



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**BCF DÜZE KALIBI İMALATINDA TEL
EROZYON İŞLEM PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ**

Volkan Cem TAŞKIN

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

MAYIS 2019



**BCF DÜZE KALIBI İMALATINDA TEL EROZYON İŞLEM
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

Volkan Cem TAŞKIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Volkan Cem TAŞKIN tarafından hazırlanan “BCF DÜZE KALIBI İMALATINDA TEL EROZYON İŞLEM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Erdoğan KANCA

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

Başkan: Prof. Dr. Metin KÖK

Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü/Makine Pr, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Hasan Hüseyin BİLGİÇ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 29/05/2019

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

Prof. Dr. Tolga DEPCİ
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza
Volkan Cem Taşkın
29.05.2019

BCF DÜZE KALIBI İMALATINDA TEL EROZYON İŞLEM PARAMETRELERİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Volkan Cem TAŞKIN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Halı imalatında sıklıkla kullanılan polipropilen bazlı BCF ipliklerini oluşturan filamentler, düze kalıbı üzerindeki kesitlerden belli basınç ve sıcaklıkta akmasıyla elde edilmektedir. Filamentlerden oluşan ipliğin istenilen mukavemet ve parlaklık gibi özelliklerinin en iyi düzeyde olması gerekmektedir. Bunun için sıvı polipropilenin aktığı kesit bölgesinin yüzey pürüzlülüğünün ve kesit tasarımındaki ölçü sapmalarının en düşük seviyede olması gerekmektedir. İpliğin kalitesini etkileyen bu kesitler, tel erozyon yöntemi ile oluşturulmaktadır. Çalışma düze kalıp kesitlerinin imalatında, ölçüsel ve geometrik farklılıklar içeren kesitlerin işlenmesinde tel erozyon optimum kesme koşullarının belirlenmesi ve daha iyi sonuçlar için değişkenlerin seviyelerinin ayarlanması konusunda bilimsel olarak uygulamaya katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Yüzey pürüzlülüğü ve ölçü tamlığını etkileyen akım, voltaj, tel ilerleme hızı ve puls açık süresi gibi parametrelerin etki düzeyleri ve optimum koşulların tayini deneysel tasarım ve varyans (Anova) analizleriyle araştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Yüzey pürüzlülüğünü %57 seviyelerinde akım ve %32 seviyelerinde puls açık süresinin etkilediği, voltaj ve tel ilerleme hızının etki düzeylerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ölçüsel sapma analizinde sadece %53 etkiye sahip akım değeri anlamlı bulunmuş, çalışmadaki anlamlı çıkmayan sonuçlar ve deneysel hataların yüksek çıkması işletme koşullarının kararsız olmasıyla yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : BCF, düze, spinneret, kalıp, tel erozyon, yüzey pürüzlülüğü

Sayfa Adedi : 78

Danışman : Doç. Dr. Erdoğan KANCA

INVESTIGATION OF WEDM OPERATING PARAMETERS IN MANUFACTURING BCF
SPINNERET MOLD

(M. Sc. Thesis)

Volkan Cem TAŞKIN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

May 2018

ABSTRACT

The Wire Filaments forming polypropylene-based BCF yarns which are frequently used in carpet production are spinneret by their flowing at certain pressure and temperature from the sections on the nozzle pattern. The features on demand of filament yarns such as tensile strength and gloss must be at their optimum level. For this, surface roughness of the intersectional area where the liquid polypropylene flows and the measurement deviations of the intersectional design must be at the lowest level. These sections affecting the quality of yarn are formed by wire erosion method. The aim of the study is to contribute to the scientific application on determining the optimum cutting conditions of wire erosion and on adjustment of the levels of the variables for better results. The effect levels of parameters such as current, voltage, wire feed rate and pulse on time on the surface roughness and measurement completeness and the determination of optimum conditions were investigated by experimental design and variance (Anova) analysis and the results were interpreted. It was observed that the surface roughness was influenced by the current at the level of 57% and by the pulse open time at 32% levels, the effect level of the voltage wire feed rate were low. In the dimensional deviation analysis, only the current value that has 53% influence was found to be significant. The results that were not significant and altitude of experimental errors were interpreted due to instability of the operating conditions.

Key Words : BCF, Spinneret, Mold, WEDM, Surface roughness,

Page Number : 78

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Erdoğan KANCA

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırmalar ve yazımı süresince destek ve deneyimlerini esirgemeyen, teknik ve manevi yönlendirmeyi yapan saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Erdoğan KANCA'ya teőekkürlerimi sunarım, Tez'in deneysel uygulamalarının yapılmasını firmasının kapısını sonuna kadar açan Birlik Makine Kalıp Ltd. sahip ve ortaklarından Uğur KOCA ve Mustafa Kemal KOCA'ya aktardıkları tecrübeden, sağladıkları imalat imkanlarından ve araştırmaya olan değerli katkılarından dolayı teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca yoğun tez yazma dönemlerinde her türlü manevi desteği bulduğum değerli eşim Bilen TAŞKIN nezdinde tüm aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmanın gerçekteşmesinde sağladıkları maddi kaynaklardan dolayı MKÜ bilimsel araştırma projeleri (12027) komisyonuna teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
RESİMLER LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Düzce Kalıbı, Kesitler ve Polimer İplikler	11
2.2. Tel Erozyon.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. EN 1.4057 (AISI 431) Düzce kalıp malzemesi	23
3.1.2. Tel erozyon kesme tezgahı.....	25
3.1.3. Tel Elektrot	28
3.1.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı	29
3.1.5. Manuel görüntülü ölçüm makinası	31
3.2. Yöntem.....	32
3.2.1. Taguchi deneysel tasarım metodu.....	32
3.2.2. Varyans analizi.....	36
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	39
4.1. Deneysel Numunelerinin Hazırlığı, İşleme ve Ölçme.....	39
4.2. Taguchi Uygulaması ve Parametrelerin Etkinliği.....	42
4.2.1. Yüzey pürüzlülük analizi	42
4.2.2. Ölçü tamlığı analizleri.....	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. AISI 431 (EN 1.4057) Çeliğinin Kimyasal kompozisyonu.....	23
Çizelge 3.2. AISI 431 (EN 1.4057) Mekanik özellikleri	23
Çizelge 3.3. SPM EZ20S Tezgahın Özellikleri (Kullanım kılavuzundan alıntıdır.)	25
Çizelge 3.4. Elektrot Materyallerinin iletkenlik yüzdeleri.....	28
Çizelge 3.5. Pirinç Tel Kimyasal kompozisyonu.....	29
Çizelge 3.6. Taguchi ortogonal dizi seçim çizelgesi.....	34
Çizelge 4.1. Kontrol edilen kesme parametreleri ve seviyeler	39
Çizelge 4.2. L9 dizilimine göre deney değerleri ve YP sonuçları	41
Çizelge 4.3. L18 Taguchi dizilimine göre deney değerleri ve ölçü sapması sonuçları .	41
Çizelge 4.4. L9 Deney seviye kombinasyonu ve yüzey pürüzlülük yanıt tablosu	42
Çizelge 4.5. Seviye kombinasyonlarının S/N oranları tablosu	43
Çizelge 4.6. Kesme Parametrelerinin S/N oranı yanıt çizelgesi	45
Çizelge 4.7. Ortalama yüzey pürüzlülük tablosu.....	46
Çizelge 4.8. Yüzey Pürüzlülük Değerlerine göre Anova Tablosu.....	47
Çizelge 4.9. S/N oranına göre Anova tablosu.....	47
Çizelge 4.10. Optimum kesme koşullarının doğrulama ve taguchi karşılaştırması.....	49
Çizelge 4.11. Ortalama ölçü sapma miktarı sonuçları ve seviye kombinasyonları	53
Çizelge 4.12. Sapma değerlerinin S/N oranları tablosu ve seviye kombinasyonları	54
Çizelge 4.13. Ölçüsel tamlık için parametrelerin S/N yanıt tablosu.....	58
Çizelge 4.14. Ölçüsel tamlık için parametrelerin sapma miktarı yanıt tablosu	58
Çizelge 4.15. Sapma değeri Anova sonuç tablosu.....	59
Çizelge 4.16. S/N oranı Anova sonuç tablosu	59
Çizelge 4.17. Ölçüsel sapma taguchi tahmini değeri ve doğrulama deneyi karşılaştırması.....	61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Dairesel kesitli bir düze deliğinin boyuna kesiti.....	5
Şekil 1.2. Dairesel kesitli bir düze deliğinin boyuna kesiti (Demiryürek, 2004).....	6
Şekil 1.3. Patenti alınmış bir kesit örneği (Tung, 2006).	6
Şekil 1.4. Patenti Alınmış bir halı ipliği kesiti (Peterson ve Morrison, 1985).....	7
Şekil 1.5. Tel erezyon ile işlemenin mekanizma resmi (Deliceoğlu, 2015)	9
Şekil 3.1. Termal çevirim diyagramı	24
Şekil 3.2. Temperlemeye bağlı sertlik diyagramı	24
Şekil 3.3. Puls on süresinin grafiksel tanımını (Aydoğdu, 2009)	28
Şekil 3.4. Yüzey kalitesi sayısal değerleri (Yurtkuran, 2013)	30
Şekil 4.1. Kesme parametrelerinin YP yanıt grafiği	44
Şekil 4.2. Parametrelerin S/N oranına etkilerinin grafiği	45
Şekil 4.3. Akım ve Voltaj değerinin R_a değerine olan etkilerinin grafiği.....	49
Şekil 4.4. Voltaj ve Puls süresinin R_a değerine olan etkilerinin grafiği.....	50
Şekil 4.5. Voltaj ve tel ilerleme hızının R_a değerine olan etkilerinin grafiği.....	51
Şekil 4.6. Akım ve Puls süresinin R_a değerine etkilerinin grafiği	51
Şekil 4.7. Akım ve tel ilerleme hızının R_a değerine etkilerinin grafiği	52
Şekil 4.8. Puls süresi ve tel ilerleme hızının R_a değerine etkilerinin grafiği	52
Şekil 4.9. Kesme parametrelerinin sapma değeri yanıt grafiği.....	56
Şekil 4.10. Kesme parametrelerinin S/N oranı yanıt grafiği.....	57
Şekil 4.11. Voltaj ve akım değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği	62
Şekil 4.12. Voltaj ve puls açık süresi değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin-grafiği.....	63
Şekil 4.13. Çap ve voltaj değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği	63
Şekil 4.14. Voltaj ve tel ilerleme hızı değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği.....	64
Şekil 4.15. Akım ve puls açık süresi değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği.....	64
Şekil 4.16. Akım ve tel ilerleme hızı değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği.....	65
Şekil 4.17. Çap ve akım değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği.....	65
Şekil 4.18. Puls süresi ve tel ilerleme hızının ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği.....	66
Şekil 4.19. Puls açık süresi ve çap değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği	66
Şekil 4.20. Tel ilerleme hızı ve çap değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği.....	67

RESİMLER LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Halı ipliğinin oluşumu (Coperion GmbH, 2016).....	3
Resim 1.2. Farklı kesitler açılmış Düze Kalıpları.....	4
Resim 3.1. SPM EZ20S Tel erozyon tezgâhı (Birlik Makine Kalıp/Gaziantep).....	25
Resim 3.2. Çalışmada kullanılan pirinç tel elektrotlar.....	29
Resim 3.3. Cihaz ekranı ve ölçüm probu.....	30
Resim 3.4. Ölçüm cihazı ve kesit ölçümü monitör görüntüsü.....	31
Resim 4.1. Deney ölçüleri ve tel erozyonda kesilen parçalar.....	40
Resim 4.2. Optik görüntülü ölçme cihazı, köşe yığılmaları görüntüsü.	56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
kg	: Kilogram
m³	: Metreküp
cm²	: Santimetrekare
°C	: Derece santigrat
mm	: milimetre
µm	: mikron
β	: düze kanalına geçiş açısı
α	: Giriş konik açısı
I	: Amper
V	: Volt, Vanadyum
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
m/s	: metre bölü saniye
Si	: Silisyum
Ni	: Nikel
C	: Karbon
Cr	: Krom
Ti	: Titanyum
Al	: Alüminyum
Dk	: Dakika
Kgf	: Kilogram kuvvet
N	: Newton
Mn	: Mangan
R_a	: Yüzey pürüzlülük değeri
R_{aV1}	: Voltaj değerinin 1. seviyesindeki ort. yüzey pürüzlülüğü
R_{aST}	: Toplam ortalama yüzey pürüzlülüğü
P_{on}	: Puls açık süresi
F_w	: Tel ilerleme hızı

μ_sRa	: Tahmini yüzey pürüzlülük değeri
μ_sRa	: Tahmini ölçü sapması değeri
S_{dA1}	: Akım değerinin 1. seviyesindeki ortalama sapma değeri
S_{dST}	: Ortalama sapma değeri

Kısaltmalar

Açıklamalar

ANOVA	: Varyans analizi
AMK/AMC	: Alüminyum matrisli kompozit, Alm. matrix composite
ANN	: Artificial neural network/genetik algoritma tekniği
BWM	: Box wilson optimizasyon
BCF	: Bulk Continuous Flament (Hacimli Sonsuz Flament)
DEY	: Dalma erozyon yöntemi
EEY	: Elektro erozyon yöntemi
EDM	: Electrical discharge machining
EET	: Elektro erozyon tezgahı
EKİ	: Elektro kimyasal işleme
MMK	: Metal matris kompozit
POY	: Partially oriented yarn
PMP	: Polimetilpenten
PCA	: Principal component analysis
PP	: Polipropilen
SEM	: Taramalı elektron mikrokobu
S/N	: Sinyal/gürültü
TEY	: Tel erozyon yöntemi
TGİ	: Tam gelişmiş iplik
TM	: Toz metalurjisi, Taguchi metodu
TBA	: Temel bileşenler analizi
TLBO	: Teaching-learning based optimization
YP	: Yüzey pürüzlülük

1. GİRİŞ

Hacimlendirilmiş sonsuz filament anlamına gelen BCF, ana hammaddesi olan polipropilen'e (PP) boya dozajlanarak ekstrüzyon yöntemi ile homojen karışım sağlanır. Bu karışım bir pompa vasıtasıyla düze (spinneret) kalıplarından geçirilerek filament haline getirilir. Filament üzerine soğutma ve çekim gibi işlemlerde uygulanarak oluşan ipliğe mukavemet kazandırılır. BCF ipliği dünya halı üretiminin %42'sinde tercih edilmektedir. Ülkemizin halı ihracatı; dünya pazarının yaklaşık %15'lik kısmını karşılayarak bu konuda çin'den sonra ikinci sıraya getirmektedir. PP üretimimiz bu yöndeki ihtiyacın ancak %10'unu karşılamaktadır (Yıldırım ve Koç, 2013). Bu bakımdan üretim yapan firmalar için kaliteden ödün vermeden PP tüketimini azaltacak sistemler geliştirilmektedir. Bu sistem içinde düze kalıp üzerindeki kesitlerin iplik üzerine etkileri çok önemlidir.

BCF (Bulk Continuous Filament – Hacimli Sonsuz Flament) düze kalıpları üzerinde bulunan kesitlerden ekstürüde edilen iplik, fiziksel ve görsel bir takım özellikler kazanmaktadır. Mukavemet, parlaklık, dolgunluk gibi performans kriterleri olan iplik imalatçıları bu özellikleri optimum düzeyde yapabilmek ve müşterilerinin beklentileri doğrultusunda üretim yapabilmek için değişik düze kesitlerinden hammadde geçirmektedir. Uygulama ortamındaki ısı, basınç ve hava değerlerinin iplik kalitesine doğrudan etkisi var (Sarkeshick ve Ark, 2009). Düze kalıp kesitlerinin önemi de çok büyük ancak bu kesitlerin performanslı çalışabilmesi için kesit yüzeyindeki pürüzlülüğün minimize olması ve tasarlanan kesit ölçüsünde sapma olmaması gerekmektedir. Bu iki etken PP malzemenin kararlı akışını, hacimlenmesini ve kesitin tam şekliyle sonuç vermesini sağlamaktadır.

Ülkemizde düze kalıplarının imalatında taşlama, torna, freze ve tel erozyon talaş kaldırma teknolojileri kullanılmaktadır. Kesit kalınlıkları 0,2 mm'den 6 mm'e kadar kullanılmaktadır. Tel erozyon tezgâhı kalıbın sadece kesitlerini işlemekte kullanılmaktadır. Diğer talaşlı imalat süreçleri hassasiyet ve yeterlilik bakımından kesit açmaya uygun olmadığından ülkemizde TEY kullanılır. Çalışmanın kaynağını oluşturan performans kriteri yüzey pürüzlülüğü ve ölçü tamlığı bu işleme yöntemi ile son proses olması bakımından doğrudan ilişkilidir.

Çalışmada EN 1.4057 paslanmaz çelikte, yüzey pürüzlülük değeri ve kesitin ölçüsel tamlığı parametreleri günümüzde kabul gören bir seviyede tel erozyon yöntemi ile elde

edilmektedir. Optimal sonuçlara ulaşmak için pratikte kesme parametreleri belirlemede bir yöntem izlenmemektedir. Tel erozyon ile imalatın ülkemizdeki geçmişinin kısa olmasını da düşünerek düze kalıbı imalatçılarının rastsal değerler ile sonuca gitmeye çalıştığı söylenebilir. Bu sebeptendir ki; İplik imalatçıları yerli kalıpların yanı sıra çoğunlukla ithal kalıpları, ipliğin imalat kalitesi bakımından daha olumlu sonuç aldıkları için tercih edebilmektedir.

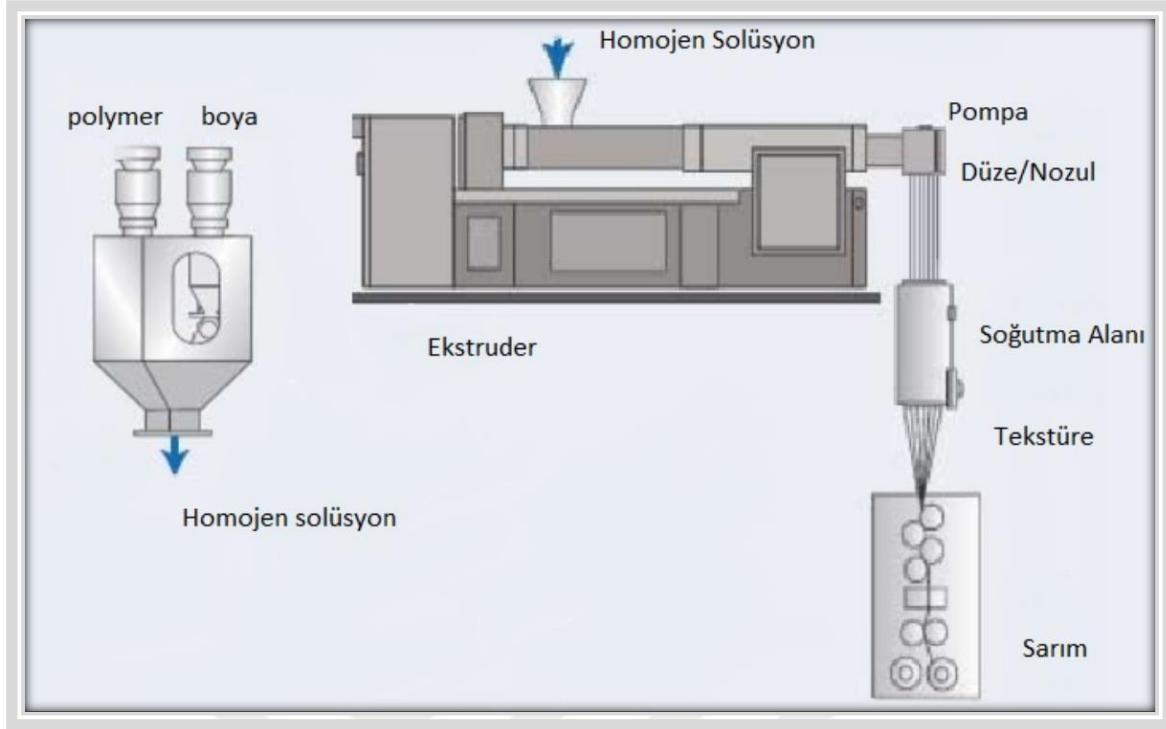
Tel erozyon yöntemi ile yapılan çalışmalar irdelendiğinde, performans kıstası genellikle yüzey pürüzlülüğü olan çalışmalara rastlanmıştır. Ancak EN 1.4057 paslanmaz çelik üzerinde yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca bu çalışmada sonuca etki eden bir diğer parametre olan ölçü tamlığı da irdelenecektir. Böylelikle deney verileri ve çıkan sonuçlar hem literatüre hem de uygulamaya katkı sağlayacaktır.

BCF, üretim süreci ve kullanım alanı

Polipropilen, poliamid, polyester gibi bütün sentetik lifler, filament (sürekli lif) ve stapel (kesikli lif) olmak üzere iki temel grupta toplanır (East, 2000). Lifler genel olarak sıcaklıkla özellikleri değişmeyen termoplastik polimerlerden elde edilir. Basit gibi görünmekte olan eriyikten lif elde etme yöntemi %70 oranında tercih edilmektedir. Prosesin basit oluşu, geniş kullanım alanına sahip olması ve diğer yöntemlere göre daha düşük maliyette oluşu tercihi etkileyen durumlardır.

PP'den imal edilen sürekli liflerin, üretim esnasında hacimlendirilmesiyle beraber BCF oluşmaktadır. BCF'de kimyasal formülü (C_3H_6) olan PP kullanılmaktadır. PP, 946 kg/m³ yoğunluğa ve 160°C erime sıcaklığına sahip termoplastik bir polimerdir. PP'den imal edilen iplik tekstil sektöründe en hafif ve kullanışlı olması bakımından tercih edilmektedir. Halı sektörü ise önde gelen kullanım yeridir. PP'den elde edilen dokumalarda alerjik reaksiyonlara neden olmayan sağlıklı yapı, hava alan yapısı sayesinde içerisinde nem ve kir barındırmama ve dar dokumalar için hafiflik gibi önemli özellikleri BCF ipliğini halı üretiminde tercih nedeni yapmaktadır.

Filament oluşumu özetlenecek olursa; eriyikten lif oluşumu teoride basit gibi görünse de, istenilen lif özelliklerini elde edebilmek ve tüm aşamalardaki akış özelliklerini takip etmek karmaşık bir durumdur. Süreç polimer besleyici ile lif sarım arasında geçen olaylar zinciridir. Bu durum resim 1.1'de basitçe özetlenmiştir.



Resim 1.1. Halı ipliğinin oluşumu (Coperion GmbH, 2016)

Katı haldeki, kurutulmuş polimer parçacıkları ekstruder içerisinde erime derecesinden yaklaşık 15 ile 20 derece üzerinde bir sıcaklıkta faz değiştirerek sıvı hale geçer. Sıvı haldeki polimere karışabilen özel bir boya ile etkileşime giren polimer renkli ve homojen bir şekilde eğirme pompasına iletilir. Pompa akışkan malzemenin miktarını ölçerek olması gereken miktarda sıvı polimeri filtrelenmiş olarak düze üzerine aktarır. Düze kesitlerinden çıkan polimer soğutma alanında kristalleşip katılaşmaya başlar. Bu sayede birbirine yapışmayacak hale gelen her bir lif yağlama yapılmasıyla beraber bir araya gelir ve tek lif ipliği oluşturur, sonrasında ise sarım işlemi yapılmaktadır. Polimerin ipliğe dönüşümü temel hatları bu şekilde olan, yaş çekim, kuru çekim ve yumuşak çekim gibi farklı uygulamalara da tabidir.

Düze Kalıbı ve Kesitler

Sonsuz hacimli filament (BCF) düze kalıbı yabancı kaynaklarda “spinneret” adıyla tanımlanmaktadır. İplik imalatında kullanılan, ipliğe hacim, mukavemet ve parlaklık gibi performans etkileri olan, özel kesitlerin içerisinde akışkan polimerlerin geçtiği paslanmaz çelikten imal edilen yapıya denmektedir. Düze kalıplarında filament oluşumunu sağlayan kesitler bulunmaktadır, her bir düzede bir veya birden fazla kesit olabilir. Tek kesitli düzelerden elde edilen life mono-filament birden fazla kesit bulunan düzelerden elde edilen liflere ise multi-filament denilmektedir (Tarakçıoğlu, 1984).

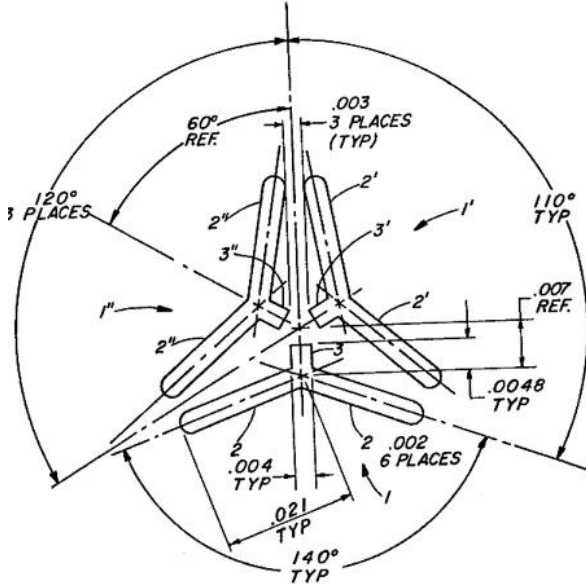
Kesitlerdeki geometri farklılıkları ipliğin nitelik ve niceliklerini değiştirmekte buda iplikten elde edilen son ürünün (halı, kumaş, vb.) özelliklerini geliştirmektedir. Halı imalatında genel olarak PP ve akrilik polimerler kullanılmaktadır. Polimer yapıdaki bu malzemeler kesit içerisinde belli koşullar altında ekstrüzyona maruz kaldığında ipliği oluşturan filamentleri meydana getirmektedir (Lawrence, 2014). Kesitler ise farklı geometrik şekillerde filament oluşturup, lifin hacim, parlaklık ve mukavemet değerlerini ve kullanım yerini etkilemektedir (Demiryürek, 2004). Kesitlerin önemi tamda bu noktada anlaşılıyor. Resim 1.2’de farklı kesitlerde imal edilmiş birkaç kalıp görmekteyiz.



