paralellik göstermektedir. Kayma gerilmesi değerleri yüksek çıkan numunelerin sertlik değerleri de yüksek çıkmaktadır. Yani malzemeye hapsedilen ısı ve enerji girdisi arttıkça sertlik ve kayma gerilmesi değeri artmakla bunun sonucu olarak da kaynak verimliliği artmaktadır.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yaptığımız çalışmada, ultrasonik dikiş kaynağı yöntemi ile birleştirilen Cu-DHP (SF-Cu) selektif levha ile yine aynı malzemeden imal edilmiş ısı taşıyıcı boruların kaynak bağlantı performansı açısından, optimal kaynak parametrelerinin tayin edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca ultrasonik dikiş kaynağı ile elde edilen birleştirmelerin performansına etki eden kaynak değişkenlerinin etkileşimleri araştırılmış ve yapı özellikleri incelenmiştir. Sabit basınç da 3 farklı genlik, 4 farklı kaynak hızı değerlerinde deney numuneleri birleştirilmiştir.

Deney sonucunda optimum kaynak parametrelerine 4 μ m genlik, 12 m/dk kaynak hızı değerlerinde ulaşılmıştır. Bu parametrelerde ortalama çekme kuvvetleri 2772 N, kayma gerilmesi değeri de 0.1386 MPa, ortalama sertlikte 112 HV olarak ölçülmüştür.

Ultrasonik dikiş kaynağı uygulamasında kullanılan değişkenlerin kaynak bağlantısı üzerine etkileri kısaca şöyle özetlenebilir;

- Genlik değerindeki artışın titreşim şiddetinin arttırdığı bunun sonucu olarak da numune yüzeyinde kalıcı deformasyonlara yol açtığı görülmüştür. Bu deformasyonlar hesaplanan kayma gerilmesi değerinde düşüşe yol açmıştır. Kaynaklanacak numunelerin kalınlıklarına göre bu parametrenin mümkün olan en düşük seviyede optimize edilmesi gerekmektedir.
- Kaynak hızı birleşme kalitesini belirleyen en önemli parametredir ve parametrenin 8 m/dk ve 12 m/dk değerlerinin arasında bir değerde ayarlanması gerekmektedir.
- Kaynak hızı 4 m/dk olan numunelerde kaynak hızının yavaş olması sebebiyle numune yüzeyinde artan basınç ve titreşimin bir sonucu olarak ince sacda deformasyon meydana geldiği gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak kayma gerilmesi değeri kaynak hızı 8 m/dk olan numunelere göre düşmüştür.
- Kaynak hızının 12 m/dk'dan yüksek ayarlanması kaynak nüfuziyetini olumsuz etkilemiştir. Bunun sonucu olarak da çekme-kayma testindeki grafiklerden anlaşılabacağı üzere, bağlantı performansı çok düşmüş numuneler kaynak bölgesinden daha hızlı ve kolay ayrılmıştır.
- Genlik değişiminin sertliğe herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.
- Sabit genlik değerlerinde, kaynak hızının artmasıyla kaynak bölgesinde ölçülen sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durumu kaynak nüfuziyetinin yetersiz olmasından kaynaklandığı mikroyapı görüntülerinde gözlenmiş olan, kaynak hızının 16 m/dk olduğu numuneler bozmaktadır.
- Sabit genlikte, kaynak hızı 8 m/dk ve 12 m/dk olduğu numunelerde ölçülen sertlik değerlerinin 4 m/dk ve 16 m/dk hız değerlerinde ölçülen sertlik değerlerine göre neredeyse iki katına çıktığı görülmüştür.
- Numuneye hapsedilen ısı ve enerji miktarının artmasıyla sertliğin ve kaynak performansının arttığı gözlenmiştir.