Resim 1.2. Farklı kesitler açılmış Düze Kalıpları

Düze deliği, genel itibariyle şekil 1.1’de görüldüğü gibi dört bölgeden oluşmaktadır, bunlar: I- Ön kanal havşası, II- Yönlendirme bölgesi (ön kanal), III- Düze deliği havşası, IV- Düze deliğidir. Şekilde α giriş konik açısı, D ön kanal çapı, β düze kanalına geçiş açısı, s düze kanal uzunluğu, d düze kanalı çapı, h ön kanal uzunluğu ve t çelik levhanın kalınlığıdır. Düze kanal çapı (d) 0,02-0,6 mm ve uzunluğu (s) çapın yaklaşık üç katı olmaktadır. Polimer I bölgesinde ön kanala α koniklik açısıyla ve belli bir basınçta giriş yapar daha sonra D çapında ve h uzunluğundaki ön kanalda (II bölgesi) polimere akış doğrultusu kazandırılır. h uzunluğu polimer oryantasyonuna etki eden parametrelerden biridir. III bölgesi polimer β açısıyla düze deliğine giriş yapar. Düze deliği olan IV bölgesinde ise polimer d çapında ve s uzunluğundaki delikten geçmek suretiyle nihai basınç değeri ile düze bloğunu terk ederek filament halini alır. Burada filament özellikleri için en önemli geometrik büyüklükler düze deliği çapı (d) ve uzunluğu (s) olmaktadır.

Ölçü tamlığının önemi ise böylesine küçük kesitlerde hassasiyet istendiği için ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.4'de görülen kesit şekliyle buluş sahipleri Peterson ve Morrison (1985) aynı dolgunluk ve hacimde ipliği %5-12 arasında daha az malzeme kullanarak üretileceğini ve oluşan iplikle yapılan halının esneklik kazanacağını bu sayede toz saklama özelliğinin de olacağını belirtmişlerdir



Şekil 1.4. Patenti Alınmış bir halı ipliği kesiti (Peterson ve Morrison, 1985).

Düze kalıpları polipropilen malzemeden elde edilen her ipliğin imalatında kullanılmaktadır. Ayrıca Düze Kalıplarının kesitleri ve hacimleri polipropilen tüketimini de etkilemektedir (Chuah, 2004).

Tel Erozyon Yöntemi ve Kesit İşleme

Elektro erozyon yönteminin (EEY/EDM-Electrical Discharge Machining) talaş kaldırma süreci elektriksel bir dizi çevrimden ibarettir. Elektrotun parça üzerinden boşaltım yapmak suretiyle talaş kaldırması ile istenilen boyutlar elde edilmektedir.

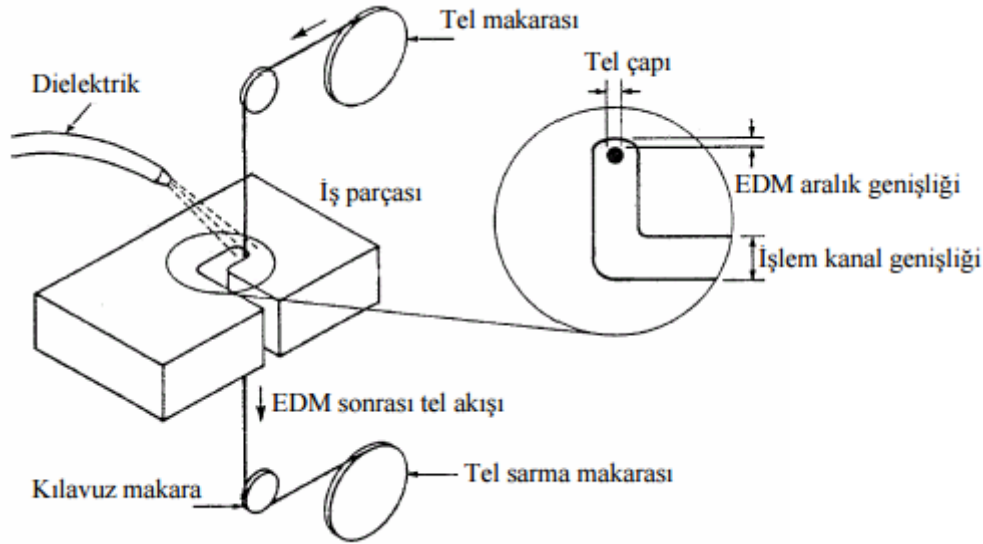
Elektro erozyon tezgâhında (EET) elektrot ile iş parçası arasında voltaj (V) tatbik edilir ve elektrot iş parçasına, özel servo bir mekanizma yardımıyla yaklaştırılır. Elektrot ile iş parçası arasındaki en yakın olan noktada dielektrik kırılır ve iyonlaşır ve akım (I) geçişi (elektriksel boşaltım) başlar. Dielektrik basıncı arkı dar bir bölgeye hapseder. Noktasal olarak yüksek bir akım geçişi (1-5 milyon amper/cm²) ve iyon bombardımanı ile iş parçası ve elektrot

üzerinde yüksek miktarda sıcaklık oluşur, oluşan sıcaklık metalin bir kısmının erimesine bir kısmının buharlaşmasına neden olur. Elektronik On-Off ile akım kesilerek oluşan ark söndürülür, iyonlaşmış bölgeye yönlenen dielektrik sıvı eriyen metal ile temasıyla bölgeden tanecik kopartır. Kopan metal tanecikleri sıvı içerisinde yüzer. Talaş kaldırma çevrimi bu şekilde süregelip elektrot şekline parça ile elektrot arasında uzaklaşma meydana gelir. Akımın kesilip verilmesiyle sürekli ark dizisi oluşur ve her defasında parçalar kopartılarak elektrottaki şablon işlenecek parçaya geçirilmiş olur (Demirer, 2015).

Gelişen teknoloji, karmaşık yapıdaki şekillerin, yüksek mukavemet, ısıl direnç ve sertlikteki malzemelerin, hassas bir şekilde işlenmesinin önünü açmıştır. Bu tür malzemelerin işlenmesinde klasik talaşlı imalat yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu noktada EEY'ni bu tür birleşenlere cevap vermesi bakımından kullanımını zaruri kılmaktadır (Yılmaz, 2013). Ancak EEY diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre bir takım avantaj ve dezavantajları barındırıyor. Hassas parça işleme yelpazesi ölçüsel ve geometrik açıdan çok geniş olması avantajı olmakla birlikte, yüksek yatırım maliyeti, üretim süresinin yavaş olması ve işlenecek malzemenin iletken olması gerektiği dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, EEY'ni geliri yüksek nitelikli üretimde kullanımını yaygın, geri kalan kısımlarda ise pek kullanılmayan bir imal usulü haline getirmiştir (Ölmez, 2006).

Temel olarak bu yöntem iki ana kısma ayrılmaktadır, dalma ve tel erozyon. Her iki sistemin uygulama alanları ve işleme mekanizması farklı olsa da çalışma prensipleri aynıdır. Dalma erozyon yöntemi, yaygın olarak iletkenliği ve işlenebilirliği yüksek olan bakır alaşımlarından elde edilen elektrot, çelik, alüminyum, tungsten-bakır veya grafit elektrot kullanılarak farklı malzemeler üzerinde dalmaya bağlı aşındırma yaparak işleme prensibine sahiptir. Bu yöntem yüksek hassasiyet gerektiren, özellikle girintili plastik enjeksiyon kalıpları gibi parçalarda tercih edilmektedir. Dalma erozyon yönteminde (DEY) kesme gerilmelerine ve herhangi bir mekanik kuvvete gereksinim duyulmaz, böylelikle iş parçasında da mekanik gerilmeler söz konusu olmaz. Termoelektrik bir yöntem olan tel erozyon yöntemi (TEY/WEDM-WireEDM), dielektrik sıvı içindeki tel elektrot ve iş parçası arasında fiziksel temas olmaksızın işleme prosesi boyunca tel, iş parçasını ardışık kıvılcımlarla aşındırmak sureti ile üretilecek parçaya istenilen boyutsal ve yüzeysel özellikleri kazandırır (Doğan, 2010). TEY/WEDM dielektrik içerisine daldırılmış elektriksel iletken iş parçası ve tel elektrot arasında fiziksel temas olmadan (iş parçası elektrot arası mesafe yaklaşık olarak 0,03-40 µm aralığında olmaktadır), yüksek frekanslı elektriksel

boşalimler sayesinde iş parçasından küçük parçacıkların eriyerek buharlaştırılması sonucu dielektrik sıvı aracılığıyla işleme bölgesinden uzaklaştırılması esasına dayanan bir uygulamadır (Yılmaz ve Ark, 2014). Uygulama başlatıldığında tel kesme yolunu izleyerek kesim işlemini tamamlamaktadır. Tel erozyon işlemeyle ilgili çalışma mekanizmasını şekil 1.5’de görmekteyiz.



Şekil 1.5. Tel erozyon ile işlemin mekanizma resmi (Deliceoğlu, 2015)

Elektrot olarak temel anlamda iki madde karşımıza çıkmaktadır; alaşımlı bakır (Cu) ve çinko (Zn) kaplı alaşımlı bakır tel. Bu iki tel malzemelerinin içi delikli, tamamen dolu, alaşım oranları farklı olmak üzere çeşitleri olabilmektedir. Bu çeşitlilik teli üreten firmaların üretime katkısı olması bakımından kalitesini arttırmaya yönelik çalışmasından dolayıdır. Temel olan iki bakır telin seçimini işleme yüzeyindeki istenen yüzey pürüzlülük değeri belirlemektedir. Eğer minimum yüzey pürüzlülük değeri isteniyorsa çinko (Zn) kaplı telleri, maksimum hız isteniyorsa alaşımlı bakır (Cu) telleri kullanmak gerekmektedir. Seçim konusunda tel tedarikçilerinin yönlendirmeleri kullanıcıların tercihlerine yön vermektedir. Tel çapları ise ihtiyaca göre 0,03mm ile 0,35 mm arasında değişkenlik göstermektedir.

TEY ile yapılan kesim sırasında tel ve iş parçalarının aşınma oranları eşit ve simetrik değildir. Bu durum termal iletkenlik, materyallerin ergime sıcaklıkları, elektriksel deşarj yoğunluğu, tel besleme oranı ve özellikle kutuplaşma gibi etkenlere bağlı olarak kompleks bir ilişkiler zincirini oluşturur (Çaydaş, 2002). Kesim işleminin verimliliği kesme parametrelerine bağlı olduğu gibi ortama ait özelliklerin de istenilen seviyede olması gerekir,

Ortam sıcaklığı 20°C ve nem oranının % 50 olduğunda, dielektrik saf suyu yeterli yalıtkanlıktayken ve 18°C sıcaklığında ideal olarak korunduğunda iyi bir kesim için gerekli ortam sağlanmıştır. Kesme parametreleri irdelendiğinde puls süresi, puls ara süresi, voltaj, akım, dielektrik sıvısı, sirkülasyon basıncı, tel ilerleme hızı, tel gerilmesi, gibi parametreler iş parçası kesim hızına ve kalitesine önemli ölçüde etkileyen parametreler olduğu görülmektedir (Çaydaş, 2002).

Bu çalışmada tercih edilen tezgâh ise WireEDM sınıfında ve düze kalıbı imalatı için kullanılmaktadır. BCF düze kalıbı imalatında sadece kesitlerin oluşturulması noktasında bu yöntem kullanılmaktadır. Küçük ölçülü parçalarda boyut hassasiyeti, dairesel doğruluk ve yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için ideal bir seçenek gibi gözükmektedir. Çalışma en iyi yüzey pürüzlülüğü ve ölçü tamlığı için voltaj, akım, puls süresi ve tel ilerleme hızı değerleri uygulamalı ve deneysel yöntemler kullanılarak optimize edilmesine yöneliktir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür irdelendiğinde; Düze kalıp ve kesitleriyle ilgili çok özel bir çalışmaya rastlanmamıştır ancak iplik üretim prosesinde önemi büyük olan bu kalıpların üzerindeki kesitlerde bir takım akış analizi, polimer malzemelerin mekanik özellikleri konularında farklı çalışmalar olduğu görülmüştür. Kesitlerin tasarım ve ürüne etkileri ile ilgili de ulusal ve uluslararası tez, yayın ve patentlere rastlanmış, düze kalıbı alt başlığında detaylandırılmıştır. Ancak düze kesit yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi hakkında bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Kesit geometrisi işleme prosesi olan tel erozyonda kesme parametreleri bir çok çalışmada irdelenmiş, genellikle yüzey pürüzlülüklerine bakılmıştır, ancak düze kalıbında kullanılan malzemede (EN 1.4057 Martenzitik paslanmaz çelik) böyle bir çalışmaya rastlanmamış ve tel erozyon içerikli çalışmalarda kesim yüzeyleri düz olarak yapılmıştır, Bu tezde dairesel kesitler alınarak ölçü tamlığına etkileri de incelenecektir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü ve ölçü tamlığının ürüne etkisi bakımından akademik katkı sağlanması düşünülmektedir.

2.1. Düze Kalıbı, Kesitler ve Polimer İplikler

Bhuvanesh ve Gupta, (1995) yaptıkları çalışmada PP akışına etki eden parametreler incelenerek bilgisayar destekli simülasyona katkı sağlayacak matematiksel bir model geliştirilmiştir. Bu model ile sıcaklık, basınç ve düze kesitinin oluşturduğu viskozite gibi faktörlerin değişimi ile eriyik PP'nin filamente dönüşümündeki farklılıkların simülasyonuna katkıda bulunmuştur. Model sıvı haldeki polimerin mono life dönüşmesi için uygulanması gereken soğutmanın derece ve zamanının tayininde önemli rol oynayacağını da belirtmiştir.

Düze kalıbı kesit yüzeyinde oluşabilecek ani basınç düşüşünün ve yüzey pürüzlülüğünün yüksek olmasından dolayı oluşacak kayma gerilmelerinin etkilerini azaltacak bir kesit tasarımı üzerinde Sonnenschein, (2001) çalışma yapmıştır. Çalışmada polimerin kararlı akışının sağlanması ve kırılmaların önlenmesi temeline dayandığı iddia edilmektedir.

Ürkmez, (2001) yaptığı yüksek lisans çalışmasında endüstriyel ölçekte polimer malzemeden elde edilen ipliğin özelliklerini; kopma dayanımı, sıcak su içindeki akması, kopma uzaması ve ütüleme işlemi için gerekli yumuşaklık gibi önemli parametrelerin belirleyeceğini belirtmiş ve bu parametreleri doğrudan etkiyebilecek faktörleri incelemiştir. Bunlar arasında

düze kesit çapı, üretim debisi, lif sarım hızı, nem içeriği, soğutma hava hızı ve sürtünme gibi değerler bulunmaktadır. Box wilson optimizasyon (BWM) metodu ile yapılan bu çalışmada düze delik çapı, sarımım hızı ve üretim debi değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Karaca ve Ozcelik, (2007) yaptığı çalışmada düze kalıbındaki kesitlerin filamentlerin yapısı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Tam gerilmiş iplik (TGİ/FDY-Full Drawn Yarn) polimer malzemedan aynı üretim tesisinde aynı çalışma koşullarında ürün elde edilmiştir. Çalışmada tek fark 4 farklı düze kesitinin kullanılmasıdır. Bu kesitler yuvarlak, içi boş yuvarlak, trilobal ve içi boş trilobal olarak seçilmiştir. Çalışma sonunda içi boş kesitlerden üretilen liflerin, dolu liflere göre daha yüksek amorf oryantasyona sahip olduğu gözlemlenmiştir. Enine olan trilobal kesit ile akma gerilmesi ve liflerin kaynar suda büzülmesi etkilenmiştir.

Chaudhuri, (2009) yaptığı çalışmada, halı ve kilim yapımında kullanılan doğal ve sentetik malzemeleri incelemiş, bunların üretim aşamaları ve mühendisliği hakkında bilgilere yer vermiştir. İpliğin imalatında kullanılan yöntemlerin karşılaştırılarak halı üretim yönteminin tercihine yön verilmek istenmiştir.

Teke, (2010) yaptığı yüksek lisans çalışmasında, düze kalıp içerisinde geçen polimer malzemenin ipliğe dönüşme esnasında ortaya çıkan akışın analizini yapıp fluent programı kullanarak modellemesini yapmıştır. Teke, (2010) deneysel veriler ve simülasyon sonuçları doğrultusunda, eriyikten lif üretimi prosesinde lif yapısının belirlenmesinde etkili olan proses değişkenleri belirlenebilmekte ve bu değişkenlerin ne oranda etkili olduğunu görmüştür. Uygulanan simülasyon fabrika şartlarında kütle akış miktarı ve lif hızı optimizasyonunda yaklaşık sınırları belirlemede etkili olmuştur. Simülasyon sonuçları ve deneysel veriler arasında farklılıklar olduğunu gözlemlemiş ve farklılıkları lifin gerçek davranışı olan viskoelastik davranışın ihmaline bağlamaktadır.

İpliği oluşturan filamentlerin sayısı o iplikten üretilen kumaşın yapısını ve özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sayı müşterinin talep çeşidine ve ürünün kalitesine göre değişebilmektedir. Özkan ve Babaasrlan, (2010) yaptıkları çalışmada bu bilgileri istatistiksel analiz yardımıyla incelemişlerdir. Araştırmanın bulgularına göre hacmi yüksek olan ipliğin bünyesinde daha az filament içerdiği, filament içeriğinin arttığı ipliklerin ve ondan elde edilen dokumaların düzgünlüğünü olumsuz etkilediği anlaşılmıştır. Artan filament sayısı ile sıcakta çekme değerinin ve mukavemetinin arttığı gözlenmiştir.

Fang ve Arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada PP'den elde edilen nanobifer filament oluşumuna etki eden faktörleri incelemiştir. Nanofiber filament oluşumu için elektro kaplama tertibatı olan düze kalıbı malzemesi ve voltaj değerinin; lif oluşumu ve lif çapı üzerine etkilerini araştırmıştır. Araştırma neticesinde düze kalıp malzemesinin lif oluşumuna doğrudan etkisi olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca kaplamada kullanılan yüzey aktif maddesinin lif oluşumu ve lif çapını düşürmeye olumlu etkilerini gözlemlemiştir.

Raghavan, (2013) yaptığı çalışmada PP (Polipropilen) den dokumasız kumaş elde edilmek üzere oluşacak nanofiber filamentlerin oluşumuna etki eden erimiş polimerin akış hızı irdelenmiştir. Bu parametrenin akışın kararlılığında ve filament oluşumunda önemli bir rol oynadığını gözlemlemiştir.

Nano parçacık içeren polimer malzemeler düze (spinneret) kesitlerinden geçerken yüksek kayma gerilmelerine maruz kalırlar. Bu gerilme akış halindeki polimerde viskozite artışına sebep olmaktadır. Ünal, (2014) yaptığı yüksek lisans çalışmasında kayma gerilmesi gösteren polimerik sıvıların akış özelliklerine etki eden parametreleri incelemiştir. Düze kesit geometrisinin ve akış hızının (0,03-0,12 m/s) incelendiğinde, kesitteki daralma alanının genişliği ve köşelerin keskinliğinin viskoziteyi önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Ayrıca akış hızının artması ile de viskozitenin arttığı anlaşılmıştır.

Arslan, (2016) yaptığı yüksek lisans çalışmasında Tekstüre iplik üretiminde kritik aşama olan POY (Partially Oriented Yarn-Sıvı Polimer) üretimi dikkate alınarak üretim parametrelerinin kaliteye etkisi incelenmiş, üretim parametreleri optimize edilerek hedeflenen incelikte 6 POY ve tekstüre iplikler üretilmiştir. Çalışmada mikroliflere yakın incelikte filamentlerden oluşan iplik üretimi amaçlanmıştır. Bu bağlamda POY üretim aşamasında polimer cipslerin relatif viskozitesi, düze kesit konfigürasyonu, üretim hızı, filamentlerin birleşme mesafesi soğutma hava hızının mukavemet, kopma uzaması düzgünlük, iplik hataları gibi özelliklerine etkileri analiz edilmiştir.

Ruamsuk, Takarada ve Kikutani (2016) yaptıkları çalışmada Eriyik PMP (polimetilpenten) ve PP'den oluşan filamentlerin oluşum davranışları düze kalıbı hattına yüksek hızlı kamera kullanılarak filamentlerin oluşum davranışlarını incelemiştir. İnce çaplı liflerin elde edilmesi için pompa basıncının artırılarak akış hızının artmasına bağlıdır. Ancak bu şekilde ince yapıda elde etmek isterken düze üzerinde polimer yığılması ve buna bağlı olarak

filamentlerin çapında dalgalanma veya kırılma gözlemlenmiştir. Çalışma akış hızı arttığında artan viskozite nedeniyle akış kararlılığı bozulduğunu ve kesit geometrisi ve yüzey kalitesinin önemini göstermektedir.

Soekoco ve arkadaşlarının (2018) çalışmalarında, geri dönüşümden elde edilen polimerleri elyaf ve iplik üretiminde değerlendirilmesi irdelemişlerdir. Bu çalışma ile geri dönüşümü kullanarak oluşan atıkları değerlendirileceğini böylelikle sentetik iplik üretiminde tüketimin azaltılmasını hedeflemiştir. Bu çalışmalarını uygulama yaparak teyit etmişlerdir. Farklı kalınlıklarda farklı kesitlerden geçirilen polimer malzeme ipliğe dönüştürülmüştür. Performans kriteri olan doğrusal yoğunluk deneye (9000 mm ipliğin gram cinsinden değeri) ile ölçülmüştür, ayrıca ipliğin mekanik mukavemeti ise ASTM D 3379-75 standardına göre ölçüp kıyaslamada bulunmuştur.

2.2. Tel Erozyon

Gökler ve Ozanözgü, (2000) çalışmalarında Ç1040 imalat çeliği, EN 1.2379 ve EN 1.2738 kalite takım çeliklerini farklı ve aynı kesme parametrelerinde bir dizi deney yapmıştır. Bu deneyler neticesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri ve farklı malzemelerin aynı değerlerde gösterdiği değişken yüzey formları incelenmiştir.

Tosun, (2001) çalışmasında tel elektrot üzerinde oluşan krater derinliğinin ve çapının, puls süresi, tel ilerleme hızı, dielektrik sıvı basıncı ve gerilim değişkenlerine bağlı olarak oluşan değişimin deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Aşınmanın meydana getirdiği krater ölçüleri mikroskop aracılığıyla ölçülmüştür. Deneylerde ise Ç4140 imalat çeliği ve elektrot olarak 0,25 mm pirinç tel kullanılmıştır. Yapılan analizler neticesince aşınma boyutları, aşınma sonrası tel ağırlığı ve iş parçası yüzey pürüzlülüğüne, gerilim ve puls süresinin önem sırası en yüksek seviyede etki ettiği, diğer parametrelerin ise daha az etkide bulunduğu anlaşılmıştır.

Hasçalık ve Çaydas, (2004) yaptıkları çalışmalarında açık devre voltajı, puls süresi, tel hızı ve dielektrik sıvı basıncı gibi değerleri değiştirerek yüzey pürüzlülüğü ve mikro yapı üzerine etkilerini incelemiştir. AISI D5 çeliği üzerinde yapılan deneysel çalışma sonucunda tel hızı ve dielektrik sıvı basıncının yüzey üzerine etkilerinin çok sınırlı gerilim ve akımın ise önemli seviyede etkili olduğu gözlenmiştir.

Ünver, (2004) çalışmasında emdirme yöntemi ile elde edilmiş %20 saffil elyaf takviyeli MMK (Metal Matrisli Kompozit); döküm yöntemi ile üretilmiş, kütlece %20 SiC takviyeli (125, 62, 45 um) metal matrisli kompozitlerin tel erozyon tezgâhında işlenmesini gerçekleştirmiştir. İşlemede önce uygun işleme parametreleri tespit edilmiş, işleme parametrelerine göre kıvılcım ve aşınma aralıklarının değişimi fotoğraflanmış, akım ve gerilim değişiminin etkilediği işlenmiş yüzeylerin SEM görüntüleri elde edilmiştir. Sonra, SiC parçacık takviyeli MMK malzemelerde tane büyüklüğünün işleme şartlarına etkisi araştırılmıştır. Son olarak, dolun ve boşalım sürelerinin ve kararlı kesim ayarlarının yüzey pürüzlülüğüne, işleme hızına ve harcanan tel miktarına etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda, MMK malzemelerin tel erozyon yöntemi ile işlenebildiği, parçacık büyüklüğünün ve kütlece oranının işlemeyi güçleştirdiği tespit edilmiştir.

Mahapatra ve Patnaik, (2006) yaptıkları çalışmalarında taguchi yöntemi kullanarak tel erozyon kesme parametrelerinin optimizasyonu ile ilgilenmişlerdir. Optimizasyon çalışması maksimum talaş kaldırma oranı ve minimum yüzey pürüzlülüğü hedeflenerek yapılmıştır. Çalışmada deşarj akımı, on/off süreleri, tel ilerleme hızı, tel gerilmesi ve dielektrik sıvısı dolaşım hızı gibi faktörlerin bu iki zıt faktöre etkilerini incelemiştir. Maksimum talaş kaldırma ve minimum yüzey pürüzlülüğü imalatta talep edilecek ihtiyaçlar olduğu için seçilmiştir. Doğrusal olmayan yöntemlerle elde edilen matematiksel yöntemler en iyi yüzey kalitesi ve en fazla talaş kaldırma hacmi için kesme parametresi önerisinde bulunmaktadır. Bu durumda uygulama ile de teyit edildiğinde algoritmanın belli bir oranda sapma ile sorulara cevap verdiğini göstermiştir.

Yan ve Lai, (2007) yaptıkları çalışmalarında son final operasyonları için güç kaynağı geliştirilmesini ve uygulamasını sunmaktadır. Tam köprü devresi, iki kopma devresi ve bir akım süresi kontrol devresinden oluşan transistor destekli güç kaynağı, anti elektroliz, yüksek frekans ve çok düşük enerjili puls kontrol fonksiyonlarını ayarlayabilmek için tasarlanmıştır. Yapılan testler puls süresi ve kıvılcım aralığı değerlerinin kapasitans ayarlaması yoluyla kısaltılabileceğini göstermiştir. Ayrıca yüksek kapasite değeri daha uzun deşarj süresine de katkı sağladığı anlaşılmıştır. Yüksek akım sınırlayıcı direnç, deşarj akımının azalmasına neden olacağı gibi deşarj akımı, puls süresi artışıyla artar ve böylece, kireç tabakasının kalınlığında bir artışa katkıda bulunur. Deneysel sonuçlar, son finalde kullanılan güç kaynağının sadece titanyumun mavileştirme ve paslanma etkisini ortadan kaldırmada ve elektroliz ve oksidasyonun neden olduğu tungsten karbürde mikro çatlama

azaltmada değil, aynı zamanda geliştirilen sistemin ince bir yüzey kalitesi elde ettiğini de göstermektedir. Bu değer $R_a 0,22 \mu\text{m}$ kadar düşük bir değer olduğu ortaya konmuştur.

Abdulkareem, Khan ve Mohd Zain, (2007) tel erozyonda işlenmiş yüzey kalitesinin artmasıyla parçanın yorulma mukavemeti ve aşınma/korozyon direncini arttırdığını söylemişlerdir. Yüzey kalitesinin önemini belirten Abdulkareem ve arkadaşları çalışmalarında WEDM yönteminin paslanmaz çeliklerin yüzey topoğrafyasındaki etkilerini araştırmıştır. Paslanmaz çeliklerde deşarj akımı ve boşaltım voltajının artmasıyla yüzey kalitesinin bozulduğu kesin bir şekilde ortaya koymuştur.

İmamoğlu, (2007) çalışmasında güç, puls ara süresi, gerilimin değişken olduğu, dielektrik basıncı, tel ilerleme hızı, tel gerginliği ve tel çapının sabit olduğu şartlarda 2379 çeliğinde şekil ve boyut toleranslarını incelemiştir. Optik tarama yöntemiyle alınan sonuçlar farklı parametrelerde farklı sonuçlar vermiştir. İmamoğlu, beklenen özelliklere göre parametrelerin seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca güç ve puls ara süresinin sabit olup voltajın arttığı noktada boyut toleransının artmasına, Puls süresinin düşürülüp gücün artırılması ile boyut toleransına olumlu yönde etkilemesine neden olduğu anlaşılmıştır.

Aydoğdu, (2009) çalışmasında prizmatik ve dairesel parçaların kesilmesin M303 plastik kalıp çeliği kullanılmış, puls süresi, puls ara süresi ve tel ilerleme hızı değişken olarak seçilip diğer birçok parametre sabit tutulmuştur. Bu üç değişken girdi ile L9 ortogonal dizisine göre taguchi metodu kullanılarak elde edilen sonuçların parçaların şekil ve boyut toleranslarına etkileri grafiksel olarak sunulmuştur. Regresyon yöntemi ile de optimum tahmini değerlere ulaşılmıştır.

Evran, (2009) çalışmasında puls süresi, puls ara süresi, aralık voltajı gibi kesme değerlerinin yüzey pürüzlülüğü ve elektro deşarj aralığına etkilerini incelemiştir. Diğer bir çok literatür çalışmasında olduğu gibi evran'da taguchi yönteminin L9 dizisini kullanarak deney maliyetlerini düşürmüştür. S/N (Sinyal-Gürültü) oranının kesme parametrelerinin optimum değerlerini elde etmede, ANOVA ise ilgili kesme parametrelerinin performans kriterleri üzerindeki etkilerinin önem seviyelerini belirlemede kullanılmıştır. Kesme parametrelerinin birbirleri ile olan ilişkileri ise lineer regresyon analizi metodu kullanılarak sonuçlandırılmıştır. Grafiklere ve analiz sonuçlarına bakıldığında yüzey pürüzlülük değeri puls süresinin artışına bağlı olarak artmış, puls ara süresi ve aralık voltajının artışına bağlı

olaraksa azalmıştır. Ayrıca aralık voltajı ve puls süresinin artması ise elektro deşarj aralığının arttırdığını göstermektedir.

Doğan, (2010) çalışmasında inconel 718 ısıl dirençli çelikte tel erozyon kesme parametrelerinin incelenmesi ve optimum değerlerin tayini ile ilgili sonuçları ortaya koymuştur. Taguchi metodu kullanılarak yapılan 9 deney neticesinde puls süresinin boyut toleransına ve yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden faktör olduğunu belirtilmiştir. Tabla ilerleme hızı ve puls ara süresi gibi diğer değerlerinde bu iki kontrol parametresine ters veya doğru orantılı olarak nispeten daha az etkileri bulunduğu da araştırma bulguları arasında yerini almaktadır.

Yurtkuran ve Ark, (2011) yaptıkları çalışmasın toz metalürjisi (TM) ile elde edilen alüminyum bazlı malzeme Cu, Zn ve SiC parçacıklarını belli oranlarda takviye edilerek presleyip 5 farklı kombinasyonda malzeme elde etmişlerdi. Bu malzemeleri keserken Puls ara süresi ve tel ilerleme hızı değişken olarak belirlenmiştir. Kesilen parçaların yüzey pürüzlülükleri ölçülerek girdi parametrelerinin ve malzeme katkı maddelerinin etkileri incelenmiştir. Ayrıca kesimlerde aşınan tellerin hassas ölçüm ile ağırlıkları ölçülerek tel aşınma miktarları da elde edilip grafiksel olarak yorumlanmıştır.

Yen ve arkadaşlarının (2013) yaptıkları çalışmada polikristal silikon külçe kullanılarak, dielektrik sıvının içeriğindeki değişimlerle parça üzerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Parça kesimlerinden dielektrik sıvısı olarak saf su ve fosfor içerikli su kullanılmıştır.

Wang Y, Wang M ve Lu, (2016) yaptıkları çalışmada düze kalıplarının kesitlerinin işlenmesindeki zorluktan dolayı yüksek kaliteli filament içerikli yapıların gelişimini engellediğini ve düze kesitlerin işlenmesinde en etkili çözümün EDM olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmalarını işleme zor olan düze kesitleri için etki eden tüm parametreler incelenmiş ve etkileri kritik olan değerler üzerine gidilmiştir. Kritik etkiye sahip olan değerler optimize edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen verilen uygulama ile kanıtlanmıştır.

Ubaid ve Ark., (2017) tel erozyonda işlenecek parçanın boyutları ve şekli sürekli değiştiği için sürekli bir optimizasyon çalışması gerektiğini söylemişlerdir. Tüm bu etki parametreleri komplekstir ve belirlenmesi zordur. Çalışmalarında en fazla etkiye sahip olan parametrik

değerlerin belirlenmesi konusunda literatüre katkıda bulunulmuştur. Çalışmada SS304 malzeme üzerinde deneyler yapılarak en optimum sonuç akımın 10 A, puls süresinin 60 μ s puls ara süresinin 35 μ s olduğu durumda elde edilmiştir. Bu değerler arasında en fazla etki eden parametre ise ANOVA yöntemi ile bulunmuştur. Sırasıyla Puls ara süresi, akım ve puls süresi büyük öneme sahip olduğu gösterilmiştir.

Sun ve arkadaşları (2017) yaptıkları çalışmada düşük hızla WireEDM işleme sonrasında kesim yüzeyinde oluşan kraterlerin karakteristiklerini analiz edip yüzey kalitesini iyileştirecek ve yüzey kusurlarını en aza indirecek stratejiye ulaşmaya çalışmışlardır. Termal iletkenliği zayıf olan Ti6Al4V(TC4) malzemeden kesilmiş yüzeyler ele alındığında alt ve üst tabaka arasında kraterler, mikro çatlaklar, mikro sertlik ve beyaz tabaka gözlemlenmiştir. Prajapati, Patel ve Patel D.M, (2018) yaptıkları çalışmada havacılık, gıda ve otomotiv alanlarında farklı görevlerde kullanımı oldukça yaygın olan AISI 304L paslanmaz çeliğin WEDM ile işlenmesi, voltaj, akım, puls süresi ve servo besleme hızı parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin deneysel araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Her iki çalışmada da WEDM akım değeri azaltılarak daha iyi yüzey elde edildiği ve oluşan krater ve yapışkan tabakaların dielektrik sıvı ve basınç etkisiyle de minimize olduğu anlaşılmıştır.

Ramanana, Dhasb ve Ramachandran, (2017) yaptıkları araştırma çalışmalarında otomotiv endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan WEDM yönteminin kesme parametrelerinin yükseltilmesine katkıda bulunmuşlardır. Deşarj akımı, puls süresi, puls ara süresi ve servo hızı giriş parametreleri olup çıktı olarak maksimum talaş kaldırma ve minimum yüzey pürüzlülüğü istenmiştir. AMMC (aluminium metal matrix composites) malzemede optimum düzeydeki değerlerin elde edilmesi için matematiksel modelleme yöntemleri kullanmış çıkan sonuçlar gri yanıt yöntemiyle optimize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise uygulama ile teyit edilmiş ve akım değeri 1750 A, puls süresinin 5 μ s, puls ara süresinin 50 μ s, servo hızının 100 rpm, olarak bulunmuştur.

Sonawanea ve Kulkarni, (2017) tel erozyon ile işlemede minimum maliyet ile maksimum kaliteyi bir arada elde etmek için Yüzey pürüzlülük değerini minimum, talaş kaldırma miktarını maksimum kabul eden deneysel yaklaşım ile optimum kesme değerlerin belirlenmesi hakkında çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma PCA (principal component analysis/temel bileşenler analizi-TBA) tabanlı fayda teorisi kullanılarak en iyi kaliteyi elde etmede kullanılması gereken kesme parametrelerini belirlemektedir. Nimonic-75 (Ni-75)

parçalar, taguchi metodunun L27 ortogonal dizisine göre, puls süresi, puls ara süresi, voltaj, akım, tel besleme hızı ve tel gerginliği değerleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Çıkan sonuçlar fayda teorisi ile desteklenip optimal kesme değerleri puls süresi 114 μ s, puls ara süresi 51 μ s, gerilim 20 V, akım 200 A, tel besleme hızı 5 m/dk ve tel gerginliği 2 gram olarak bulunmuştur.

Wang, ve Xiao, (2018) yaptıkları çalışmalarında sentetik liflerin düze delikleri, yakıt enjeksiyon nozulları ve tel çekme kalıplarındaki gibi küçük çaplı delik ve formların işlenmesindeki zorluklardan ve bu zorluklara karşı EDM kullanımını araştırmıştır. EDM yöntemi de elektrokimyasal işleme (EKİ/ECM- electrochemical machining) göre avantajlı olduğu durumlar da gözlenmiştir. Özellikle kesim bölgesinden parça aşındırmaya bağlı olarak EDM yöntemi daha iyi yüzey kalitesi verdiği, ECM yönteminin ise zayıf işleme hassasiyetine sahip olduğu anlaşılmıştır.

Liang, Liao ve Kao, (2018) yaptıkları çalışmada Ti-6Al-4V malzemede EDM akım ve puls süresi değerlerinin etkileri maksimum talaş kaldırma ve minimum yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri incelenmiştir. Akımın artmasıyla talaş kaldırma miktarı ve yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Bu artış eğrisinin parabolik olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin 2,5-5 A arasında hafif artış, 5-7,5 arasında yoğun artış gözlemlenmiştir. EDM'den sonra mikro yapıda boşluklar, hasarlı yüzeyler ve dağınık erimiş formlar oluşabileceğini belirtmiş ve bu etkilerin daha da azaltılıp yüzeylerin kalitesinin bu değerlerle ve oksijen plazma yöntemiyle iyileştirilebileceğini belirtmiştir.

Ishfaq ve Ark., (2018) formlu ve küçük parçaların imalatında, WEDM tezgahlarının gerekliliklerinden bahsettikleri çalışmalarında puls süresi, puls ara süresi, servo voltajı, tel gerginliği ve dielektrik dolaşım basıncını girdi olarak kabul etmiştir. Bu girdilerin talaş kaldırma oranına ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini deneysel tasarım yöntemi kullanarak analiz etmiştir. ANOVA ile de deneysel sonuçları optimize etmiştir. Analiz ve optimizasyonda puls süresi ve puls ara süresi performans kriterlerini büyük oranda etkileyen ikili faktör olarak tespit edilmiştir.

Soni, Narendranath ve Ramesh, (2018) yaptıkları çalışmalarında tele etkileyen en önemli parametrelerin puls süreleri ve servo voltajı olduğunu belirtmiştir. Bu süreçte Ti₅₀Ni₄₉Co₁ malzemede tel erozyon işlemede belirtilen parametrelerin etkileri yüzey değişkenlerine

etkileri bakımından incelenmiştir. Yüksek ve düşük değerlerde işleme yapılmış ve yüksek parametrik değerlerde yüzey çatlak yoğunluğunun arttığını, düştüğünde ise yoğunluğun azaldığını gözlemlemiştir. Ayrıca Servo voltajının etkisini incelemek bakımında puls süresi düşük iken daha yüksek voltaj girildiğinde yüzey sertliğinde artış görülmüştür.

Giduturi, ve Kumar, (2018) H-13 takım çeliğinin tel erozyonda işlem parametrelerinin optimizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmalarında 22,21 mm³/dk maksimum talaş kaldırma miktarı için en baskın parametreler olan Puls süresi 125 µs, akım ise 200 A olarak bulunmuştur. Daha az etkiye sahip olan sistem voltajı 20 V, puls ara süresi 40 µs, tel gerginliği 8 N ve tel besleme hızı 8 mm/dk olarak belirtilmiştir. Bir diğer beklenti olan minimum yüzey pürüzlülüğü (0,89 µm) için en fazla etkiye sahip olan tel gerginliği 10 N, puls süresi 115 ve servo voltajı 60 V olarak bulunmuştur. Daha az etkiye sahip olan puls ara süresi 60 µs, akım değeri 140 A, tel besleme hızı 7 mm/dk olarak bulunmuştur. Her iki sonuçta da bulunan değerler baskın ve baskın olmayan değerlerle karşılaştırılmıştır.

Mazarbhuiyaa, Choudhurya ve Patowarib (2018) taguchi metodu ile EDM tezgâhında maksimum talaş kaldırma oranı ve yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonunu yaptıkları deneysel çalışmalarında deşarj akımı, puls süresi, sirkülasyon basıncı ve polariteyi giriş parametresi olarak incelemiştir. Maksimum talaş kaldırma; deşarj akımı 16 A, puls süresi 463 µs, sirkülasyon basıncı 10 kgf/cm² ve normal polaritedeyken elde edileceği tespit edilmiştir. Minimum yüzey pürüzlülüğü, akım değeri 8 A olarak ayarlanıp ters polarite ile işleme yapıldığında elde edilmiş olup en önemli parametrenin deşarj akımı olduğu anlaşılmıştır.

Prakash Ve Ark, (2018) yaptıkları çalışmada hibrid kompozit malzemelerin tel erozyonda işlem parametrelerinin optimizasyonunu taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak elde etmişlerdir. Kompozit malzeme alüminyum matrisli kompozit (AMK/AMC- Aluminium matrix composites) olarak tercih edilmiştir. AMC'ler ortalama %1,5, %3 ve %4,5 oranlarında bor karbür içeriğinde hazırlanıp, uçucu kül ortalama parçacık büyüklüğü 12 µm ve homojen yapıda ayarlanmıştır. Çalışmada 0,25 mm tel çapı ile AMC'lerin işlenmesi için uygun bir kesme değeri belirlemeye çalışılmıştır. Servo voltajı, puls süresi, puls ara süresi, tel beslemesi ve gerginliği giriş parametresi olarak değerlendirilip, maksimum talaş kaldırmaya yönelik değerlendirme yapılmıştır. Taguchi metodunu kullanan çalışmada L27 ortogonal dizi ile deney sayısı azaltılarak sonuçlar elde edilmiş ve ANOVA ile grafiksel hale

getirilmiştir. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere voltajın maksimum talaş kaldırmaya en büyük etkisi olduğu, puls sürelerinin ise daha az etkiye sahip olduğu, tel ile ilgili gerilmelerin ve beslemelerin ise etkisiz olduğu gösterilmiştir.

Sudhakara, Prasanthi ve Sandeep, (2018) yaptıkları çalışmada toz metalürjisi ile elde edilmiş soğuk iş takım çeliklerinde tel erozyon işlem parametrelerinin belirlenmesi konusuna eğilmişlerdir. Bu çalışmada performans kriteri minimum tel aşınması olarak kabul edilmiş olup giriş değerleri bu yönde optimize edilmiştir. L27 ortogonal taguchi metoduna göre bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler neticesinde puls süresi, puls ara süresi, servo voltajı, deşarj akımı, tel gerilimi, dielektrik sıvı basıncı girdi parametreleri arasında en fazla tel aşınmasını, puls süresinin etkilediği gözlemlenmiştir. Optimal değerler; Puls 108 μ s, pul ara süresi 63 μ s, akım 11 A ve voltaj 18 V olarak belirlenmiştir.

Sen ve Ark, (2018) yaptıkları çalışmada işlem parametrelerinin performans kriterleri üzerine etkilerini incelemiştir. Ayrıca ANN (artificial neural network/genetik algoritma tekniği), bulanık mantık (Fuzzy logic) ve TLBO (teaching-learning based optimization/öğretme öğrenime dayalı ayarlama) hibrit yöntemleri kullanılarak parametrelerin optimum ayarını ortaya koymaktadır. Etkin modelleme için kesme hızı, yüzey pürüzlülüğü ve minimum el aşınması ele alınıp yapay sinir ağları oluşturulmuştur. Özetle, tüm analiz yöntemleri göstermiştir ki; parametrelerin optimizasyonunda öğrenmeye dayalı yöntem (TLBO) daha uygun ve etkilidir.

Kumar, Kumar, P ve Khare, (2018) yaptıkları çalışmalarında Alüminyum 6063 malzemenin tel erozyon kesme parametrelerini incelemiş ve yüzey pürüzlülüğüne en fazla etki eden parametreler belirlenmiştir. Analizlerini taguchi L9 ortogonal metoduna göre yapıp doğrulama deneyleri ile teyit etmiştir. Giriş parametreleri akım, puls süresi, puls ara süresi ve tel ilerleme hızı olarak seçilmiştir. Çalışmada diğer değerlerden daha fazla olarak Puls süresi ve tel ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğünü etkilediği doğrulama deneyleri ile teyit edilerek gözlenmiştir. ANOVA'da çıkan sonuçlar deneyleri doğrulamaktadır.

Kumar, Manna ve Kumar A, (2018) yaptıkları çalışmalarında WEDM işlem parametrelerini yüzey pürüzlülük yüksekliğine (Ra) etkileri bakımından incelemiştir. Parametrik değerler literatür araştırmasına bağlı kalarak puls süresi, akım, voltaj, el gerilmesi ve tel besleme hızı olarak seçilmiştir. Seçilen değerler silikon karbür partiküllü alüminyum metal matris

kompozitlerin (Al / SiC-MMC) işlenmesindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma box – behnken deneysel tasarım yönteminden faydalanılarak yapıp doğrulama deneyleri ile de teyit edilmiştir. Neticesinde sonuçların uyumlu olduğu anlaşılmıştır. Sonuçlara bakıldığında puls süresinin %49, akımın %25, tel besleme hızının %10, geri kalan oran tüm parametrik değerlerin etkilerini göstermektedir. Voltaj ve tel gerilmeleri bu çalışmada en az etkiye sahip girdiler olarak karşımıza çıkmaktadır. En iyi yüzey pürüzlülüğü olan $R_a:2,42$ değeri için değerler, puls 0,6/19 μs akım 120 A, voltaj 40V, tel gerilmesi 1200 g ve tel besleme 8 mm/dk olarak bulunmuştur.



3.2. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. EN 1.4057 (AISI 431) Düze kalıp malzemesi

Bu çalışmada kullanılan EN 1.4057 çelik içerdiği % 15-17 Cr' a bağlı olarak sıcak iş paslanmaz çeliği sınıfında, DIN X17CrNi16-2, AISI 431 veya JIS SUS431 olarak farklı standartlarda da tanımlanmaktadır. Martenzitik paslanmaz grubunun en popüler kullanıma sahip olan üyesidir. % 0,12-0,22 C karbon oranına bakıldığında sertlik alma değeri düşüktür, ancak içerdiği %1,5- 2,5 Ni (nikel) alaşımından dolayı oldukça yüksek korozyon direncine sahiptir ve yine yüksek Ni alaşımı martenzitik gruptaki bu malzemeyi paslanmazlığını en üst seviyeye taşımaktadır. Bu durumda tercihte ana neden olmaktadır. Kalıp malzemesi, deniz suyu uygulamaları, cam üretimi, gıda, tekstil, kâğıt vb. yüksek sıcaklık ve basınç altında fiziksel ve kimyasal korozyon direnci beklentisinin maksimum olduğu her türlü işlerde tercih edilmektedir. Çizelge 3.1. ve 3.2'de kimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir (Task Metalurji, 2014).

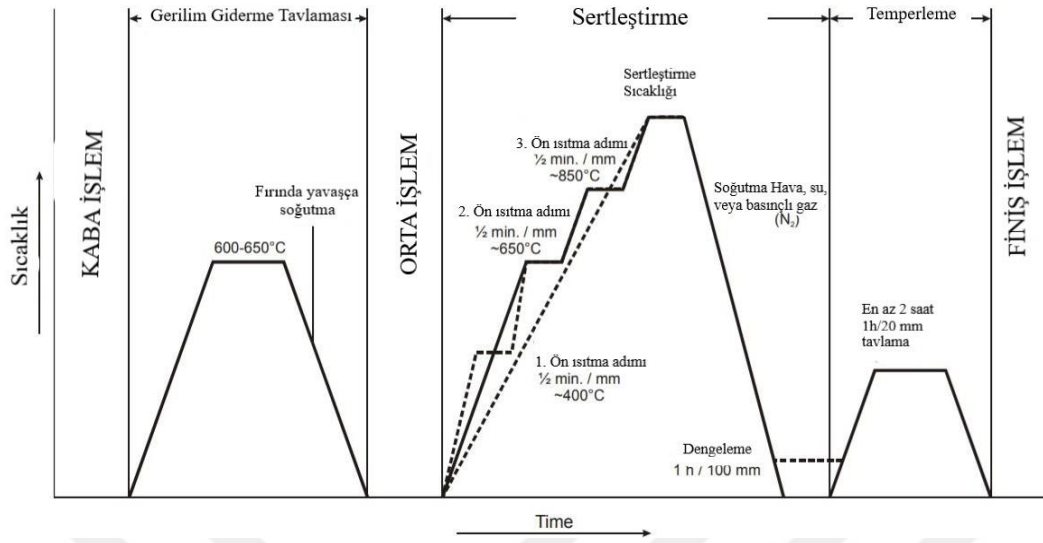
Çizelge 3.1. AISI 431 (EN 1.4057) Çeliğinin Kimyasal kompozisyonu

%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni
0,12-0,22	1 (maks)	1,5 (maks)	15-17	1,5-2,5

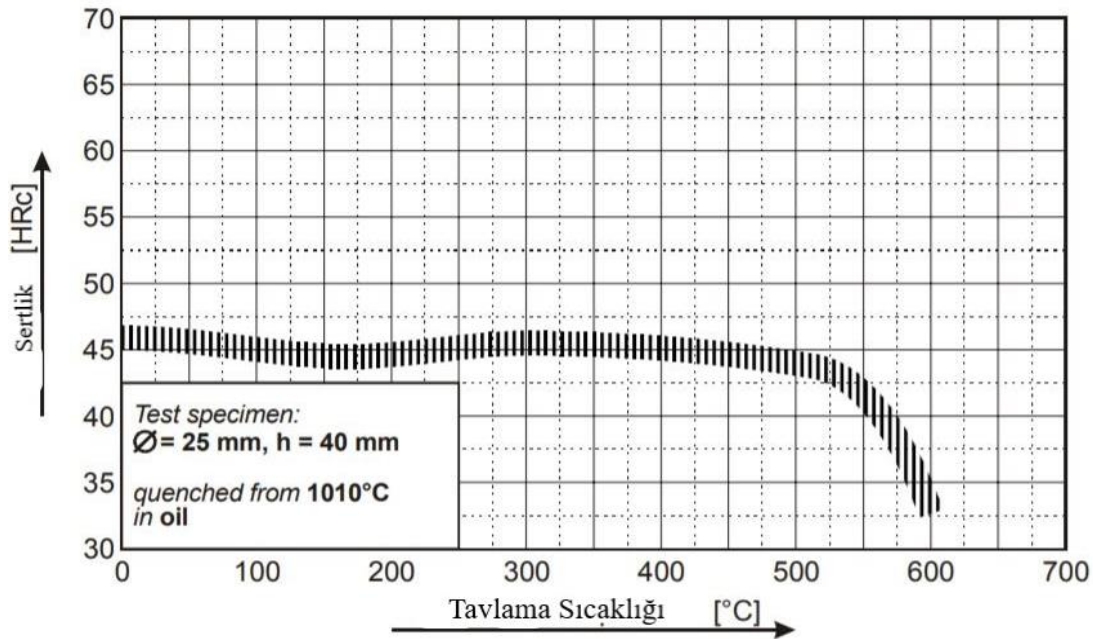
Çizelge 3.2. AISI 431 (EN 1.4057) Mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	
Sertlik (HB)	295 (maks) Tavllanmış
% 0,2 Akma Mukavemeti (N/mm ²)	600-700 Tavllanmış
Darbe Direnci (J)	25-15 Sertlik ve temper verilmiş
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	800-1050 Sertlik ve temper verilmiş
% Uzama	14-10 Sertlik ve temper verilmiş

Bu malzemeler piyasada tavllanmış veya temperli sertlikteki çeşitleriyle tedarik edilebilmektedir. Bu sebeple malzeme tavllanmış olarak karbon çelikleri ile benzer sertlikte olsa da ön sertleştirmeye uğramış (yaklaşık 30-35 hrc) EN 1.4057 malzemedeki talaşlı imalat oldukça zor hale gelmektedir. Bu malzemenin ısıl işlem diyagramları şekil 3.1 ve şekil 3.2'de gösterilmiştir (Dörrenberg Edelstahl GmbH, 2018).