- Ek olarak, kaynak basıncı değerin fazla yükseltilmemesi gerektiği aksi takdirde sistem ve kaynak yapılacak numuneler üzerinde kalıcı hasarlara yol açabileceği unutulmamalıdır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçları geliştirmek amacıyla ultrasonik dikiş kaynağı metodu ile farklı malzeme kompozisyonları kullanılarak numuneler kaynaklanıp, parametrelerin kaynak performansına etkileri incelenebilir. Bu kaynak yönteminin sadece metal malzemelerin birleştirilmesinde değil, polimerik malzemelerin birleştirilmesinden, tekstil sektöründe kumaşların kesimine kadar pekçok uygulama alanı bulabilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Sonikel Ultrasonik, <https://www.sonikel.com.tr/ultrasonik-plastik-kaynak-teknolojisi,28.html> adresinden 06.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [2] Geliş K., Kaynak Teknolojisi Ders Notları., Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 2014.
- [3] Akın M., Otomotiv İmalat Sektöründe Kullanılan Çelik İle Alüminyum Alaşımı Levhaların Sürtünme Karıştırma Nokta Kaynağı (Sknk) Tekniği İle Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2017.
- [4] Al-Sarraf. Z. S., A Study Of Ultrasonic Metal Welding Submitted to the School of Engineering, College of Science and Engineering, University of Glasgow, 2013.
- [5] Şengül O., Güneş Enerji Sistemlerinde Ultrasonik Kaynak Ve İşlem Parametrelerinin Dikiş Kalitesine Etkileri, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2011.
- [6] Taş Y., Termoplastiklerin Birleştirilmesinde Kullanılan Ultrasonik Kaynak Yönteminde Kaynak Kalitesini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [7] Tsujino J., Ueoka T., Ultrasonic Seam Welding System Using a Complex Vibration Circular Disk in Transverse and Torsional Vibrations, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38 pp. 3307–3311, 1999.
- [8] Tsujino J., Ihara S., Harada Y., Kasahara K., Sakamaki N. Characteristics of coated copper wire specimens using high frequency ultrasonic complex vibration welding equipments, Ultrasonics 42 , 121–124, 2004.
- [9] Baboi M., Grewell. D., Evaluation of Amplitude Stepping in Ultrasonic Welding Supplement To The Welding Journal, 2010.
- [10] Xiangyu Dai, Hongtao Zhang, Jihou Liu, Jicai Feng, Microstructure and properties of Mg/Al joint welded by gas tungsten arc welding-assisted hybrid ultrasonic seam welding, Materials and Design 77, 65–71, 2015.
- [11] Tsujino J. , Ueoka T. , Kashino T., Sugahara F., Transverse and torsional complex vibration systems for ultrasonic seam welding of metal plates Ultrasonics 38, 67–71, 2000.
- [12] Tsujino J. Ueoka T., Welding Characteristics of Ultrasonic Seam Welding System Using a Complex Vibration Circular Disk Welding Tip, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39, pp. 2990–2994 2000.
- [13] Wagner G., Ballle F., Eifler D., Ultrasonic Welding of Hybrid Joints, JOM, Vol. 64, No. 3, 2012.
- [14] Tsujino J., Ueoka T., Welding Characteristics of Aluminum and Copper Plate Specimens Welded by a 19 kHz Complex Vibration Ultrasonic Seam Welding System, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, pp. 3237–3242, 2002.
- [15] Wienke J., Tober O., Peter B., Brieko W., Ultrasonic welding a connection technology for flexible thin film modules, 1Energy Research Centre of the Netherlands.
- [16] Shakil M., Tariq N., H. Ahmad M., Choudhary M. A., Akhter J.I., Babu S.S, Effect of ultrasonic welding parameters on microstructure and mechanical properties of dissimilar joints, Materials and Design 55, 263–273, 2014.
- [17] Kong C.Y., Soar R.C., Dickens P.M., Characterisation of aluminium alloy 6061 for the ultrasonic consolidation process, Materials Science and Engineering A363, 99–106, 2003.
- [18] Anık S., Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar, İstanbul, 1991.
- [19] Vural M., Üretim Yöntemleri Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi.
- [20] Stapla Ultrasonics Ultrasonic Seam Welding Unit RM-20 User Manual, Nr. 122450001 Rev. 2008.
- [21] Stapla Ultrasonics Ultrasonic Seam Welding Unit User Manual, Rev B – 102008, 2008.
- [22] Abbak S., Bor Katkılı Kurşunsuz Piezoelektriklerde Akseptör İlavesinin Depolarizasyona Etkileri Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2017.
- [23] Ay İ., Sakin R., Ultrasonik Yöntemle Plastiklerin Kaynağı, Pagev Plastik Dergisi, Syf.94-108, 2005.

- [24] J.L.Harthoorn, Ultrasonic Metal Welding, DOI: 10.6100/IR161561, 1978.
- [25] Sırius Electric <https://www.siriuselectric.it/index.php/en/blog-en/40-technologies/146-sonotrode> adresinden 06.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [26] <http://www.ultrasonicwelding.org/amplitude.htm> adresinden 10.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [27] <https://www.thefabricator.com/article/arcwelding/understanding-ultrasonic-welding> internet adresinden 10.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [28] https://www.dukane.com/us/PVI_MatAppl.htm internet adresinden 10.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [29] Anık S., Vural M., Özel Kaynak Yöntemleri İtü Makine Fakültesi, 1993.
- [30] Oğuz B., Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon Yayını, 1990.
- [31] Sonikel Ultrasonik <https://www.sonikel.com.tr/ultrasonik-kaynak-sisteminin-avantajlari,58.html> internet adresinden 10.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [32] Sonikel Ultrasonik <https://www.sonikel.com.tr/ultrasonik-metal-kaynagin-avantajlari,50.html> internet adresinden 10.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [33] <https://weldguide.com/ultrasonic-welding/> internet adresinden 10.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [34] <https://hookandloop.com/blog/ultrasonic-welding> internet adresinden 10.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [35] <https://www.sonobondultrasonics.com/president-s-blog/sonobond-ultrasonic-metal-welders-generate-significant-savings-over-both-resistance-welding-and-crimp-solder-methods> internet adresinden 10.06.2018 tarihinde yararlanılmıştır.
- [36] http://old.struers.dk/default.asp?top_id=0&main_id=0&sub_id=0&doc_id=368&admin_language=12 internet adresinden 04.08.2018 tarihinde yararlanılmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Emre YENİYİL

Doğum Tarihi: 17.07.1991

E-mail : eyeniyl@hotmail.com

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Malzeme Bilimi ve Mühendisliği	Afyon Kocatepe Üniversitesi	2010-2015
Yüksek Lisans	İmalat Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2016-
Doktora			

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Kahraman F., Başar G., Koçoğlu Z. ve Yeniyl E., “Delik büyütme işleminde kesme parametrelerinin çok yanıtı Taguchi deneysel tasarım yaklaşımı kullanılarak optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, [Yıl 2018, Cilt 21, Sayı 2](#), Sayfalar 283 – 290.