Şekil 3.1. Termal çevirim diyagramı



Şekil 3.2. Temperlemeye bağlı sertlik diyagramı

Sertliğin yanı sıra çekme mukavemetinin oldukça yüksek olduğu bu malzemede işlemeyi zorlaştıran Cr, Ni, Mn gibi elementleri bünyesinde barındırmaktadır. Bu yönüyle diğer paslanmaz çelik sınıfındaki malzemelere göre talaşlı imalatı sorun haline gelmektedir.

Düze kalıbında talaşlı imalat ile işlemenin zorluğuyla beraber kesit yüzeyinin mikro formundan dolayı ilave olarak talaşlı imalatı tercih olmaktan uzağa götürmektedir, bu sebeplerdir ki; tel erozyon yöntemi bu malzemenin işlenmesinde kilit rol oynamaktadır.

3.1.2. Tel erozyon kesme tezgâhı

Tel erozyon ile işleme yöntemi; karmaşık geometrilerin ve egzotik, yüksek sertlikte diğer imalat yöntemleri ile işlenmesi zor olan malzemelere şekil vermede kullanılan geleneksel olmayan bir talaş kaldırma yöntemidir. Düzce kesitleri de karmaşık ve mikro geometrisi, nispeten zorlu işlenen martenzitik yapısından dolayı böyle bir işleme yöntemine ihtiyaç duymaktadır. SPM marka EZ20S model birlik makine kalıp ltd.'ye özel üretilmiş bir tel erozyon tezgâhı kullanılarak deney numuneleri işlenmiştir. Bu tezgâha ait görsel resim 3.1'de özellikleri ise çizelge 3.3'de gösterilmiştir.



Resim 3.1. SPM EZ20S Tel erozyon tezgâhı (Birlik Makine Kalıp/Gaziantep)

Çizelge 3.3. SPM EZ20S Tezgahın Özellikleri

Özellik	EZ20S	Birim
Maksimum parça boyutlar	900 × 550 × 250 (W×D×H)	mm
İş parçası boyutları	700 × 450 × 240	mm
Maksimum Parça kütlesi	600	kg
Tabla boyutları	784 × 466	mm
Tabla yüksekliği	950 (Zeminden itibaren)	mm
XYZ hareketi	500 × 300 × 260	mm
UV hareketi	100*100	mm
Mak. Açılı Kesim	±24/t = 100mm	derece/kal.

Çizelge 3.3. (Devamı) SPM EZ20S Tezgahın Özellikleri

Mak. Tabla hızı	1300	mm/dk.
Tel çapı	0,15 — 0,33 (std. 0,25 diğerleri ops.)	µm
Tel İlerleme hızı	0 — 15	m/dk.
Tel gerginliği	0,5 — 28	N
Tezgâhın dış boyutları	1600 × 1950 × 2000	mm
Tezgâhın toplam kütlesi	3000	kg

TEY’nde kullanılan kesme parametreleri diğer talaş kaldırma yöntemlerine göre çok daha kapsamlıdır. İş parçasının kalınlığı, malzemenin cinsi, istenilen yüzey hassasiyetine bağlı olarak tel gerilmesi, tel ilerleme hızı, tabla ilerleme hızı, sıvı sürkülasyon basıncı, akım, voltaj, puls süreleri ve hatta ortamdaki sıcaklık ve nem değerleri parametreleri ayarlanabilir. Voltaj, akım, puls süresi ve tel ilerleme hızı literatür araştırmasından da gözlemlendiği üzere yüzey pürüzlülüklerine etkileri olan parametrelerdir.

Voltaj (V)

Tezgah üzerinde VG olarak kontrol edilen aralık voltajını ifade etmektedir. 0 ile 150 V arasında ayarlanmaktadır. Kesme performansını doğrudan etkiler. İş parçası ve tel arasında oluşacak voltajı ayarlamaktadır. Voltaj ayarının düşük tutulması durumunda aralık mesafesi daralır ve kesme işlemi kararsızlaşır. (Aydoğdu, 2009) Bu kararsızlık, kesmeden kaynaklı oluşan metal tozları aralık içinde kalıp sirkülasyonun zorlaşmasından meydana gelmektedir. Sonuçta kısa devre veya sıkışma kaynaklı kırılmalar meydana gelebilmektedir. Eğer yüksek seviyelerde ayarlanırsa da oluşan aralık genişleyecektir. Bu durumda dielektrik sıvı gaz haline geçemeyip kıvılcımın iletimi zorlanmış olur. Sonuç olarak voltaj parametresinin uygun değer ayarı çok önemlidir. Aksi halde tel kırılmaları yaşanacak veya iş parçasında ölçüsel değerler beklentiden uzak olacaktır.

Akım (A)

Tezgâh üzerinde IP olarak kontrol edilen akım değerinin amper cinsinden değerini ifade eder. Akım, tel üzerinde oluşan enerji ve partiküllerin parçadan kopması üzerinde etkili olan kıvılcım enerjisidir. Bu değer işleme yöntemine göre en uygun değerler farklılık gösterebilmektedir. Parçanın kalınlığı işleme hassasiyeti gibi taleplere bağlı olarak tel üzerine yüklenen enerjide değişmektedir. Tezgâhta 1 ile 18 mm arasında ayarlanmaktadır.

Tel ilerleme hızı (m/dk)

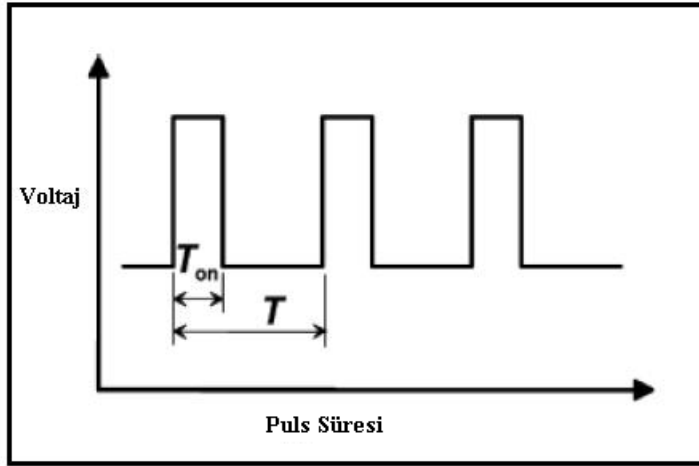
Tezgâh üzerinden WS olarak kontrol edilen parametredir. Tel ilerleme hızı uygulamada malzeme kalınlığına göre ayarlanmaktadır. Tel kırılmalarının ve gerilmelerin azaltılması için tel hızının arttırılması gerekmektedir. (Scott ve Ark., 1991) Ancak tel ilerleme hızının artması işleme hızını da arttırmaktadır buna bağlı olarak işleme hızının artmasıyla beraber yüzey kalitesi bozulmaktadır. Tezgâhta bu değer 1 ile 16 arasında ayarlanmaktadır.

Puls (Açık) Süresi (μ s)

Puls süresi voltaj değerinin uygulanma periyodunda açık olduğu sürenin μ s cinsinden değerini şekil 3.3’de olduğu gibi ifade eder. Tezgâhta T_{on} olarak kontrol edilen parametredir ve 1 ile 8 arasında ayarlanmaktadır. Bu sürenin artmasıyla kesim işlemi hızlanır (Evrans, 2009). Talaş kaldırma işlemi tamsında pulsun açık olduğu zamanda meydana gelir. Daha yüksek puls süresi uygulanması doğru orantılı olarak daha büyük enerji oluşumunu sağlar. Buna bağlı olarak artan T_{on} süresinde kesim performansı artacak olup yüzey kalitesi ve ölçü doğrusalığı azalacaktır. Aşırı yüksek olması durumunda ise kırılmalara yatkın hale gelecektir (Aydoğdu, 2009). Bu bakımdan en uygun değer seçimi burada da oldukça kritik öneme sahiptir.

Puls süresi ve puls ara süresi iş parçasına etkileri bakımından birbirine bağlı değerlendirmek gerekir. Puls ara süresinde talaş kaldırma işlemi durmuş olup T_{on} süresinde meydana gelen partiküller kesim bölgesinden sirkülasyon sıvısı yardımıyla uzaklaştırılır. Puls süresinin aşırı uzun tutulması kısa devreye sebebiyet verme ihtimali çok yüksektir. Puls ara süresinin uzun tutulması durumunda enerji tüketimi düşecek olup kesme kabiliyeti azalacaktır.

Sonuç olarak voltaj, akım, puls süresi ve tel ilerleme hızları birbirleriyle ilişkili olarak optimize edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu dört değer birbirleriyle olan ilişkisi ve iş parçasına etkileri bakımından optimizasyona değer bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Puls on süresinin grafiksel tanımı (Aydoğdu, 2009)

3.1.3. Tel Elektrot

Tel erozyon işlemede elektrik iletkenliğe sahip olan bütün metaller kullanılabilir. Pratikte ise bazı metaller tercih edilmiş olup bazı özel tel imalat yöntemleriyle özellikleri geliştirilmiştir. Tel elektrotunun kırılmaya ve kopmaya karşı yüksek dayanım, boşlukta enerji akışı sağlayacak yüksek iletkenliğe sahip olması gerekmektedir. Çizelge 3.4’de farklı elektrot malzemelerinin iletkenlik değerleri, uluslararası yumuşak bakır standardı IACS’e göre bakır’a endeksli oranlar olarak görülmektedir.

Çizelge 3.4. Elektrot Materyallerinin iletkenlik yüzdeleri

Elektrot Materyali	% IACS İletkenlik
Alüminyum (Al)	63
Pirinç (CuZn63/37)	20
Bakır (Cu)	100
Kurşun (Pb)	8
Molibden (Mo)	32
Çinko (Zn)	28

Piyasada yaygın kullanım bakır-çinko alaşımı olan pirinç tellerdir. Bunun dışında ince ve kalın tabakalı kompozit elektrotlar kullanılmaktadır. Kompozit teller yüksek kesme hızlarında uygulama yapmaya daha müsaittir. Kompozit telin özü; kırılma dayanımını arttırmak için çelik, ara tabakası elektrik iletkenliğini arttırması için bakır, sirkülasyonu (buharlaşma basıncı ile atık sirkülasyonu) sağlaması için dış tabakası pirinç olabilmektedir. Makine teknolojilerinin gelişmesiyle beraber TEY ile işlenen parçaların yüzey beklentileri de artmıştır, buna bağlı olarak tel erozyon tezgâhları da yüksek akım değerlerine

ulaşabilmektedir. Bu durum elektrotun gereksinimlerini arttırmaktadır. Bu gereksinimler teldeki çeşitliliğin başlıca sebeplerini oluşturmaktadır.

Çalışmada 0,25 mm çapında, makara ağırlığı 5 kg. olan 1000 N/mm² çekme dayanımına sahip bakır çinko alaşımı CuZn37 pirinç tel kullanılmıştır. Tel elektrotun kimyasal kompozisyonu çizelge 3.5’de ve görselleri resim 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Pirinç Tel Kimyasal kompozisyonu

Alaşım		Cu (%)	Zn (%)	Al (%)	Fe (%)	Ni (%)	Pb (%)	Sn (%)	Mn (%)
CuZn37	min.	62	Rest	-	-	-	-	-	-
	max.	64		0,05	0,1	0,3	0,1	0,1	



Resim 3.2. Çalışmada kullanılan pirinç tel elektrotlar

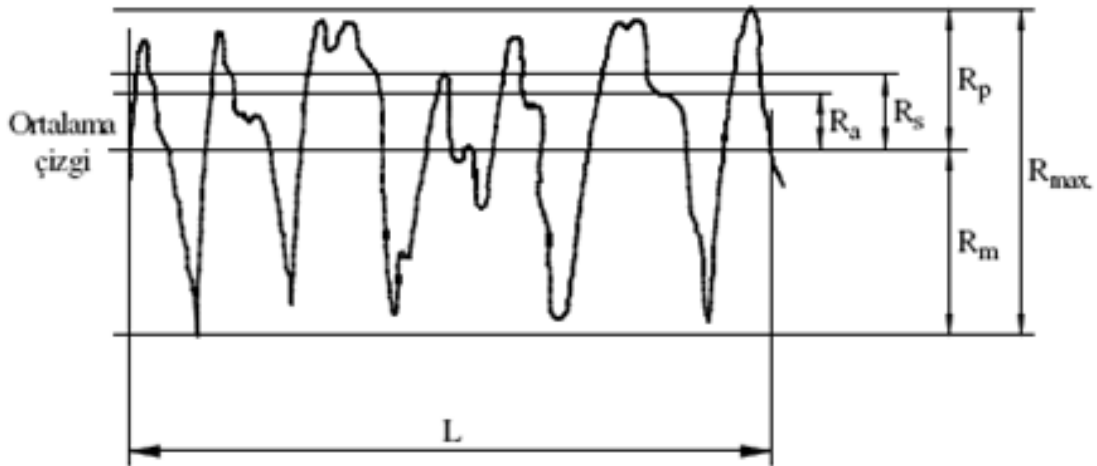
3.1.4. Yüze pürüzlülük ölçüm cihazı

İmalat teknolojilerinin gelişmesiyle beraber birçok ürünün kalite kriteri haline gelen minimum yüze pürüzlülük (YP) değeri çalışmamızın da performans kriteridir. Yüze pürüzlülüğünün minimum istenmesinin temel sebebini; YP değerinin küçülmesiyle kesit yüzeyindeki gerilmelerin azalarak, PP sıvının akışını kararlı hale getirmesi ve böylece oluşan filamentlerin ideal hacimlenmesinde, mukavemet kazanmasında etkili olmasıyla açıklayabiliriz. Çalışmada kullanılan yüze pürüzlülük ölçüm cihazı mitutoyo SJ-310 model hassas uçlu cihaz ve deney numunelerinin ölçümü resim 3.3’de görülmektedir. Bu cihaz ile altı farklı ölçüm standardına göre ölçme işlemi yapılabilmektedir.



Resim 3.3. Cihaz ekranı ve ölçüm probu

Ölçüm parametreleri oldukça geniş olmasına karşın ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan R_a 'ya bakılmıştır. Tel erozyonda kesilen parçaların ara mesafesi 5 mm olduğu için değerlendirme uzunluğu olarak seçilen L_d 2,5 mm olan JIS 01 standardına göre ölçüm alınmıştır. Cihazın çalışma mantığına bakıldığında; belirlenen değerlendirme uzunluğunu 10 eşit bölgelere ayrılarak (ayırma uzunluğu λ_c) 0,25 mm analiz etmekte, giriş ve çıkış bölgeleri oluşabilecek düzensizliklerden dolayı dikkate alınmadan R_a değeri hesaplamaları yapılmaktadır.



Şekil 3.4. Yüzey kalitesi sayısal değerleri (Yurtkuran, 2013)

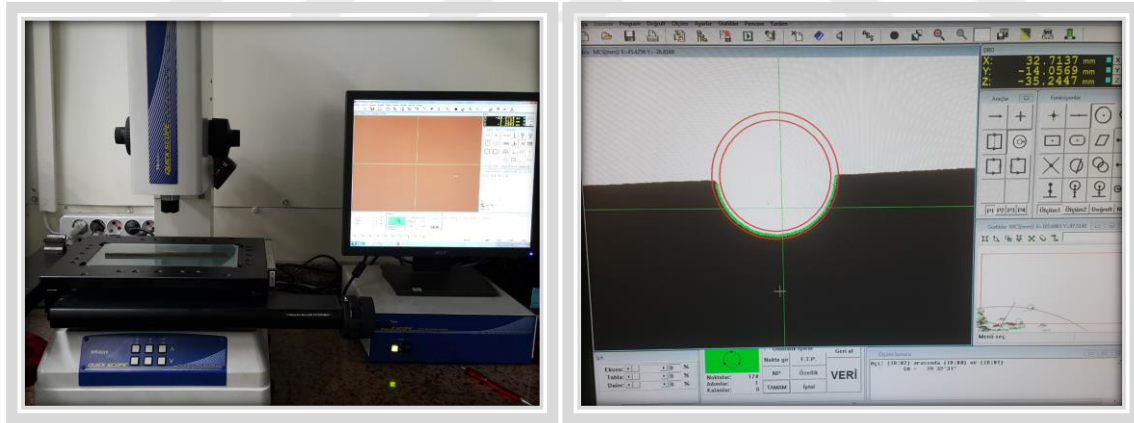
Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan R_a birçok imalatçı tarafından kontrol parametresi olarak kullanılmaktadır. R_a 'nın yanı sıra Maksimum YP için R_{max} , aritmetik ortalama çizgisi en yüksek pik $R_z(R_t, R_p)$ 'de kullanılmaktadır (Yurtkuran, 2013). Bir başka deyişle yüzeyde oluşan giriftlerin tepe noktası ve çukurlarının alan olarak eşitlendiği orta eksenin üstünde ve altında kalan alanların aritmetik ortalamasını veren çizgiler arasındaki

mesafe olan R_a profil yüzeyindeki düzensizliklerin ortalamasını oluşturması bakımın önemli bir kriterdir (Yurtkuran, 2013). Şekil 3.4’de ifade edilen durumun sayısal açıklaması denklem (3.1)’de görülmektedir.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (3.1)$$

3.1.5. Manuel görüntülü ölçüm makinası

Tel erozyonda kesimi yapılan deney numunelerinin dairesel kesilen kısımları mitutoyo marka quick scope model görüntülü ölçü alma cihazıyla kontrol edilmiştir. Cihaz $0,1 \mu\text{m}$ çözünürlük hassasiyeti ile noktalama yapmaktadır. İş parçası cihaz aydınlatması sayesinde ölçüm alınacak bölgelere keskin bir görüntü verilmektedir. Ayrıca 5 kata kadar aynı çözünürlükte büyütme imkânı vermektedir. Kesit ölçüleri küçük olduğu için bu ölçme yöntemi ideal olmaktadır. Resim 3.4’de kullanılan ölçüm cihazının görüntüsü ve numunelerin ölçümünün görüntüsü izlenmektedir.



Resim 3.4. Ölçüm cihazı ve kesit ölçümü monitör görüntüsü

BCF ipliğindeki hacimsel büyüklük ve mukavemet değerleri kesitin geometrik ve ölçüsel doğruluğu ile doğrudan ilişkilidir. Bunlarla beraber istenilen ölçüden büyük olması daha fazla PP tüketimi, daha küçük olması durumunda ise mukavemet kaybı anlamına geleceğinden kalıp kesitlerinin istenilen boyutlarda imal edilmesi önemlidir.

3.2. Yöntem

Araştırma tel erozyonda etkinliği yüksek olarak belirlenen voltaj, akım, puls süresi ve tel ilerleme hızı değerlerinin yüzey pürüzlülüğü ile ölçü tamlığı üzerine etkilerinin incelenmesini, en küçük en iyi prensibine uyacak optimum kesme koşullarının tayinini içermektedir. Araştırmada deneysel tasarım yöntemi olan taguchi metodu kullanılarak yapılacak deney sayısının azaltılması hedeflenmiştir, her iki performans kriteri içinde taguchi metoduna başvurulmuştur. Literatüre de bakıldığında hızlı bir şekilde sonuca varması ve düşük deney sayısı ile beraber düşük maliyetlerden dolayı, taguchi tercih edilen, yaygın bir yöntem olarak görülmektedir. Ayrıca verilerin karşılaştırmalı ve birbirine bağımlı istatistiksel analizi için faktöriyel varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

3.2.1. Taguchi deneysel tasarım metodu

Taguchi metodu (TM) 1950'li yıllarda süreçleri en iyileştirme tekniği olarak ortaya çıkmıştır. Tekniği dikkat çekici yapan durum, üretime geçiş maliyetleri arttırmadan çok fazla zaman ve para harcamadan tasarım geliştirmesidir (Yıldırım, 2011).

TM farklı parametrelerin farklı seviyeleri arasından en iyi kombinasyonu saptamada kullanışlı bir yöntemdir, onu kullanışlı yapan ise çıktı ile hedef değer arasındaki varyans'ın düşük olmasıdır, bu bağlamda araştırmamızın hedefine ulaşmada uygun görülmektedir. Parametrelerin tüm seviyeleri için oldukça fazla deney sayısı gerçekleştirmek gerekirken TM'de sadece ortogonal dizilerden faydalanarak daha düşük deney sayıları tercih edilmektedir.

Deneysel tasarım aracı TM'nin yapısını oluşturan aşamalar şöyle sıralanabilir; Sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı. Taguchi bu 3 aşama ile prosesi veya parametreleri iyileştirmeyi hedeflemektedir. Çalışmada mevcut bir sistemin parametrelerinin optimizasyonu yapılacağından doğrudan parametre tasarımına ve sonrasında tolerans tasarımına geçilmektedir. Parametre tasarımı, kalite karakteristiğini geliştirmek için prosenin parametrik değerlerinin optimum değerlerini tanımlamaya yaramaktadır (Aydoğdu, 2009). Parametre tasarımındaki aşamalar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

- Kalite Karakteristiklerinin ve tasarım parametrelerinin belirlenmesi

- Tasarım parametrelerinin etkileşim seviyelerinin belirlenmesi
- Ortogonal dizinin belirlenmesi ve uygun seviyelerin yerleştirilmesi
- Ortogonal diziye göre belirlenen sayısınca deneylerin gerçekleştirilmesi
- Deneysel sonuçları kullanarak Sinyal-Gürültü (S/N) oranlarının hesaplanması ve sonuçların analiz edilmesi
- En uygun tasarım parametrelerinin seçilmesi
- Doğrulama deneylerinin yapılması

Taguchi kısmi faktöriyel deney tasarımını “ortogonal dizi” adıyla tanımlanmıştır. Ortogonal dizi seçimi denklem (3.2)’de belirtildiği gibidir.

$$LX(Y^Z) \quad (3.2)$$

Denklemdaki “L” latin kare tabanlı, “X” tasarımdaki deney sayısı, “Y” deneydeki seviye sayısı ve “Z” deneyde kullanılacak faktör sayısını ifade etmektedir. Bu denkleme ait dizi seçimi çizelge 3.6’dan yapılmaktadır (Yıldırım ve İç, 2012). Denklemdaki Y ve Z faktörleri pratikte genellikle kullanılmaz, Y^Z taguchi metodu kullanılmadığı durumda yapılması gereken toplam deney miktarının sayısal değerini ifade etmektedir. Çalışmamızda parametrelerin seviyeleri küçük, orta ve büyük olmak üzere toplamda üç seviye olarak belirlenmiştir. Ancak başka bir çalışmada seviyeler iki veya beş seviyeli seçenekler de kullanılabilir. Araştırmada parametre sayısı, voltaj, akım, ulti süresi ve tel ilerleme hızı olmak üzere dördtür. Seviye sayısı 3 parametre sayısı 4 olan bir tasarıma göre çizelge 3.6’ya bakıldığında L9 olarak seçilmektedir. Ölçü tamlığı araştırmasında ise çap değeriyle beraber parametre sayısı 5 olmakta seviye sayısı 3 olarak kalmaktadır. Bu parametre sayısı ve seviye sayısına göre çizelge 3.6’ya bakıldığında L18 ortogonal dizilimin kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. Deneysel çalışmalarımızda kullanacağımız dizilimler bu şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. Taguchi ortogonal dizi seçim çizelgesi

Parametre Sayısı	Seviye Sayısı		Ortogonal Dizisi	3		4		5	
	P	S		P	S	P	S	P	S
	2	2							
P=2	S=2		L4	P=2	S=3	P=2	S=4	P=2	S=5
P=3	S=2			P=3	S=3	P=3	S=4	P=3	S=5
P=4	S=2			P=4	S=3	P=4	S=4	P=4	S=5
P=5	S=2		L8	P=5	S=3	P=5	S=4	P=5	S=5
P=6	S=2			P=6	S=3	P=6	S=4	P=6	S=5
P=7	S=2			P=7	S=3	P=7	S=4	P=7	S=5
P=8	S=2			P=8	S=3	P=8	S=4	P=8	S=5
P=9	S=2		L11	P=9	S=3	P=9	S=4	P=9	S=5
P=10	S=2			P=10	S=3	P=10	S=4	P=10	S=5
P=11	S=2			P=11	S=3			P=11	S=5
P=12	S=2			P=12	S=3			P=12	S=5
P=13	S=2		L16	P=13	S=3				
P=14	S=2			P=14	S=3				
P=15	S=2			P=15	S=3				
P=16	S=2			P=16	S=3				
P=17	S=2			P=17	S=3				
P=18	S=2			P=18	S=3				
P=19	S=2			P=19	S=3				
P=20	S=2			P=20	S=3				
P=21	S=2			P=21	S=3				
P=22	S=2			P=22	S=3				
P=23	S=2		L32	P=23	S=3				
P=24	S=2								
P=25	S=2								
P=26	S=2								
P=27	S=2								
P=28	S=2								
P=29	S=2								
P=30	S=2								
P=31	S=2								

Süreç iyileştirmedeki en önemli bölüm olan parametre tasarımında en düşük yüzey pürüzlülüğü ve en düşük ölçü sapmasına etkili incelenecek olan parametreler voltaj , akım, puls süresi ve tel ilerleme hızı olarak belirlenmişti. Bu parametrelerin en iyi seviye seçimiyle beraber, tel erozyon kesimini olumsuz etkileyecek kontrolü mümkün olmayan etmenleri belirlemek gerekmektedir. Bu parametrelerin etkileri minimize edilerek deneyde kullanılan parametreler güçlendirilmiş olunur.

Parametrelerin tasarımını takip eden proses tolerans tasarımıdır, bu bölümde ortogonal diziye göre yapılan deneylerde sonucun hedeften olan sapmalarının yüksek olması durumunda veya oluşan sapmanın kaynağı olan kayıplar bulunur ve sapma değeri azaltılmaya çalışılır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009). Taguchi'nin kayıp denklemi olarak tanımlanan, bununla beraber Sinyal/Gürültü oranı (S/N : Sinyal /Noise Ratio) olarakta bilinen üç farklı iyileştirme tercihinin uygun fonksiyon bulunmaktadır (Gökçe ve Taşgetiren, 2009). Bu denklemler en küçük en iyi, en büyük en iyi ve nominal en iyi durumuna göre farklılıklar göstermektedir. Çalışmamızda en küçük en iyi prensibi kullanılacaktır, bu prensibe göre taguchi'nin belirlediği denklem (3.3)'de görülmektedir.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (3.3)$$

Denklem (3.3) 'deki eşitlikte “ y_i ” performans yanıtını, “ i ” gözlem değerini, “ n ” bir denemede test sayısını ifade etmektedir.

S/N oranı büyüdükçe hedef etrafındaki varyanslar küçülmektedir. S/N değerinin büyümesi tercih edilir bir durum olacaktır, çalışmalarda amaçta S/N değerinin maksimize olmasıdır. Yani sinyal değerinin yüksek, gürültü değerinin veya bir başka deyişle değişkenliğin azalması demektir (Durmaz, 2008).

Araştırmanın deneysel tasarım süreçlerinde TM'nin seçilerek kullanılmasındaki etkeni açıklamak gerekirse; literatür incelemesine bakıldığında taguchi metodunun bir çok akademik ve bilimsel çalışmalarda kullanıldığı ve başarılı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Literatür çalışmalarının birkaç örneğini aşağıda görmekteyiz.

Kopaj ve Krajnik, (2007) yaptıkları çalışmalarında enjeksiyon kalıplarında kullanılan alüminyum alaşımlı döküm plakalarının tornalamasında kullanılan kesme parametrelerini taguchi metodu kullanarak en iyi seviyelerini belirlemiştir. Bununla beraber yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin bileşkesi minimize edilerek talaş kaldırma miktarı arttırılmıştır.

Bir diğer çalışmayı yapan Durmaz, (2008) kauçuk işleme prosesinde TM kullanarak kalitede oluşan kayıpları önlemek istemiştir. Ürünü ve prosesi etkilediğini düşündüğü yedi farklı

parametre belirlemiştir. Bu parametreler doğrultusunda uygun ortogonal diziye göre deneylerini gerçekleştirmiş ve parametrelerin sonuca etkisini incelemiştir. Bunun sonucunda en uygun üretim şartlarını tespit etmiştir. En uygun üretim şartları sağlanarak yapılan üretimde hatalı çıkan ürün % 60 kadar azalmıştır.

3.2.2. Varyans analizi

Tel erozyonla işleme, tezgâh kaynaklı ve dış kaynaklı olmak üzere kontrol edilebilir işlem parametreleri oldukça geniş karmaşık bir imalat yöntemidir. Yapılan literatür araştırması gösteriyor ki; Bu değerler arasında akım, voltaj, tel ilerleme hızı ve puls süresi kesme performansını etkileyen önemli parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değerlerin birbirleriyle olan ilişkileri ve sonuca olan etkileri bakımından farklılık gösterdiği bilinmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel metotlar kullanılarak yorumlanmasına ve bu yorumlara göre karar verilmesine ihtiyaç vardır. ANOVA tamda bu noktada çalışmada katkı sağlayacak istatistiksel bir araçtır (Durmaz, 2008). Deneysel tasarımların çıktılarını yorumlayıp karar vermede yardımcıdır, o bakımdan her deneysel tasarım çalışmasının farklı metotlarda kullanılsa varyans analizinin gerekli olduğunu söyleyebiliriz. Bu metot 1930'larda istatistikçi Fisher tarafından geliştirmiştir, varyans analizi isminin baş harfi olan F-Testi olarak da adlandırılmaktadır. ANOVA iki veya üç kademeli taguchi dizilerinin analizlerinde kullanılmaktadır. Aşağıda varyans analizine ait bazı denklemler verilmektedir (Durmaz, 2008).

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N y_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{Tüm verilerin kareleri toplamını vermektedir.} \quad (3.4)$$

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad : \text{A faktörünün kareleri toplamını vermektedir.} \quad (3.5)$$

$$SS_o = \sum_{j=1}^{k_A} \sum_{i=1}^{n_{A_j}} (y_i - A_j)^2 \quad : \text{Hata Kareleri toplamını vermektedir.} \quad (3.6)$$

$$SS_T = SS_A + SS_o \quad : \text{Tüm verilerin kareleri toplamını vermektedir.} \quad (3.7)$$

Yukarıdaki formülde görüldüğü üzere A faktörünün kareleri toplamı ile hata kareleri toplamı tüm verilerin kareleri toplamına eşittir.

$$v_A = k_A - 1 \quad ve \quad v_{AxB} = v_A \times v_B \quad (3.8)$$

A'nın serbestlik derecesi denklem (3.8)'de görüldüğü üzere kademe sayısından 1 çıkartılarak bulunmaktadır. Ayrıca iki farklı faktörün birbirleriyle olan etkileşimlerinin serbestlik derecesi birbirlerinin serbestlik derecelerinin çarpımlarıyla bulunmaktadır. Varyans analiziyle ilgili verilen denklemlerdeki tanımlamaları aşağıdaki gibi görebiliriz.

- SS_T : Tüm değerlerin kareleri toplamı
- SS_A : A faktörünün kareleri toplamı
- SS_O : Hata kareleri toplamı
- V_T : Toplam serbestlik derecesi
- V_A : A faktörünün serbestlik derecesi
- V_{AxB} : A ve B'nin etkileşiminin serbestlik derecesi
- V_O : Hata varyansı
- N : Elde edilen toplam veri sayısı
- n_A : A faktörü için veri sayısı
- T : Mevcut tüm verilerin aritmetik ortalaması
- Y_i : Gözlenmiş i. Değer
- k_A : A faktörünün kademe sayısı

Toplam serbestlik derecesi, toplam veri (deney) sayısından 1 çıkarmak ile bulunur ve tüm parametreleri serbestlik derecesiyle hata serbestlik derecelerinin toplamına da eşittir. Bununla ilgili formüller ise aşağıda verilmektedir (Durmaz, 2008).

$$v_T = N - 1 \quad (3.9)$$

$$v_T = v_A - v_O$$

$$v_O = v_T - v_A$$

Parametrelerin varyansı kareler toplamının serbestlik derecesine bölünmesiyle bulunmaktadır. Bu denklemler sonuçlandırıldıktan sonra F testi yapılacaktır. Teorik F değeri parametrenin varyansının hata varyansına bölünmesiyle bulunmaktadır (Durmaz, 2008). Formüller (3.10)'da verilmiştir.

$$V_A = SS_A/v_A \quad (3.10)$$

$$V_O = SS_O/v_O$$

$$F = V_A/V_O$$

Elde edilen F değeri, hata ve parametre varyansı ile karşılaştırılarak güven seviyesi (1-a) anlaşılmaktadır. Eğer parametrenin serbestlik derecesi 1'e eşitse bu parametre için riskin (a) olmadığı anlamına gelmektedir. Çalışmada S/N oranına göre varyans hesabı yapmak için F testinin gerekli olduğu (Durmaz, 2008)'nin taguchi ile ilgili çalışmasından anlaşılmaktadır.

Deneysel tasarım çalışmasıyla, kesme parametrelerinin en küçük yüzey pürüzlülüğünün oluşması için gerekli parametreler kombinasyonu, kesme parametrelerinin performans kriterlerine tekil ve bileşkeli olarak etkileri anlaşılabilecektir. Doğrulama deneyleri S/N oranının büyük, varyansın küçük olduğu en uygun kombinasyonun değerleri kullanılarak yapmak gerekmektedir.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. Deney Numunelerinin Hazırlığı, İşleme ve Ölçme

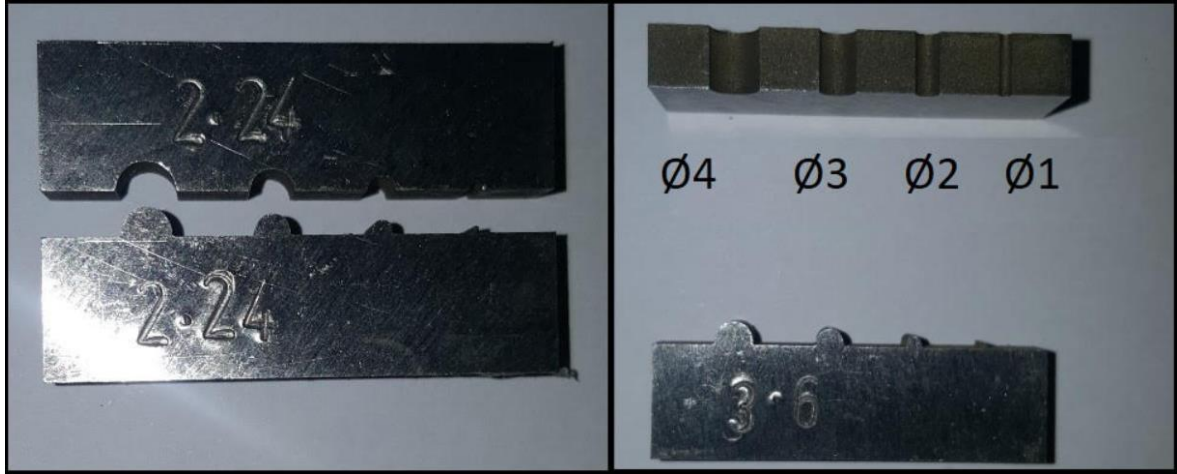
Çalışmada EN 1.4057 martenzitik paslanmaz çelik malzeme 20x100x160 mm ölçülerindeki plakalardan testere tezgahı, dik işleme merkezi ve taşlama tezgahları kullanılarak 5x10x40 mm ölçülerine getirilmiştir. Parçalar tel erozyon tezgâhına her iki tarafı taşlanmış yüzeylerinden oturtularak erozyon ile kesme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalardaki parametreler; Voltaj, akım, puls süresi ve tel ilerleme hızı olacaktır. Bu parametrelerin her biri için 3 farklı seviyede değerler atanmıştır. Seviyeler düşük, orta ve yüksek olacak şekilde ayarlanmıştır. Başlangıç değerleri imalatçı firmanın kullanım değerlerini çeşitlendirilerek elde edilmiştir. Parametreler ve ilgili seviyeler çizelge 4.1'den izlenmektedir.

Çizelge 4.1. Kontrol edilen kesme parametreleri ve seviyeler

Uygulama aralığı	1-150 V	1-18 A	1-8 ms	1-16 m/dk
Parametre	Voltaj (V)	Akım (A)	Puls (on) Süresi (μ s)	Tel İlerleme Hızı (m/dk)
Seviye 1	50	7	1	3
Seviye 2	44	9	2	4
Seviye 3	38	11	3	5

Parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne ve farklı çaplarda ölçü tamlığına etkileri araştırılacaktır. Taguchi'nin başlangıç evresi olan parametre tasarımı böylelikle belirlenmiştir. 4 parametrelilikte 3 seviyeli bir sistemde 3^4 deney gerçekleştirilebilir. Doğrulama deneyleri ve sistemin genel kontrolü için de 81 adet deney parçası işlenmiştir. Örneğin voltaj seviyesinin her birine göre 27 adet deney oluşturarak numaralandırma yapılmıştır (1.1 ile 3.27 arası). Her deney değerlerinin değişiminde yeni parametre girişi yapılarak deneye devam edilmiştir. Bu silsile 81 parça boyunca yapılmıştır. Deneye ait parçalar, kodlama ve ölçüleriyle beraber resim 4.1'de verilmiştir.



Resim 4.1. Deney ölçüleri ve tel erozyonda kesilen parçalar

Kesilen parçaların görüntülü ölçüm sistemiyle çap ölçümü sırasında dairesel kesitli bölgelerin giriş ve çıkış noktalarında yığılmalar görülmüştür. Çap ölçümü yaparken köşelerdeki yığılmalar dikkate alınmamıştır. Telin dönüş aldığı bu noktalarda kesme koşullarının kararlılığını yitirdiği düşünülmektedir. Bu durumun kesitlerin istenilen ölçüde üretilmesinde önemli bir sorun olması bakımından ayrıca araştırılması gereken bir konu olduğu söylenebilir.

Taguchi'nin ortogonal dizilerine göre yüzey pürüzlülüğü araştırmasında 4 parametre 3 seviyeli parametre tasarımı için L9 ortogonal dizisini kullanmamız gerektiğini çizelge 3.6'ya bakarak anlıyoruz. Ölçü tamlığında ise çap değeriyle beraber parametre sayısı 5'e çıkarak seviye yine 3 olarak kalmaktadır. Ölçü tamlığının kontrolü için oluşturduğumuz parametre tasarımı için çizelge 3.6'ya bakıldığında taguchi bizi L18 ortogonal dizisine yönlendirmektedir. Yüzey pürüzlülüğü çalışması için L9 dizilerden doğan değerler çizelge 4.2'de verilmektedir. Yüzey pürüzlülük ölçümleri kesim eksenine dik pozisyonda alınmıştır böylelikle telin hareketinden kaynaklı izlerin kontrolü sağlanmıştır.

Çizelge 4.2. L9 dizilimine göre deney değerleri ve YP sonuçları

Taguchi Metoduna göre L9 Serisi Deneyleri								
Prensip: En Küçük En iyi Yüzey pürüzlülüğü								
Deney Parça Kod:	Voltaj(V)	Akım(A)	Puls(P _{on})	Tel İlerleme Hızı(F _w)	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama Ra (µm)
3.14	50 (V ₁)	7 (A ₁)	1 (P ₁)	3 (F ₁)	2,230	2,190	2,190	2,203
3.01	50	9 (A ₂)	2 (P ₂)	4 (F ₂)	2,280	2,260	2,240	2,260
3.27	50	11 (A ₃)	3 (P ₃)	5 (F ₃)	3,220	3,250	3,260	3,243
1.12	44 (V ₂)	7	2	5	2,730	2,810	2,720	2,753
1.08	44	9	3	3	3,340	3,340	3,310	3,330
1.22	44	11	1	4	3,190	3,220	3,110	3,173
2.16	38 (V ₃)	7	3	4	2,730	2,780	2,770	2,760
2.06	38	9	1	5	2,630	2,680	2,670	2,660
2.20	38	11	2	3	3,050	3,000	3,000	3,017

Çizelge 4.2'deki ortalama R_a değeri için her bir noktadan 3 defa ölçüm alınmıştır. Analizlerin tamamı bu aritmetik ortalaması alınmış R_a değerine göre yapılmıştır. Yukarıda belirtilen parametreler ve bunların bileşkesinden oluşan yüzey pürüzlülük yanıtından faydalanarak taguchi yöntemiyle deneysel tasarım gerçekleştirilecektir.

Ölçü tamlığının analizi için kullanılacak olan L18 taguchi tasarımında kullanılan değerler ve ölçüm sonuçlarının hedef değerden sapmaları çizelge 4.3'de verilmektedir.

Çizelge 4.3. L18 Taguchi dizilimine göre deney değerleri ve ölçü sapması sonuçları

Taguchi Metoduna göre L18 Serisi Deneyleri								
Prensip: En Küçük En iyi Ölçü sapması								
Deney Parça No:	Voltaj (V)	Akım (A)	Puls (P _{on})	Tel İlerleme Hızı(F _w)	Çap (D)	Ref değer (mm)	Ort Ölçüm (mm)	Sapma (mm)
3.14	50	7	1	3	2	2,0000	2,0197	-0,0197
3.01	50	9	2	4	3	3,0000	3,0480	-0,0480
3.27	50	11	3	5	4	3,0000	3,0197	-0,0197
3.12	50	7	2	5	3	4,0000	4,0377	-0,0377
3.08	50	9	3	3	4	4,0000	4,0307	-0,0307
3.22	50	11	1	4	2	2,0000	2,0380	-0,0380
1.16	44	7	3	4	4	4,0000	4,0040	-0,0040

Çizelge 4.3. (Devamı) L18 Taguchi dizilimine göre deney değerleri ve ölçü sap. sonuçları

1.06	44	9	1	5	2	2,0000	2,0133	-0,0133
1.20	44	11	2	3	3	3,0000	3,0217	-0,0217
1.13	44	7	1	4	2	2,0000	1,9997	0,0003
1.03	44	9	2	5	3	3,0000	3,0080	-0,0080
1.26	44	11	3	3	4	4,0000	4,0590	-0,0590
2.11	38	7	2	3	3	3,0000	2,9960	0,0040
2.07	38	9	3	4	4	4,0000	4,0017	-0,0017
2.24	38	11	1	5	2	2,0000	2,0140	-0,0140
2.18	38	7	3	5	4	4,0000	4,0307	-0,0307
2.05	38	9	1	3	2	2,0000	2,0233	-0,0233
2.19	38	11	2	4	3	3,0000	3,0473	-0,0473

4.2. Taguchi Uygulaması ve Parametrelerin Etkinliği

4.2.1. Yüzey pürüzlülük analizi

Parametre sayısı 4 olan 3 seviyeli taguchi tasarımında L9 ortogonal dizisinden faydalanılmıştır. Bu dizi için 9 farklı deney gerçekleştirilmiştir. Her deney parametrelerin farklı seviyelerinin kombinasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Değişkenlere ait seviyelerin kodlamaları çizelge 4.2’de görülmektedir. Yüzey pürüzlülük sonuçlarını ve toplam ortalama yüzey pürüzlülük değeri çizelge 4.4’de verilmektedir. En düşük YP değerinin 1. deneyde en yüksek YP değerinin ise 5. deney kombinasyonunda elde edildiği çizelgeden görülmektedir.

Çizelge 4.4. L9 Deney seviye kombinasyonu ve yüzey pürüzlülük yanıt tablosu

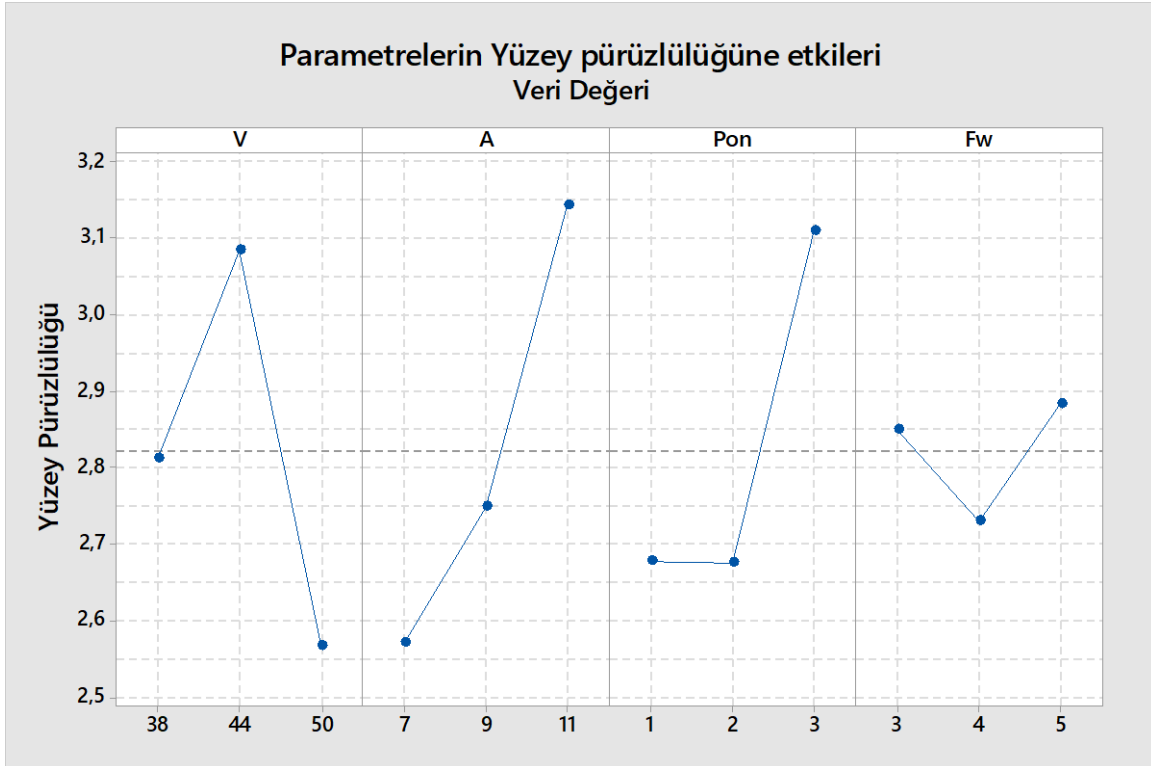
Deney no	Seviye		Ölçülen YP
	kombinasyonu		
1. Deney	V ₁ A ₁ P ₁ F ₁		2,203
2. Deney	V ₁ A ₂ P ₂ F ₂		2,260
3. Deney	V ₁ A ₃ P ₃ F ₃		3,243
4. Deney	V ₂ A ₁ P ₂ F ₃		2,753
5. Deney	V ₂ A ₂ P ₃ F ₁		3,330
6. Deney	V ₂ A ₃ P ₁ F ₂		3,173
7. Deney	V ₃ A ₁ P ₃ F ₂		2,760
8. Deney	V ₃ A ₂ P ₁ F ₃		2,660
9. Deney	V ₃ A ₃ P ₂ F ₁		3,017
TRa (Toplam Ortalama YP)			2,822

En düşük YP değeri için parametrelerin seviyelerinin kombinasyonunun bulunması için S/N oranlarına bakılması gerekmektedir. Bunun için deneydeki seviye kombinasyonlarının S/N oranları tespit edilmiştir. Bu uygulamada çalışmadaki yöntem başlığında S/N ile ilgili formüllerden bulunabilmektedir. Ancak oluşturulan tablo değerleri minitab 18 analiz programından faydalanılarak elde edilmiştir. Çizelge 4.5’da yüzey pürüzlülük değerlerine karşılık gelen S/N oranları verilmiştir.

Çizelge 4.5. Seviye kombinasyonlarının S/N oranları tablosu

Deney no	Seviye kombinasyonu	S/N Oranı
1. Deney	$V_1A_1P_1F_1$	-6,860
2. Deney	$V_1A_2P_2F_2$	-7,082
3. Deney	$V_1A_3P_3F_3$	-10,219
4. Deney	$V_2A_1P_2F_3$	-8,796
5. Deney	$V_2A_2P_3F_1$	-10,449
6. Deney	$V_2A_3P_1F_2$	-10,029
7. Deney	$V_3A_1P_3F_2$	-8,818
8. Deney	$V_3A_2P_1F_3$	-8,498
9. Deney	$V_3A_3P_2F_1$	-9,592

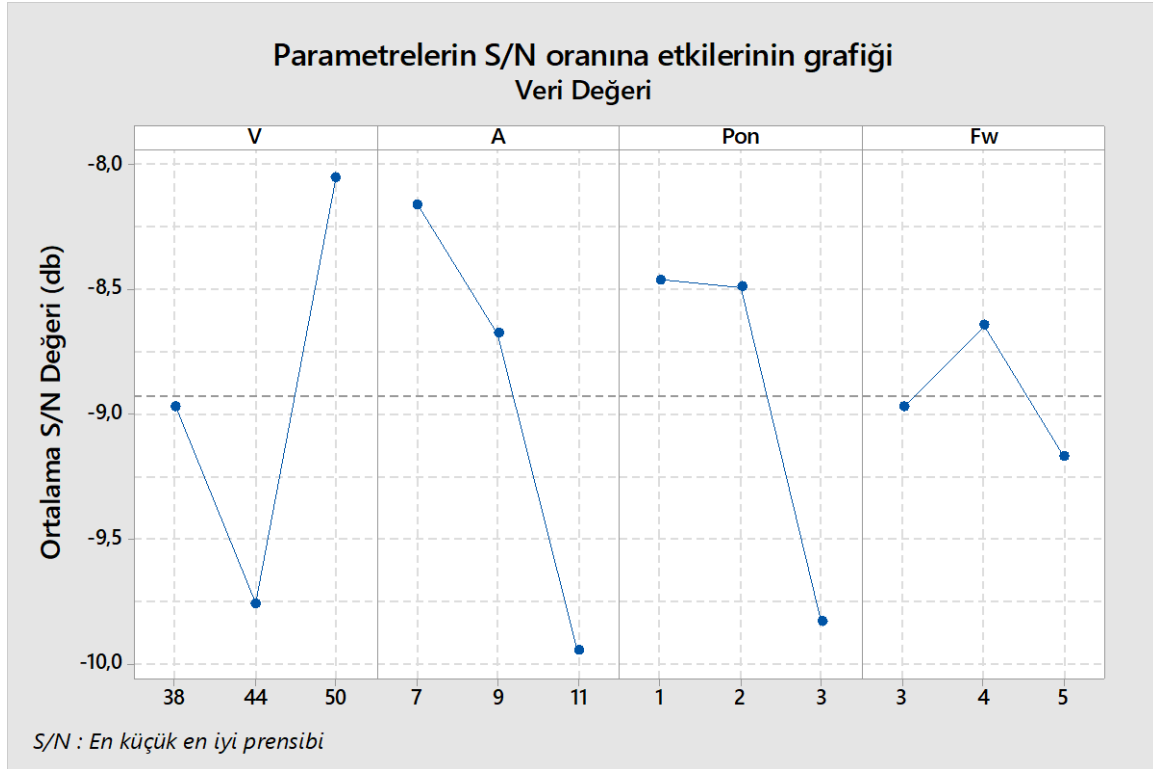
Tel erozyonda kesme işleminin kompleks, geleneksel olmayan talaş kaldırma yöntemi olduğu belirtilmekte, araştırmada kontrol parametrelerinin dışında kalan değerler sabit sayılmaktadır. Ayrıca bileşik taguchi analizi bileşik etkiler de göz ardı edilerek gerçekleştirilecektir. Yani V_1 faktörü ile A_1 faktörünün bileşkeli etkisi olan $V_1 \times A_1$ dikkate alınmamıştır. Parametrelerin S/N oranlarına etkilerinin grafiği şekil 4.2’de kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri ise şekil 4.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Kesme parametrelerinin YP yanıt grafiği

Yukarıdaki grafiklere bakıldığında parametrelerin yüzey pürüzlülüklerine etkileri görülmektedir. Akım değeri arttıkça YP değerinin arttığı, aynı zamanda puls süresinin nominal seviyeyi geçtikten sonra daha fazla artış durumunda YP değerinin arttığı gözlemlenmiştir. Voltaj ve tel ilerleme hızındaki anlamlı olmayan grafik, diğer parametrik değerlerle etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

S/N oranı taguchi'nin sinyal/gürültü oranıdır. Bir parametrenin sinyal değeri yüksek gürültü değeri düşük olması parametreyi optimum seviyeye götürmektedir. Şekil 4.2'de gösterilen S/N ve parametre diyagramına bakılarak, S/N değerlerinin en yüksek olduğu parametre seviyeleri seçilerek optimum kombinasyon tespit edilmiştir. Başka bir deyişle optimum kesme değerleri parametrelerin ortalama S/N oranları ile bulunmuştur.



Şekil 4.2. Parametrelerin S/N oranına etkilerinin grafiği

Şekil 4.2'de g¼¼sterilen parametrelerin t¼¼m seviyelerindeki S/N oranı ¼izelge 4.6'da verilmektedir. ¼izelge 4.6'da parametre seviyelerinin en y¼¼ksek S/N oranı optimum seviye olarak tayin edilmiş ve t¼¼m parametreler i¼in aynı yaklaŐımda bulunularak en d¼¼Ő¼k y¼zey p¼r¼zl¼l¼đ¼ i¼in olması gereken parametre kombinasyonu $V_1A_1P_1F_2$ olarak belirlenmiştir.

¼izelge 4.6. Kesme Parametrelerinin S/N oranı yanıt ¼izelgesi

Kesme Parametreleri	Parametrelerin Ort. S/N oranı (db)			Fark	Sıralama
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3		
V	-8,054**	-9,758	-8,969	1,704	2
A	-8,158**	-8,676	-9,947	1,789	1
Puls T_{on}	-8,462**	-8,490	-9,829	1,367	3
F_w	-8,967	-8,643**	-9,171	0,528	4

** Optimum YP i¼in seviyeler, Fark: Mak-min

Sinyal değerinin b¼y¼k hata değerinin k¼¼k olduğu en b¼y¼k S/N değeri ile elde edilen optimum seviyelere karşılık gelen ortalama y¼zey p¼r¼zl¼l¼k değeri tablosu da ¼izelge 4.7' de verilmektedir.

Çizelge 4.7. Ortalama yüzey pürüzlülük tablosu

Kesme Parametreleri	Yüzey Pürüzlülük Ortalaması			Max – min farkı seviye sıralaması
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	
V	2,569**	3,085	2,812	2
A	2,572**	2,750	3,144	1
T _{on}	2,679**	2,677**	3,111	3
F _w	2,850	2,731**	2,885	4

** Optimum YP için seviyeler

Ortalama yüzey pürüzlülük yanıt tablosuna bakıldığında ise optimum seviyeler puls süresinin seviyelerindeki birbirine çok yakın olmasından dolayı iki farklı optimum seviye kabul görebilecektir. $V_1A_1P_1F_2$ ve $V_1A_1P_2F_2$ iki farklı optimum seviyeden ilki S/N oranına göre bakılan optimum seviyeler ile aynı çıkması bakımından $V_1A_1P_1F_2$ değerleri optimum olarak kabul edilmiştir.

Ayrıca S/N oranına ve yüzey pürüzlülük değerlerinin seviye farkları sıralamasına bakıldığında sıralamaların aynı olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözleme dayanarak bileşkeli etkileri dikkate almayan tek düzeyli taguchi tasarımına göre, yüzey pürüzlülük değerine katkı sırasını akım, voltaj, puls süresi ve tel ilerleme hızı olarak tanımlanabilir.

Taguchi ile yapılan değerlendirmelerin sapmasını ve güvenilirliğini doğrulamak ve parametrelerin değerlendirmesini yapmak için varyans analizine başvurulmuştur. F testi, değişkenlerin normal dağılıma sahip olup olmadığını yada başka bir deyişle yüzey pürüzlülük yanıtlarının normalden olan sapmaları ve kabul edilebilirliği hakkında fikir vermektedir. Anova analizinde parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve bu etkileşimlerin sonuca olan bileşkeli katkısı irdelenmemiştir. Anova değerlendirmelerinde analizler % 95 güvenilirlik seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca F testi tablo ve grafiklerinde minitab 18 analiz programından faydalanılmıştır. Çizelge 4.8’de yüzey pürüzlülük değerlerine göre anova tablosu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Yüzey Pürüzlülük Değerlerine göre Anova Tablosu

Parametreler	Serbestlik Derecesi	SS Kareler Toplamı	Adj SS	MS Kareler Ortal.	F	P	Oransal Katkı Değeri
Voltaj	1	0,0891	0,0891	0,0891	0,76	0,432	%10
Akım	1	0,4913	0,4913	0,4913	4,2	0,11	%57
Puls (on)	1	0,2804	0,2804	0,2804	2,4	0,196	%32
Tel İlerleme Hızı	1	0,0019	0,0019	0,0019	0,02	0,905	%1
Hata	4	0,4677	0,4677	0,1169			
Toplam	8	1,3304					

S = 0,341956 R-Sq = 64,84% R-Sq(adj) = 29,68%

P değerinin 0,1 seviyelerine kadar güven vereceği söylenebilir, ancak akım parametresinin P değeri dışında, diğer parametrelerin P değerleri 0,1 güven düzeyinin çok üzerinde çıkmıştır. Bu tabloya bakılarak akım değeri tek başına büyük etkiye sahip olduğunu ve bileşkeli etkilere bağlı olmaksızın sonuca katkısının olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 4.8'den anlaşıldığı üzere sırasıyla katkı değerleri %57 ile akım, %32 ile puls süresi % 10 ile voltajdır. Tel ilerleme hızının ise diğer parametrelere karşın katkısı gözlemlenmemiştir. Voltaj, puls süresi ve tel ilerleme hızı değerlerinin, P değerinin yüksekliğine bağlı anlamlı olmayışında, parametrelerin etkilerinin doğrusal (lineer) ve bağımsız olmadığını veya işletme koşullarının kararsız olduğunu anlayabiliriz. Bu durum taguchi'den elde edilen şekil 4.2'deki S/N oranlarının diyagramında da görülmektedir.

Çizelge 4.9. S/N oranına göre Anova tablosu

Parametreler	Serbestlik Derecesi	SS Kareler Toplamı	Adj SS	MS Kareler Ortal.	F	P	Oransal Katkı Değeri
Voltaj	1	1,257	1,257	1,257	1,09	0,355	% 14
Akım	1	4,798	4,798	4,798	4,16	0,111	%54
Puls (on)	1	2,800	2,800	2,800	2,43	0,194	%32
Tel İlerleme Hızı	1	0,062	0,062	0,062	0,05	0,827	%0
Hata	4	4,613	4,613	1,153			
Toplam	8	13,530					

S = 1,07395 R-Sq = 65,90% R-Sq(adj) = 31,80%

Çizelge 4.9'daki durum yüzey pürüzlülük değerlerinden alınan anova tablosu ile benzerlik göstermektedir. Performans kriterine olan katkı sıralaması çizelge 4.8'den anlaşılacağı üzere aynı çıkmıştır.

Taguchi deneysel tasarımının verdiği optimum kesme parametreleri $V_1A_1P_1F_2$ olarak tayin edilmiştir. Optimum koşullar L9 dizilimiyle yapılan deneysel çalışmaların içerisinde bulunmayan seviyelerdir. Tahmini taguchi değeri her bir faktörün optimum seviyelerindeki yüzey pürüzlülüklerinin toplamından, L9 dizilimine göre yapılan her bir deneydeki toplam yüzey pürüzlülük değerlerinin ortalamasının üç (faktör sayısından bir eksiği) katının çıkartılmasıyla elde edilmektedir (Evran, 2009). Tahmini taguchi yüzey pürüzlülük değer formülü (4.1)'de verilmektedir.

$$\mu_{sRa} = R_{aV1} + R_{aA1} + R_{aP1} + R_{aF2} - 3R_{aST} \quad (4.1)$$

$$R_{aV1} = 2,569$$

$$R_{aA1} = 2,572$$

$$R_{aP1} = 2,679$$

$$R_{aF2} = 2,731$$

$$R_{aST} = 2,823 \mu\text{m}$$

Formül neticesinden bulunan değerler minitab programı ile teyit edilerek aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu programda hem en küçük yüzey pürüzlülük değeri için tahmini değer elde edilmiş hem de en yüksek yüzey pürüzlülük değeri için tahmini değerler elde edilmiştir. Her iki durumda doğrulama deneyleriyle teyit edilmiş ve çizelge 4.10'daki değerler görülmüştür. En yüksek yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği $V_2A_3P_3F_3$ ve en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği $V_1A_1P_1F_2$ değerleri çizelge 4.7'den alınmıştır. En yüksek yüzey pürüzlülük tahmini için herhangi bir formülasyon kullanmak yerine minitab programı yardımcı olarak kullanılmış ve çizelge 4.10'daki değer bulunmuştur.

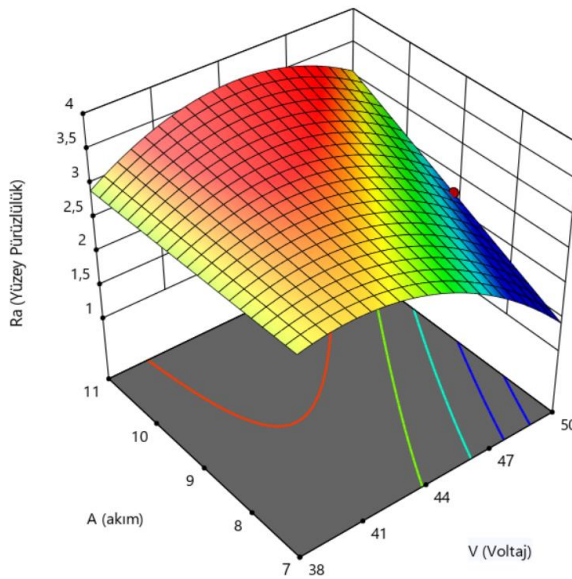
Doğrulama deneyleri neticesindeki sonuçlar, optimum tayin edilen değerlerle elde edilen tahmini sonuçlardan uzak seviyelerdedir, ancak mantıksal yaklaşım ile optimum koşullardaki doğrulama sonucunun deney değerlerine göre düştüğü gözlemlenmiş ve çalışma doğrulama deneyiyle anlamlı çıkmıştır.

Çizelge 4.10. Optimum kesme koşullarının doğrulama ve taguchi karşılaştırması

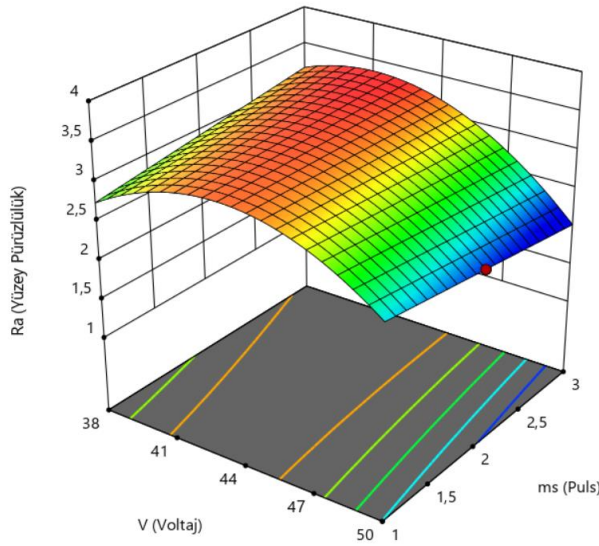
		Taguchi Tahmini YP	Deneyel Doğrulama
		değeri	Sonucu
		Ra (μm)	Ra (μm)
Optimum Seviyeler	V ₁ A ₁ P ₁ F ₂	2,082	2,193
Optimumdan en uzak seviyeler	V ₂ A ₃ P ₃ F ₃	3,759	3,551

L9 serisi deneylerine göre yapılan deneylerin sonuçları “design expert 11” programı ile yanıt yüzeyleri incelenmiştir. Taguchi sonuçlarındaki maksimum ve minimum yüzey pürüzlülük değerlerin oranları 1,51 seviyelerinde çıkmaktadır. Buna bağlı olarak yüzey yanıt değerlerinin dönüşümü tipik lineer olarak seçilmiştir. Yüzey dönüşüm modelinin uygulanması için yanıtın maksimumun minimuma oranlarının 10 ‘dan büyük olması gerekmektedir.

Anova analizinde faktörlerin bileşkeli etkilerini incelenmemiştir, ancak design expert 11 programı ile elde ettiğimiz yüzey yanıt grafiklerinde F değeri sonuçları faktörlerin kübik etkisine de bakılarak elde edilmiştir. Çalışmadaki grafikler ise 2 faktörlü etkileşimleri ifade etmektedir. Bu sebeple grafikler faktörlerin birbiriyle doğrusal olmayan etkileşimlerini de yorumlamaktadır.

Şekil 4.3. Akım ve Voltaj değerinin R_a değerine olan etkilerinin grafiği

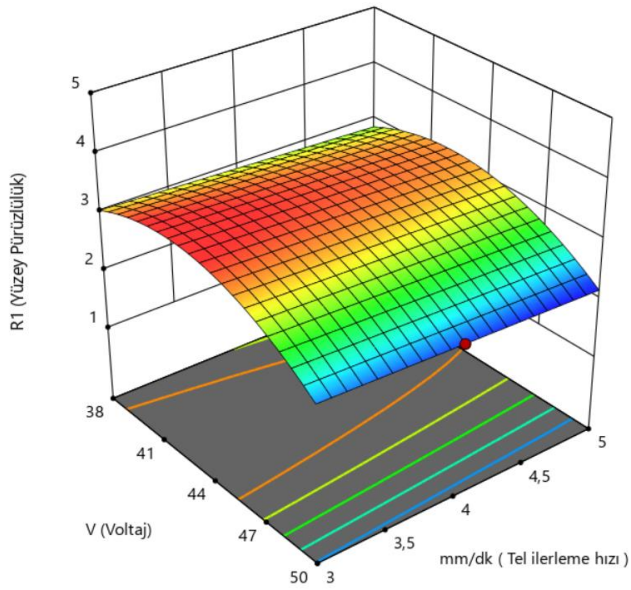
Şekil 4.3’de tel üzerine uygulanan akım değeri ile servo voltajı arasındaki etkileşim grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafiğe bakarak; sadece voltaj değerinin artmasıyla R_a değerinin belli seviyeye kadar artıp daha sonraki artışlarda yüzey pürüzlülüğünü düşürdüğünü söyleyebiliriz. Akım değeri ise voltaj değerine bağlı kalmaksızın her durumda lineer olarak azaldığında yüzey pürüzlülük değeri de lineer olarak düşmektedir. Ancak voltaj değerinin yüksek olması durumunda akımın yüzey pürüzlülüğüne olan etkisi de artmaktadır.



Şekil 4.4. Voltaj ve Puls süresinin R_a değerine olan etkilerinin grafiği

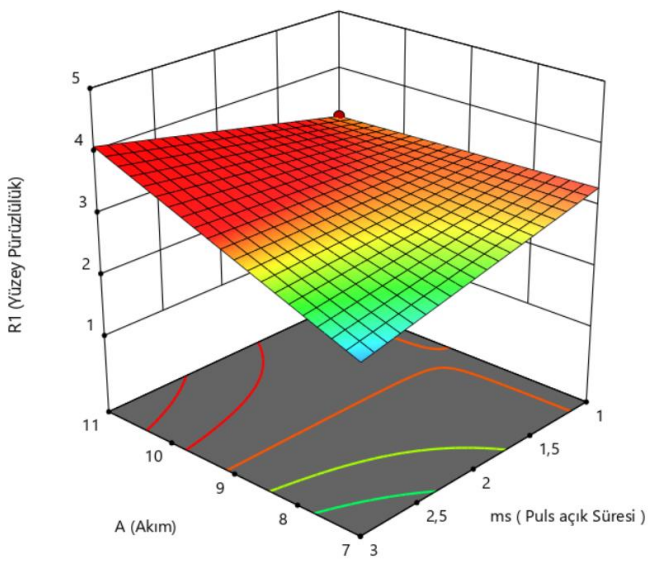
Şekil 4.4’de voltaj ve puls açık sürelerinin etkileşimleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Voltaj değerinin puls süresine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisi değişmemiştir. Grafiğe bakarak voltaj değerinin açık puls süresinden etkilenmediğini veya çok düşük seviyede olduğunu söyleyebiliriz. Voltaj değeri maksimum seviyedeysen açık puls süresinin azalması yüzey pürüzlülüğünü artırırken, voltaj değerinin minimum seviyesinde puls süresinin azalması yüzey pürüzlülüğünü düşürmektedir.

Tel ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkileri voltaj değerine bağlı olarak doğrusal değişim göstermektedir. Şekil 4.5’de tek başına tel ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkileri anova sonuçlarına benzer olarak çok düşük gözlenmektedir, bu düşük etki voltaj değerine bağlı olmaksızın tel ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün azalması şeklindedir. Hem voltaj hem de tel ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değeri daha düşük gözlenmiştir.



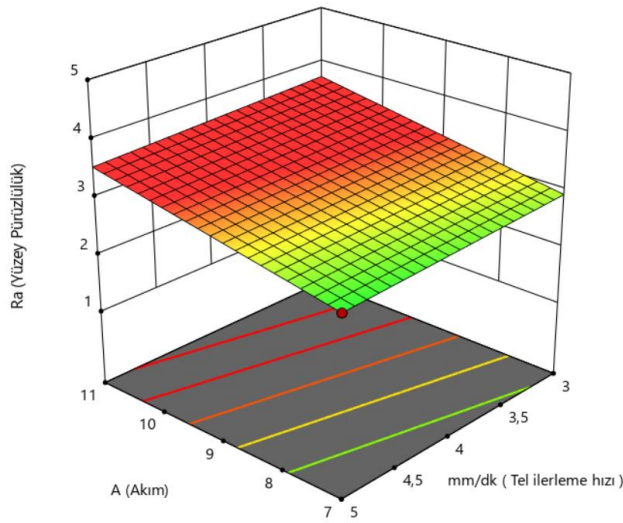
Şekil 4.5. Voltaj ve tel ilerleme hızının R_a değerine olan etkilerinin grafiği

Şekil 4.6’da akım ve puls sürelerinin yüzey pürüzlülük yanıt grafiği verilmiştir, grafikten anlaşıldığı üzere puls süresi akımın düşük seyretmesi durumunda yüzey pürüzlülüğünü arttırmakta, akımın yüksek seyrettiği durumda ise yüzey pürüzlülüğünü düşüren bir etki göstermektedir. Puls değerinin azalmasıyla, akımın performans kriteri R_a değerine etkisi azalmaktadır.

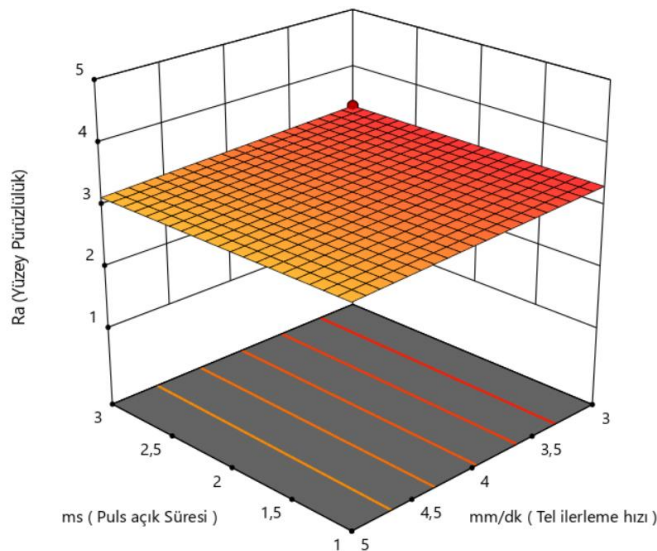


Şekil 4.6. Akım ve Puls süresinin R_a değerine etkilerinin grafiği

Şekil 4.7’de akım ve tel ilerleme hızının etkilerini gösteren grafik incelendiğinde; tel ilerleme hızının R_a değerine etkisi çok düşük seviyede ve akım değerinden bağımsız olduğu görülmektedir. Akım ve tel ilerleme hızının bileşkeli etkisinde en düşük yüzey pürüzlülüğü maksimum tel hızı minimum akım değerinden elde edilmektedir. Akım değeri düştükçe R_a değeri de aynı şekilde düştüğü görülmektedir, bir çok grafikten anlaşılan akım değerinin düşmesiyle R_a değerinin düşmesi, anova tablosundaki akım ‘p’ değerinin anlamlı (0,1’den küçük) oluşunu ispatlamaktadır.



Şekil 4.7. Akım ve tel ilerleme hızının R_a değerine etkilerinin grafiği



Şekil 4.8. Puls süresi ve tel ilerleme hızının R_a değerine etkilerinin grafiği

Şekil 4.8'deki grafikte puls süresi ve tel ilerleme hızının bileşkeli etkilerinin Ra değeri üzerindeki yanıtları görülmektedir. Her iki faktöründe etki seviyesinin çok düşük olduğu ve birbirlerinden doğrusal olarak etkilenmedikleri, tel ilerleme hızının artmasıyla Ra değerinin düştüğü, puls süresinin ise bu değişime bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü etkilemediği söylenebilir.

4.2.2. Ölçü tamlığı analizleri

Ölçü tamlığı analiziyle mevcut faktörlere ilaveten, değişken çap değerleri de kullanılarak, çap ölçüsünün büyümesine bağlı olarak oluşan sapma ve diğer faktörlerin ölçü sapması üzerine etkilerinin irdelenmesi amaçlanmaktadır. Çap değişkeninin eklenmesiyle beraber 5 faktörlü 3 seviyeli bir seri ortaya çıkar, Taguchi'nin deneysel tasarım tablosu çizelge 3.6'ya göre L18 ortogonal diziliminden faydalanılmıştır. Bu dizilim için toplam 18 deney gerçekleştirilmiştir. Değişkenlere ait deney değerleri çizelge 4.3'de verilmiştir. Deney seviyelerindeki kombinasyonu ve toplam ortalama sapma miktarı çizelge 4.11'de belirtilmiştir. Bu değer daha sonra taguchi'nin tahmini değerini hesap etmede kullanılacaktır

Ölçüsel sapma analizi L18 Taguchi tasarımında yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi en küçük en iyi prensibine göre değerlendirilmiştir. Çizelge 4.11'e bakıldığında en küçük sapma 10. deneydeki seviye kombinasyonu ile elde edildiği görülmektedir. Ayrıca sapma değerleri analiz edilirken eksi veya artı yönde oluşu dikkate alınmayıp sadece referans değerden sapma miktarı mutlak değer olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11. Ortalama ölçü sapma miktarı sonuçları ve seviye kombinasyonları

Deney no	Seviye kombinasyonu	Ölçülen Sapma Değeri
1. Deney	V1A1P1F1D1	0,0197
2. Deney	V1A2P2F2D2	0,0480
3. Deney	V1A3P3F3D2	0,0197
4. Deney	V1A1P2F3D3	0,0377
5. Deney	V1A2P3F1D3	0,0307
6. Deney	V1A3P1F2D1	0,0380
7. Deney	V2A1P3F2D3	0,0040

Çizelge 4.11. (Devamı) Ortalama ölçü sapma miktarı sonuçları ve seviye kombinasyonları

8. Deney	V2A2P1F3D1	0,0133
9. Deney	V2A3P2F1D2	0,0217
10. Deney	V2A1P1F2D1	0,0003
11. Deney	V2A2P2F3D2	0,0080
12. Deney	V3A3P3F1D3	0,0590
13. Deney	V3A1P2F1D2	0,0040
14. Deney	V3A2P3F2D3	0,0017
15. Deney	V3A3P1F3D1	0,0140
16. Deney	V3A1P3F3D3	0,0307
17. Deney	V3A2P1F1D1	0,0233
18. Deney	V3A3P2F2D2	0,0473
T(Spm) (Toplam Ortalama Sapma)		0,02339 mm

En küçük ölçü sapmasını verecek parametre kombinasyonunu elde etmek için hem yanıt değerlerini meydana getiren seviye kombinasyonlarının S/N oranına hem de parametrelerin S/N oranına bakılması gerekmektedir. Bu şekilde her iki değerlendirmeye de teyit edilmektedir. En küçük en iyi prensibine dayanarak minitab paket programıyla elde edilen sapma değerlerinin S/N oranları tablosu çizelge 4.12’de verilmektedir.

Çizelge 4.12. Sapma değerlerinin S/N oranları tablosu ve seviye kombinasyonları

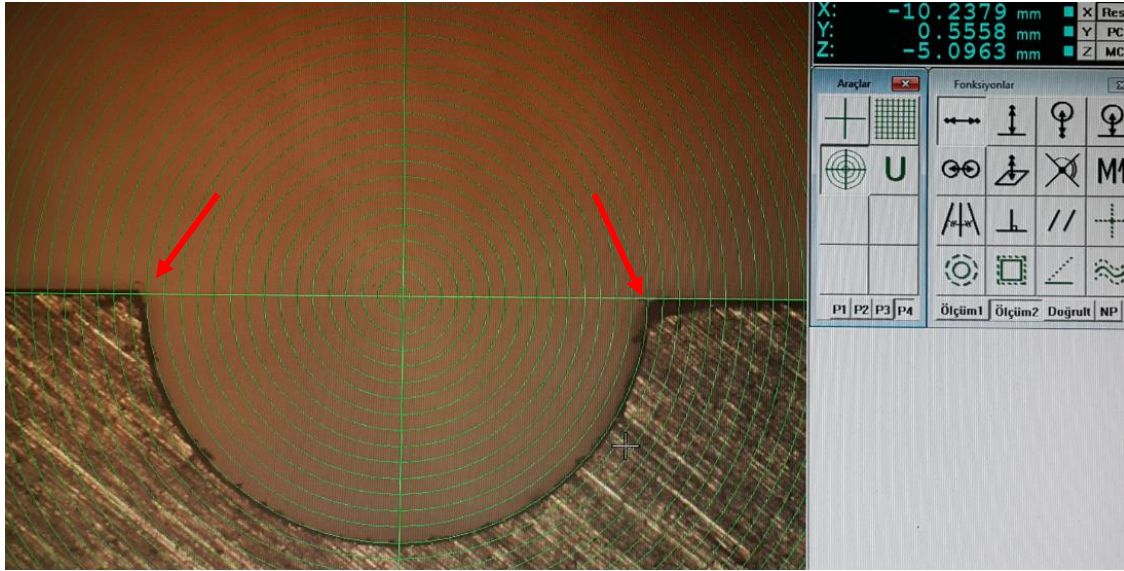
Deney no	Seviye kombinasyonu	S/N Oranı
1. Deney	V1A1P1F1D1	34,1107
2. Deney	V1A2P2F2D2	26,3752
3. Deney	V1A3P3F3D2	34,1107
4. Deney	V1A1P2F3D3	28,4732
5. Deney	V1A2P3F1D3	30,2572
6. Deney	V1A3P1F2D1	28,4043
7. Deney	V2A1P3F2D3	47,9588
8. Deney	V2A2P1F3D1	37,5230
9. Deney	V2A3P2F1D2	33,2708
10. Deney	V2A1P1F2D1	70,4576

Çizelge 4.12. (Devamı) Sapma değerlerinin S/N oranları tablosu ve seviye kombinasyonları

11. Deneş	V2A2P2F3D2	41,9382
12. Deneş	V3A3P3F1D3	24,5830
13. Deneş	V3A1P2F1D2	47,9588
14. Deneş	V3A2P3F2D3	55,3910
15. Deneş	V3A3P1F3D1	37,0774
16. Deneş	V3A1P3F3D3	30,2572
17. Deneş	V3A2P1F1D1	32,6529
18. Deneş	V3A3P2F2D2	26,5028
T(S/N) (Toplam Ortalama S/N)		37,0723

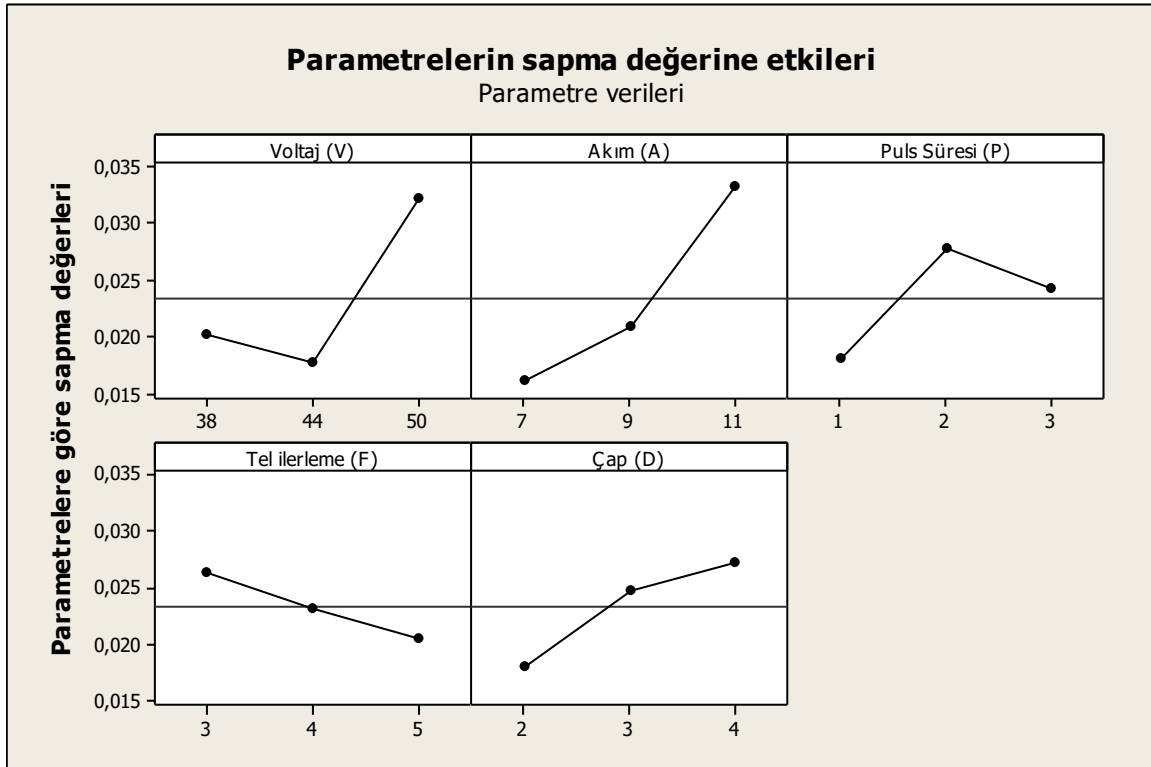
S/N oranının büyümesiyle beraber en iyi en küçük değer ortaya çıkacaktır. Sapmanın en az olduğu kombinasyonda en iyi ölçü tamlığı elde edilecektir. Kompleks bir sistem olan tel erozyon ile kesme işleminde prosesin sürekliliği için geçiş bölgelerinde kesimi yumuşıatma uygulanmış, buna bağlı olarak resim 4.2’de görülen kısımlarda radüs/yığılmalar başka bir deyişle istikrarsız bölgeler meydana gelmiştir. Ölçüler optik cihazda bu kısımlar dikkate alınmadan elde edilmiştir.

Çalışmadaki parametrelerin dışında, resim 4.2’de görülen ölçümü etkileyebilecek diğer sistem parametreleri sabit kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Karmaşık bir sistem olan tel erozyon ile kesme işleminde parametre girdileri oldukça fazladır, bu parametrelerin etkileri ve ele aldığımız parametrelerin bileşekli etkileri araştırmadaki taguchi tasarımında dikkate alınmamıştır. L18 dizilimine göre parametrelerin taguchi dizaynında S/N oranları tablosu ve Sapma değeri yanıt tabloları şekil 4.10 ve şekil 4.9’da gösterilmektedir. Bu tablolar ile parametrelerin sapma değerine etkileri hakkında yorum yapılmakta ve optimum seviyenin tayininde referans alınmaktadır.



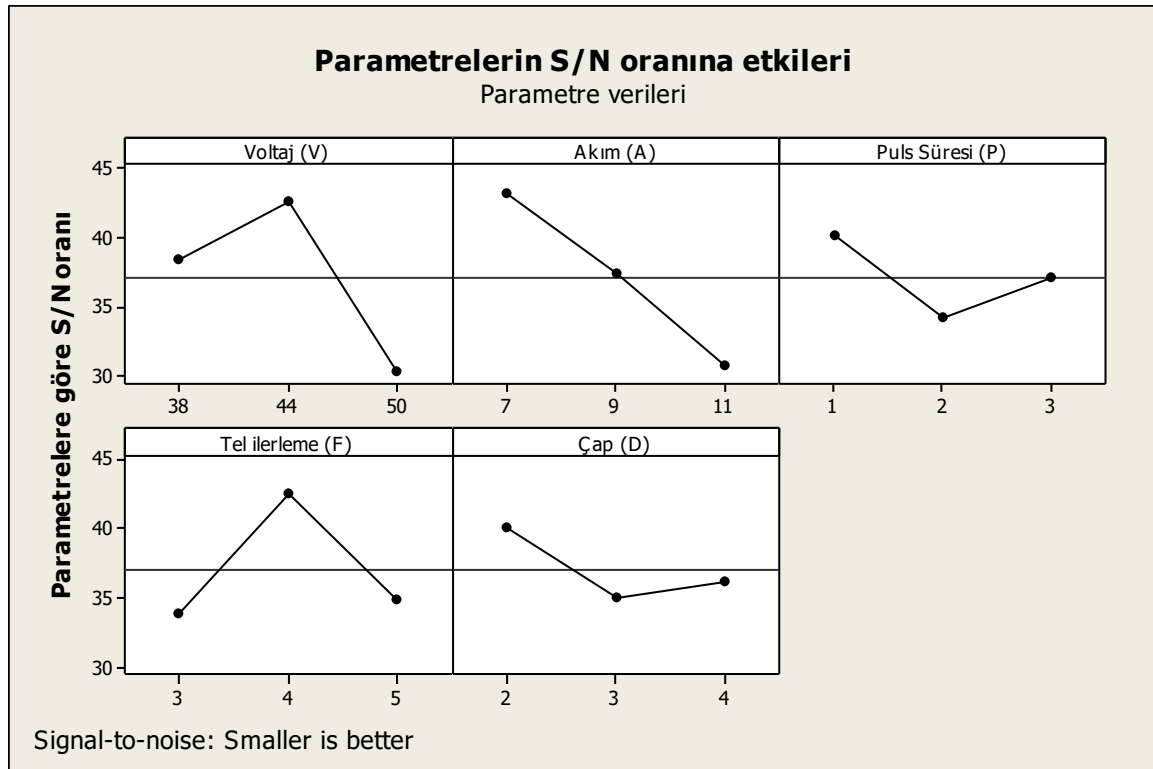
Resim 4.2. Optik görüntülü ölçme cihazı, köşe yığılmaları görüntüsü.

Şekil 4.9 incelendiğinde; Voltaj, puls açık süresi ve çap değerlerinin lineer olmayan dalgali değişimini, etkisi göz ardı edilen diğer parametrik proses faktörlerinden veya sistem hatalarından kaynaklanabileceği söylenebilir. Akım değerinin artmasıyla ölçü sapmasında artış, tel ilerleme hızının artmasıyla ölçü sapmasında azalma meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.9. Kesme parametrelerinin sapma değeri yanıt grafiği

Sinyal oranı artıp, gürültü oranı düştüğünde parametre değerleri optimum seviyeye gitmektedir. S/N oranı en büyük çıktığı parametre değeri belirlenerek en düşük sapma değeri için taguchinin verdiği optimum parametre kombinasyonu elde edilmektedir. Şekil 4.10'da parametrelerin S/N oranlarına etkileri görülmektedir, bu tabloda voltaj değerinin orta seviyede, akım değerinin düşük seviyede, puls açık süresinin düşük seviyede, tel ilerleme hızının orta seviyede ve çap değerinin düşük olduğu seviyelerde optimum koşulların oluştuğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.10. Kesme parametrelerinin S/N oranı yanıt grafiği

Parametrelerin her seviyesine ait S/N oranları tablosu ve sapma değeri tablosu çizelge 4.13'de ve çizelge 4.14'de verilmiştir, S/N ve sapma değeri tablolarında maksimum ve minimum değerler arasındaki farkın sıralaması performans kriterini etkilemedeki önemini sırasını vermektedir. Optimum seviyeler hem S/N yanıt tablosuna göre hem de sapma değeri yanıt tablosuna göre değerlendirilip kıyaslanmaktadır.

Çizelge 4.13. Ölçüsel tamlık için parametrelerin S/N yanıt tablosu

Kesme Parametreleri	Parametrelerin Ort. S/N oranı (db)			Fark	Sıralama
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3		
V	38,31	42,62**	30,29	12,33	2
A	43,20**	37,36	30,66	12,54	1
Puls T _{on}	40,04**	34,09	37,09	5,95	4
F _w	33,81	42,51**	34,90	8,70	3
Çap	40,04**	35,03	36,15	5,01	5

** Optimum S/N için seviyeler, Fark: Mak-min

Çizelge 4.14. Ölçüsel tamlık için parametrelerin sapma miktarı yanıt tablosu

Kesme Parametreleri	Parametrelerin Sapma değerleri (db)			Fark	Sıralama
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3		
V	0,02017	0,01772**	0,03230	0,01458	2
A	0,01607**	0,02083	0,03328	0,01721	1
Puls T _{on}	0,01811**	0,02778	0,02430	0,00967	3
F _w	0,02640	0,02322	0,02057**	0,00583	5
Çap	0,01811**	0,02478	0,02730	0,00919	4

** Opt. sapma için seviyeler, Fark: Mak-min

Optimum seviyeler S/N oranının en yüksek olduğu, sapmanın ise en düşük olduğu seviyeler işaretlenerek yapılmıştır. Optimum koşullar S/N yanıt tablosuna çizelge 4.13'den bakıldığında V₂A₁P₁F₂D₁, sapma değeri yanıt tablosuna çizelge 4.14'den bakıldığında ise V₂A₁P₁F₃D₁ olduğu görülmektedir. Ayrıca etkinlik seviyeleri her iki tablo değerlerinde akım ve voltaj'dan sonra sıralamada farklılık göstermiştir. Bu tablolar yorumlandığında ölçüsel değişime etkisi bakımından akım ve Voltaj değerinin etkinliğinin yüksek olduğunu, özellikle çap değerinin düşük seviyelerde etkilediği söylenebilir.

Taguchi L18 dizilimi ile yapılan değerlendirmelerin hata durumlarını ve parametrelerin güvenilirliğini doğrulamak buna göre analizi yorumlamak için sapma değeri içinde anova analizine başvurulmuştur. F testi olarak da adlandırdığımız bu analiz ile değişkenlerin oluşturduğu yanıtların dağılımının normal olup olmadığı yada normalden olan sapmaları hakkında bilgi vermektedir. Ölçü tamlığı araştırmasında parametrelerin birbirleriyle olan bileşkeli etkilerine bakılmaksızın tek düzeyli taguchi L18 dizilim değerleriyle anova analizine başvurulmuştur.

Analizler %95 güvenilirlik seviyesinde gerçekleştirilmiştir, sapma değeri varyans analizinde sayısal değerler, çeşitli formülasyonlar yerine design expert 11 paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Çizelge 4.16’da S/N oranına göre yapılan, çizelge 4.15’de ise sapma değerine göre yapılan anova analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.15. Sapma değeri Anova sonuç tablosu

Parametreler	Serbestlik Derecesi	SS Kareler Toplamı	Adj SS	MS Kareler Ortal.	F	P	Oransal Katkı Değeri
Voltaj	1	0,0004	0,0004	0,0004	1,95	0,1880	%12
Akım	1	0,0016	0,0016	0,0016	7,02	0,0212	%43
Puls (on)	1	0,0006	0,0006	0,0006	2,63	0,1309	%16
Tel İlerleme Hızı	1	0,0001	0,0001	0,0001	0,4521	0,5141	%3
Çap	1	0,0009	0,0009	0,0009	4,10	0,0656	%26
Hata	12	0,0027	0,0027	0,0002			
Toplam	17	0,0052					

Çizelge 4.16. S/N oranı Anova sonuç tablosu

Parametreler	Serbestlik Derecesi	SS Kareler Toplamı	Adj SS	MS Kareler Ortal.	F	P	Oransal Katkı Değeri
Voltaj	1	192,87	192,87	192,87	1,60	0,2302	%15
Akım	1	689,70	689,70	689,70	5,72	0,0341	%53
Puls (on)	1	159,83	159,83	159,83	1,32	0,2722	%12
Tel İlerleme Hızı	1	3,57	3,57	3,57	0,0296	0,8663	%0
Çap	1	243,98	243,98	243,98	2,02	0,1805	%20
Hata	12	1448,16	120,68	120,68			
Toplam	17	2386,68					

Çizelge 4.15’den sapma değerine göre anova sonuç tablosu verilmiştir, analize göre %43 oranla en büyük etkiye akım değeri göstermiştir, sonrasında puls, voltaj, çap ve tel ilerleme hızı sırasıyla tablodaki oranlarda etkilemiştir. Ancak p değeri 0,1’den düşük olmasından dolayı akım ve çap değerinin etkileri anlamlı çıkmıştır. Diğer değişkenlerin p değerinin 0,1’den büyük olmasını işletme koşullarının kararsız olmasıyla ve diğer parametrelerle bileşkeli etkileriyle hataların yüksek olmasıyla açıklanabilir. Lineer etkili anova analizinin sadece akım ve çap değerinin etkilerinin bağımsız olması anlamlı çıkmıştır.

Çizelge 4.16’da S/N oranı temel alınarak elde edilen anova verileri paylaşılmıştır. Çalışmada en büyük etkiye sahip değer yine %53 ile akım sonrasında %20 ile çap değeri, sapma değeri anova analizi ile aynı etki düzeyinde cevap vermiştir. Akım ve çap değerinin dışındaki

değişkenlerin sırası farklılık göstermiş olup, p değerlerinin 0,1'den büyük çıkmasıyla sonuç anlamlı çıkmamıştır bu sebeple etki sıralamalarının da farklı olduğu görülmektedir.

Taguchi deneysel tasarım metodu, ölçüsel sapma miktarı ve S/N oranlarına göre elde edilen optimum kesme koşullarını parametrelerin aynı seviyelerinde tespit etmemiştir. Her iki araştırma yönteminde tel ilerlemesinin dışındaki değerlerin seviyeleri aynı ancak tel ilerleme değerinin seviyeleri farklıdır. Bu durumda her iki tablodan da elde edilen optimum şartları kontrol etmek yerine ölçüsel sapma değerine göre yapılan varyans analizinde p değerinin 0,1'e daha yakın değerler çıkması hatanın daha düşük olduğu şeklinde yorumlayabiliriz. Bu sebeple S/N oranı ile tespit edilen optimum kesme koşulları yerine ölçüsel sapma değeriyle elde edilen optimum kesme koşulları doğrulama deneylerinde tercih edilmiştir. Ölçüsel sapma değerine göre taguchi deneysel tasarım metodu $V_2A_1P_1F_3D_1$ olarak optimum koşulları çizelge 4.14'de tayin etmektedir.

$V_2A_1P_1F_3D_1$ olarak doğrulama değeri tayin edilen optimum kesme koşulları L18 Taguchi deneylerinin içerisinde deney 10 da bulunmaktadır. Bu değer deney değerleri arasında en küçük ölçüsel sapmayı vermektedir. Çıkan sonuç anova ile yapılan yorumları destekler niteliktedir. Taguchinin tahmini değeri her bir optimum koşul faktörünün, ölçüsel sapma değerinin toplamından toplam ortalama sapma değerinin 4 katının çıkartılmasıyla elde edilmektedir.

$$|\mu|_{ssd} = S_{dv2} + S_{dA1} + S_{dP1} + S_{dF3} + S_{dD1} - 4S_{dST} \quad (4.2)$$

$$S_{dv2} = 0,01772 \text{ mm}$$

$$S_{dA1} = 0,01607 \text{ mm}$$

$$S_{dP1} = 0,01811 \text{ mm}$$

$$S_{dF3} = 0,02057 \text{ mm}$$

$$S_{dD1} = 0,01811 \text{ mm}$$

$$S_{dST} = 0,02339 \text{ mm}$$

$$|\mu|_{ssd} = (-0,00298)$$

Formül (4.2) neticesinde bulunan ölçüsel sapma değeri minitab programıyla da teyit edilmiş aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Taguchi değer tahmin tasarımı neticesi ile doğrulama neticesinin birbirine çok yakın değerlerde olduğu çizelge 4.17’de görülmektedir. Ölçüsel sapma değerlerinin mutlak değeri ile hesaplamalar yapıldığından tahmini taguchi değerinin eksi değerde çıkmasını en düşük seviye olan sıfır olarak da yorumlayabiliriz. Her iki değer birbirine yakın olması ve optimum tayin edilen değerlerde taguchi tahmini ölçüsel sapma sonucunun düşüş göstermesi çalışmanın anlamlı olduğunu koyup, faktörlerin etki düzey ve oranlarını değerli kılmaktadır.

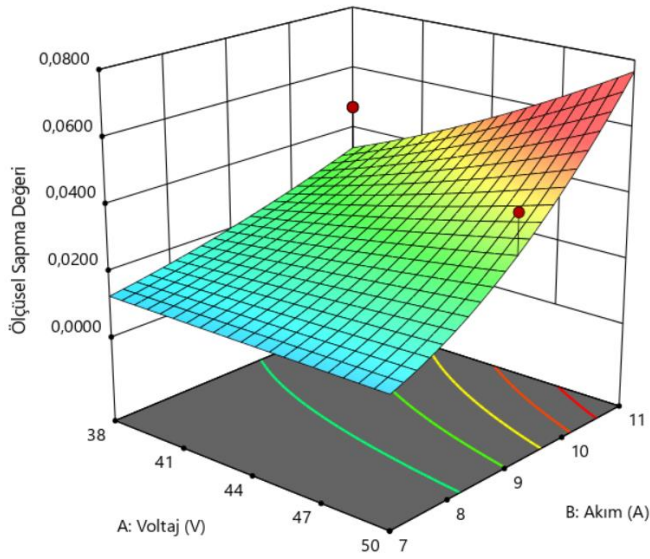
Çizelge 4.17. Ölçüsel sapma taguchi tahmini değeri ve doğrulama deneyi karşılaştırması

		Taguchi Tahmini Ölçü sapma değeri	DeneySEL Doğrulama Sonucu
		Sapma (mm)	Sapma (µm)
Optimum Seviyeler	$V_2A_1P_1F_3D_1$	-0,00298 (0)	0,0003

L18 taguchi tasarımında ve sonuçlarla ilgili varyans analizinde ölçüsel sapma değerini etkileyen bileşkeli etkiler incelenmemiş faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri göz ardı edilmiştir. Bu durumu grafiksel olarak yorumlamak için yüzey yanıt yöntemi design expert 11 programı ile uygulanmıştır. Yüzey yanıt yöntemi optimizasyonda kolaylık, az sayıdaki deneysel veriler ile maksimum veri ve yoruma ulaşılması, parametreler arası etkileşimlerin değerlendirilmesi noktasında avantaj sağlamaktadır (Turan ve Altundoğan, 2011).

Yüzey yanıt yöntemi uygulanırken maksimum ölçüsel sapma değeriyle minimum değerinin oranı 10 ‘dan büyük çıktığı için bir dönüşüm yöntemi kullanımını kullanılan paket program tavsiye etmektedir, alt ve üst sınır değerlerini en doğru tanımlayan yanıt değerinin arcsin karekök yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde yanıt değeri 0 ile 1 arasındadır. Araştırmada ölçüsel sapma değerleri de 0,0003 ile 0,059 arasında çıktığı için bu dönüşüm yöntemiyle analiz yapılmıştır.

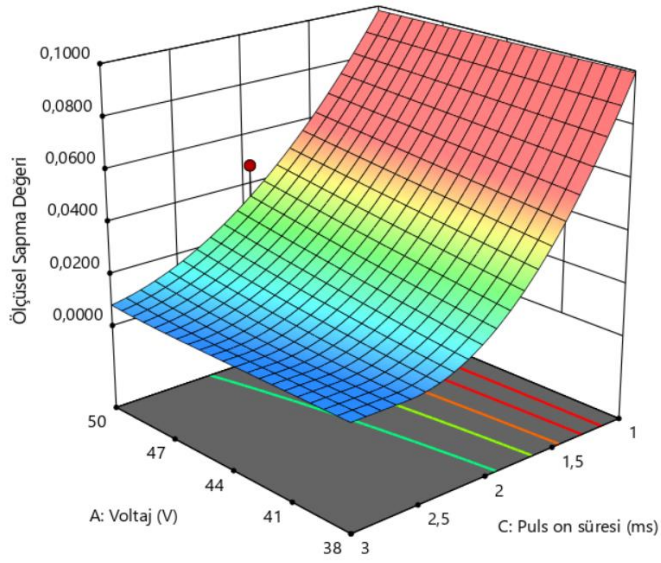
İki faktöriyel tasarım yöntemi faktörlerin bileşkeli etkilerini ve birbirine olan katkılarını da yorumlamada yardımcı olmaktadır. Taguchi tasarımı ve anova değerlendirmesindeki gibi performans kriterine lineer etkileriyle beraber faktörlerin bileşkeli etkilerine göre yüzey yanıt grafikleri alınmıştır.



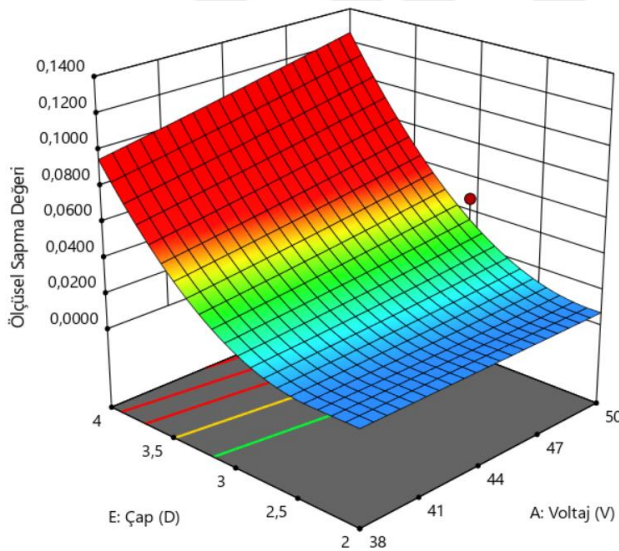
Şekil 4.11. Voltaj ve akım değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

Şekil 4.11'deki grafikte akım ve voltaj değerinin performans kriteri üzerine etkilerini içeren grafik bulunmaktadır. Grafik ele alındığında akım seviyesinin düşük olduğu değerlerde voltajın ölçüsel sapmaya etkisi lineer olmaktadır, ancak akım değeri yükseldiğinde ise voltajın artmasıyla ölçüsel sapma artmaktadır. Akım değeri ise voltajın da etkisiyle her durumda artmasıyla ölçüsel sapmayı arttırmaktadır.

Voltaj ve puls açık süresinin ölçüsel sapma değeri üzerindeki etkilerinin grafiği şekil 4.12.'de verilmektedir. Grafik incelendiğinde voltaj değerinin değişimiyle sapma değerinde ciddi bir değişim olmadığı ve puls süresine bağımlı bir etkisinin önemli olmadığı görülmektedir. Ancak puls açık süresi voltaj değerinden bağımsız olarak artmasıyla ölçüsel sapma değeri düşüş göstermektedir. Diğer parametrelerin sabit olduğu kabul edilirse en düşük sapmanın olduğu durum voltajın minimum puls değerinin maksimum olduğu koşullarda elde edileceği grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.12. Voltaj ve puls açık süresi değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

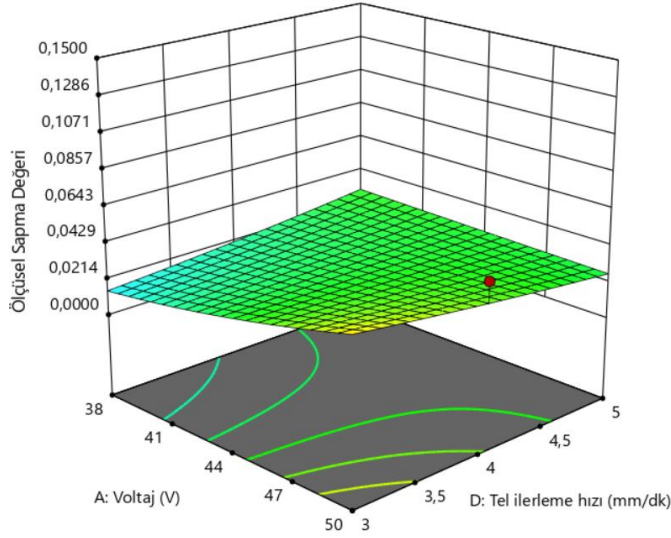


Şekil 4.13. Çap ve voltaj değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

Şekil 4.13’de voltaj ve çap değerlerinin ölçüsel sapmaya olan etkileri görülmektedir. Çap değeri voltaj’dan etkilenmeksizin çap büyüdükçe ölçüsel sapma büyümektedir. Voltaj değerinin etkisi yüksek olmamakla beraber azaldıkça sapma değeri azalmaktadır. En düşük sapma değeri diğer faktörler sabit kabul edildiğinde minimum voltaj ve minimum çap değerlerinde meydana gelmektedir.

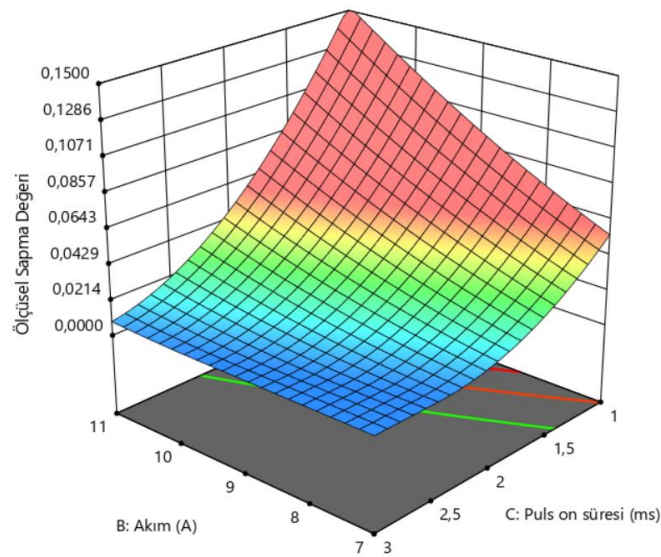
Şekil 4.14’de Voltaj ve tel ilerleme hızının bileşkeli etkilerini gösteren grafik görülmektedir, Buradaki parametrelerin etkileri birbiriyle düşük seviyede ters orantılı olduğu

görülmektedir. En düşük ölçüsel sapma değeri voltaj ve tel ilerleme hızı değerlerinin minimum seviyelerinde gerçekleşmektedir.

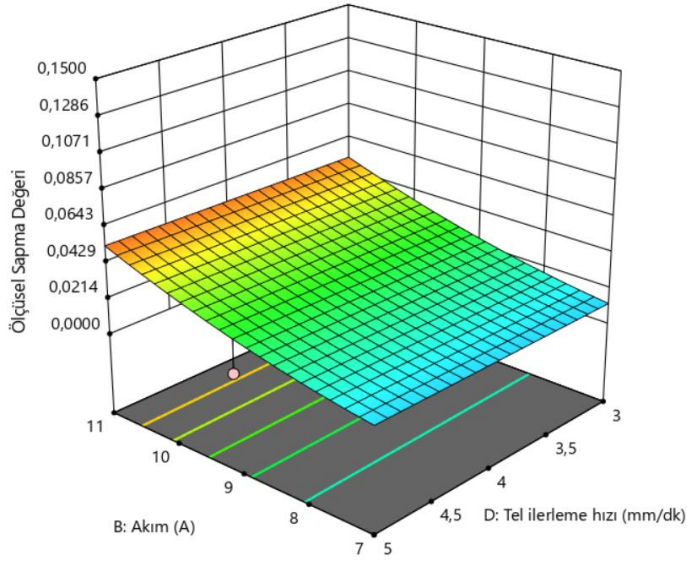


Şekil 4.14. Voltaj ve tel ilerleme hızı değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

Şekil 4.15’de Akım ve puls süresinin bileşkeli etkileri grafiksel olarak gösterilmiştir. Akım değeri puls süresinin düşük olduğu seviyelerde önemli değişime sebep olacak etkilere sahip olmaktadır. Puls süresinin düşük olduğu durumda akım seviyesi arttıkça ölçüsel sapma değeri artmaktadır. Puls açık süresi tel erozyon ile işlemede akım değerinin aktif olduğu süreyi ifade etmektedir. En düşük sapma akım değerinin düşük puls süresinin yüksek olduğu seviyede elde edilmektedir.

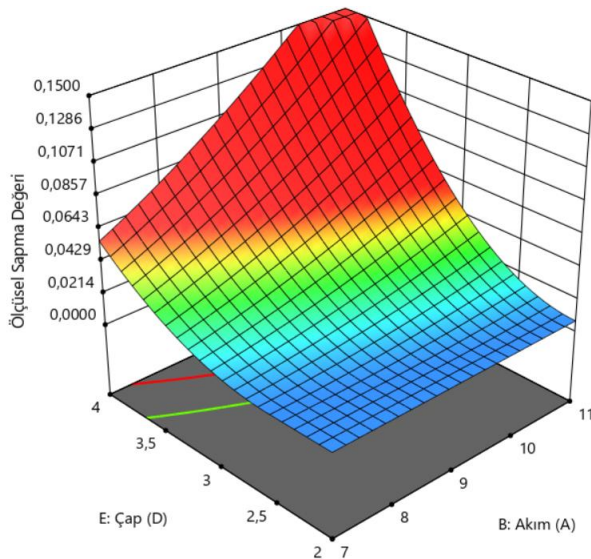


Şekil 4.15. Akım ve puls açık süresi değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği



Şekil 4.16. Akım ve tel ilerleme hızı değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

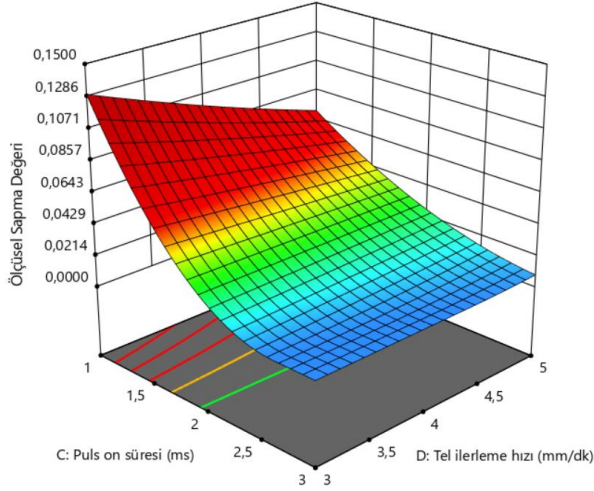
Şekil 4.16’da akım ve tel ilerleme değerlerinin ölçüsel sapma değeri üzerine etkileri yüzey yanıt yöntemiyle elde edilen grafikte gösterilmiştir. Akım değeri tel ilerleme hızına bağlı kalmaksızın düştükçe ölçüsel sapma değerini düşürmektedir. Tel ilerleme hızının tek başına ölçüsel sapma üzerine önemli bir etkisi görülmemektedir.



Şekil 4.17. Çap ve akım değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

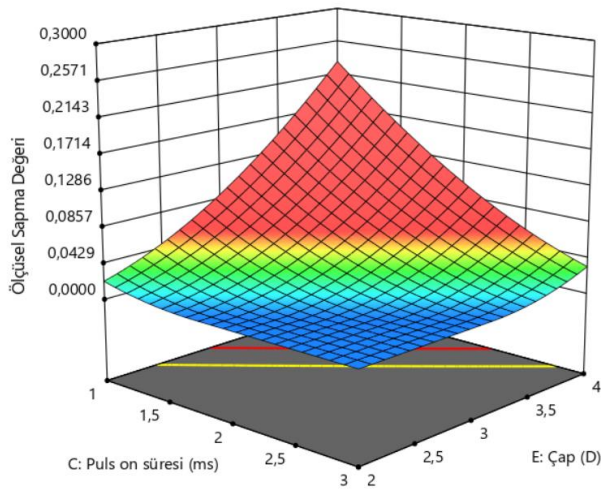
Şekil 4.17’de akım ve çap değerinin bileşkeli etkileri incelenebilmektedir. Çap değerinin düşük olduğu seviyelerde akım değerinin ölçüsel sapmaya etkisi lineer gözlemlenmekte ancak çap değeri yükseldikçe akımın etkisi artmaktadır. Büyük çap değeri seçildiğinde akım

değeri arttıkça ölçüsel sapma değeri de artmaktadır. Optimum ölçüsel sapmanın elde edilmesi için diğer faktörlerin sabit olduğu durumda minimum çap değeri ve minimum akım değerinde olması gerekmektedir.



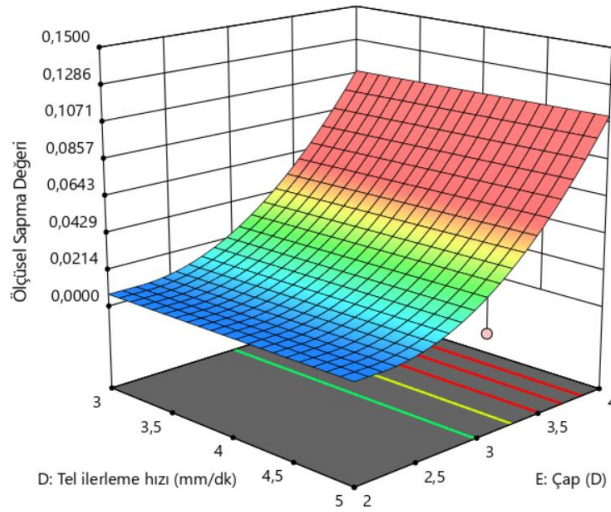
Şekil 4.18. Puls süresi ve tel ilerleme hızının ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

Şekil 4.18’de Puls açık süresi ve tel ilerleme hızının yüzey yanıt grafiği görülmektedir. Puls açık süresinin yüksek seviyelerinde tel ilerleme hızının ölçü sapması üzerine etkileri lineer gözükmemektedir. Ancak puls açık süresinin düşmesiyle tel ilerleme hızı azaldıkça ölçü sapması da artmaktadır. En düşük ölçü sapması diğer faktörlerin sabit olduğu durumda grafikteki iki değer bileşkelisi etkilerine göre puls açık süresinin yüksek, tel ilerleme hızının düşük olduğu seviyelerde elde edilmektedir.



Şekil 4.19. Puls açık süresi ve çap değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

Şekil 4.19’da Puls açık süresi ve çap değerlerinin bileşkeli etkilerinin yüzey yanıt yöntemiyle elde edilen grafiği görülmektedir. Grafiğe göre en düşük sapma değeri için puls açık süresinin yüksek çap değerinin en düşük olduğu seviyelerde ölçüsel sapma değeri en düşük seviyesinde izlenmiştir. Puls on süresinin düşük olduğu seviyelerde çap değerinin artmasıyla ölçüsel sapma artmaktadır.



Şekil 4.20. Tel ilerleme hızı ve çap değerinin ölçüsel sapma üzerine etkilerinin grafiği

Şekil 4.20’de Çap ve tel ilerleme hızı değerlerinin ölçü sapması üzerine etkiler görülmektedir. Grafiğe göre çap değerinin artmasıyla ölçü sapmasının arttığı söylenebilir. Tel ilerleme hızı ise çap değerine bağlı olmaksızın etki düzeyinin önemsiz olduğu yorumlanabilir.

Yüzey yanıt yöntemi ile elde edilen grafikler iki faktörün diğer değişkenlerden bağımsız olarak performans kriterine etkilerini incelemektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

BCF düze kalıbının işlenmesinde tel erozyon işlem parametrelerinin incelenmesi konulu spresifik araştırma konusuyla, literatür taramasında EN 1.4057 paslanmaz martenzitik çelik ile iş parçası üzerinde tel erozyon kesme koşullarıyla ilgili ilk çalışma olması sebebiyle literatüre, ayrıca günümüzde halen yaygın kullanımı olmayan tel erozyon ile işlemede kesme şartlarının belirlenmesine bilimsel olarak katkı sunmaktadır.

Taguchi 'den doğan deneyler birlik makine kalıp Ltd.' de yapılmış ve deney sırasında firma sahipleri ile yapılan değerlendirmede, kesme koşullarının ilk tezgah alındığı dönemdeki gibi koşullarda veya her zamanki parçalardan farklı parçalar işlenmek istendiğinde ise deneme yanılma ile tecrübe edilen bilgiler ışığında yol aldıkları anlaşılmıştır. Araştırma, hangi parametrenin performans kriterleri üzerine etkileri olduğunu ve bu etkinlerin önem seviyeleri hakkında bilimsel bilgiler içermektedir. Çalışmadaki bilgiler ışığında, belirtilen malzemeden elde edilen ürünün kalitesinin en iyi düzeye gelmesi için kesme koşullarının hassas ayarlanmasını mümkün kılmaktadır. Sektörel olarak bakıldığında değişik kesit yüzeylerinin kullanıldığı söylenebilir, her kesit için ölçüler değişiklik göstermekte olup kesitin olması gereken ölçüden büyük olması durumunda çıkan ipliğin maliyeti artacak olup parlaklık vb. özelliklerine etkileri olacaktır, aksi durumda ise mukavemet olarak zayıf ve yıpranması yüksek olan mamuller elde edilecektir. Kaliteye böylesine önemli etkisi olan performans kriteri hakkında sahada tecrübeye rastlanmamış, çalışmada ölçüsel tamlık değerine de bakılarak optimum ölçü için en iyi kesme koşulları hakkında bilimsel bilgi oluşturulmuştur.

Yüzey pürüzlülük sonuçları ve öneriler:

Taguchi L9 serisi deneylerin incelenmesi neticesinde yüzey pürüzlülüğünü sırasıyla en çok akım(A), voltaj(V), puls açık süresi(μ s) ve tel ilerleme hızı(m/dk) etkilediği anlaşılmıştır. Aynı etki sırası S/N oranlarının incelenmesinde de gözlenmiştir. Bu durum çizelge 4.6 ve çizelge 4.7'de görülmektedir. Ayrıca optimum değerler akım (A:7) ve puls açık süresinin (P_{on} :1) en düşük seviyelerinde, voltaj (V:50) değerinin en yüksek seviyesinde ve tel ilerleme hızının (F_w :4) orta seviyesinde gözlenmiştir. Doğrulama deneyleri hem en düşük hem de en yüksek yüzey pürüzlülükleri için yapılmış, voltaj seviyesinin düşmesi, akım seviyesinin artması, puls süresinin artması ve tel ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülük değeri

artmıştır, aynı gözlem taguchi grafikleri şekil 4.2 ve şekil 4.1 ile uyum göstermektedir. Elde edilen verilerin güvenilirliği ve hata yorumları anova ile irdelenerek, şu sonuçlar bulunmuştur; kabul edilebilir güven seviyesinin $p:0,1$ olarak kabul edildiği çalışmada akım değerinin dışındaki parametre yanıtları anlamlı çıkmamış ve anova'ya göre etki sırası değişkenlik göstermiştir. En büyük hata sırasıyla tel ilerleme hızı, voltaj ve puls açık süresi olarak gözlenmiştir. Hataların yüksek olduğu taguchi analizine göre yapılan doğrulama deneylerinin hedeflenenden farklı çıkması beklenir, ancak beklenen seviyelere taguchi sonuçlarıyla uyumlu artış veya azalışlar göstermesini, yüzey pürüzlülük değerine anlamlı etkisi olan akım değerinin, diğer parametrelere oranla etkisinin % 50 gibi büyük bir oranda olması sebebiyle yorumlanabilir. Ayrıca diğer hata sebepleri olarak, parametrelerin birbirleriyle olan bileşkeli kübik etkileri, örneğin sirkülasyon sıvı basıncı gibi sabit kabul edilen faktörlerdeki işleme sırasındaki değişkenlik veya işletme koşullarının kararsız ve kontrolsüz olduğu şeklinde yorumlayabiliriz. Ayrıca yüzey yanıt yöntemiyle değerlerin bileşkeli etkileri de incelendiğinde parametrelerin birbirleriyle etkileşimlerinin olduğu yüzey yanıt grafiklerinden anlaşılmaktadır.

Sonuçlar ışığında beklenen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi için işletme koşullarının gözden geçirilmesi, çalışmadaki değerlerin ve sabit kabul edilen parametrik değerlerinin de seviye farkları daha yüksek değerler seçilerek irdelenmesi önerilmektedir.

Ölçü tamlığı sonuçları ve öneriler;

Taguchi L18 deneylerinin incelenmesi neticesinde ölçü sapması yanıt tablosu çizelge 4.13'e göre sırasıyla en çok akım(A), Voltaj(V), Puls açık süresi(μs), çap(D) ve tel ilerleme hızı ölçü tamlığını etkilemektedir. Bu durum S/N oranı yanıt tablosunda puls açık süresi, çap ve tel ilerleme hızlarının sıralaması değişerek cevap vermektedir. Buradan anlaşılana göre taguchi L18 serisi deney sayısının yetersiz olduğu, bunun yerine daha yüksek deney sayısı gerektiren L27 ortogonal diziliminin tercih edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. S/N ve sapma değerine göre etki sırası değişmeyen akım parametresinin taguchi tasarımından çıkan ölçü tamlığını etkileme oranlarının da ortalama %48 gibi yüksek bir oranda olduğu anova sonuçlarıyla teyit edilmiş, akım değerinin artmasıyla ölçüdeki sapma miktarının arttığı gözlenmiştir. Buda akımın metal üzerinden parça koparma etkisinin analizler ile ispatı niteliğindedir. Çizelge 4.15'deki Sapma değeri anova sonucuna göre anlamlı çıkan bir diğer parametre çap ise %26 seviyesinde etkili olup çapın düşmesiyle ölçü sapmasının azaldığı

yorumlanmaktadır. Ayrıca yüzey yanıt grafikleriyle faktörlerin bileşkeli etkileri irdelenmiş ve ölçü tamlığını sağlayan en önemli faktörlerin akım, voltaj ve çap değeri olduğu söylenebilir. Çalışmada kullanılan tasarım ve analiz yöntemlerinden daha geniş ve doğru cevaplar alabilmek için L27 serisine göre ayrıca deneysel çalışma yapılması, yüzey pürüzlülüğünün en iyi seviyesini etkileyen parametrelerin incelenmesi için tavsiye edilenlerin, ölçü tamlığı içinde yerine getirilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdulkareem, S., Khan, A.A. ve Mohd Zain, Z., (2007). Effect of machining parameters on surface roughness during wet and dry Wire-EDM of stainless steel. *Journal of Applied Sciences*. pp. 1-5. ISSN 1812-5662 (O), 1812-5654.
- Aydoğdu, D., (2009). Tel erozyonda kesme parametrelerinin parçanın boyut ve şekil toleranslarına etkilerinin deneysel incelenmesi. *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi* Syf. 157.
- Arslan, Z., (2016). Poliamid 6 POY ve tekstüre iplik üretiminde kaliteyi etkileyen proses parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı* S. 94.
- Bhuvanesh, Y. C. ve Gupta, V. B., (1995). Computer simulation of melt spinning of polypropylene fibers using a steady-state model. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 58,663-674
- Chuah, H.H., (2004). .Effect of process variables on bulk development of air-textured poly(trimethylene terephthalate) bulk continuous filaments. *Wiley Periodicals, Inc. J Appl Polym Sci* 92: 1011–1017
- Chaudhuri, S.K., (2009) Structure and properties of carpet fibres and yarns. A volume in *Woodhead Publishing Series in Textiles*, Ch.2,Pages 19–43
- Coperion GmbH, 2016.
http://www.ktron.fr/industries_served/Plastics/Textile_Fiber_Production.cfm.
- Çaydaş, U., (2002). WEDM yönteminde işlem parametrelerinin mikro yapı ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Makine Eğitimi ABD, Yüksek lisans tezi*, S.108
- Demiryürek, O., (2004). Sentetik lif üretiminde kullanılan ekstrüderler ve ekstrüder-pompa sisteminin tasarım esasları. *Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi* s.179.
- Durmaz, S., (2008). Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması. *Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana bilim dalı, Yüksek lisans tezi*, sayfa 150.
- Doğan, M., (2010). Inconel 718 Malzemesinin Tel erozyon tezgahında işlenmesinde kesme parametrelerinin kesme performansına etkisinin deneysel analizi ve optimum parametrelerinin tayini. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi, Syf:93*.
- Demirer, A., (2015). Elektro Erozyon (EDM). *Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Doç.Dr. Ahmet Demirer Ders notları*, s.21.

- Deliceoğlu M, (2015). <http://www.mustafadeliceoğlu.com/2015/10/tel-erezyon-nedir>. Resim alıntısı.
- Dörrenberg Edelstahl, GmbH., (2018). 1.4057 Ürün Teknik bilgi broşürü. Anonim, http://www.doerrenberg.de/uploads/tx_c1x1downloads/1.4057_en.pdf.
- East, A. J., (2000). Polyester Fibres. In: J. E. McIntyre (Editor), *Synthetic Fibres: Nylon, Polyester, Acrylic, Polyolefin, Woodhead Publishing Ltd, England*” p. 95-166.
- Evran, S., (2009). Tel erozyon tezgahında 1.2379 Cppu kesme kalıp çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve elektro deşarj aralığına etkisinin incelenmesi. *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Makine eğitimi abd.*, yüksek lisans tezi, syf. 90.
- Fang, J. ve Ark., (2012). Needleless melt-electrospinning of polypropylene nanofibers” *Journal of Nanomaterials* Volume 2012, Article.16 ID 382639, pages 9.
- Gökler, M.İ., Ozanözgü, A.M., (2000) Experimental investigation of effects of cutting parameters on surface roughness in the WEDM process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Volume 40, Issue 13, October 2000, Pages 1831-1848.
- Gökçe,B. ve Taşgetiren, S., (2009) Kalite için deney tasarımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 6, No: 1, 2009 (71-83).
- Giduturi, S. ve Kumar, A., (2018). Parameter Optimization of Wire EDM for H-13 Tool Steel. *International Journal of Current Engineering and Technology*, E-ISSN 2277 – 4106, P-ISSN 2347 – 516, Vol.8, No.1.
- Hasçalık, A., Çaydas, U., (2004). Experimental study of wire electrical discharge machining of AISI D5 tool steel. *Journal of Materials Processing Technology* 148 (2004) 362–367.
- Ishfaq, K. ve Ark., (2018). Analysis of the Effect of Wire Electric Discharge Machining Process Parameters for the Formation of High Speed Steel Form Tool. *Adv. Sci. Technol. Res. J.* 2018; 12(1):89–98.
- İmamoğlu, O., (2007). Tel erozyon tezgahında 2379 çeliğinin işlenmesinde kesme parametrelerinin şekil ve boyut toleranslarına etkisi. *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Abd*, Yüksek lisans tezi, syf. 84.
- Kopac, J. ve Krajnik, P., (2007). Robust design of flank milling parameters based on grey-Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology* 191 (400–403).

- Karaca, E. ve Ozcelik, F., (2007). Influence of the Cross-Sectional Shape on the Structure and Properties of Polyester Fibers. *Wiley Periodicals, Inc. J Appl Polym Sci* 103: 2615–2621.
- Kumar, N., Kumar, P. ve Khare, J.M., (2018). Optimization of Surface Roughness Parameters for Cutting in WireEDM by Taguchi Method on Al 6063. *International Journal of Engineering Science and Computing*, Volume 8 Issue No.2.
- Kumar, H., Manna, A. ve Kumar, A., (2018). Modeling of Process Parameters for Surface Roughness and Analysis of Machined Surface in WEDM of Al/SiC-MMC. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, Volume 71, Issue 1, pp 231–244.
- Lawrence, C., (2014). Fibre to Yarn: Filament Yarn Spinning” Textiles and Fashion Materials. *Design and Technology A volume in Woodhead Publishing Series in Textiles 2015*, Pages 213–253
- Liang, J.F., Liao, Y.S. ve Kao, J.Y., (2018). Study of the EDM performance to produce a stable process and surface modification. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 95, Issue 5–8, pp 1743–1750.
- Mahapatra, S. S. ve Patnaik, A., (2006). Parametric optimization of wire electrical discharge machining (WEDM) process using taguchi method. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng.* vol.28 no.4 Rio de Janeiro.
- Mazarbhuiyaa, R.M., Choudhurya, P.K. ve Patowarib, P.K., (2018). An Experimental Study on Parametric Optimization for Material Removal Rate and Surface Roughness on EDM by using Taguchi Method. *Materials Today: Proceedings* Volume 5, Issue 2, Part 1, 2018, Pages 4621-4628.
- Ölmez, A.M., (2006). İşlenmiş saf titanyum-poselen adezyon bağlantısı için elektro erozyonla işlemede (EDM) işleme parametrelerinin tespit edilmesi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Makine Müh. Ana Bilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi, S.57.
- Özkan, S. ve Babaarslan, S., (2010). İplik kesitindeki filament sayısının filament ve tekstüre ipliklerin özellikleri üzerindeki etkisi. *Journal of Textile & Apparel / Tekstil ve Konfeksiyon* . 2010, Vol. 20 Issue 1, p17-22. 6p.
- Peterson, W.H. ve Morrison, K.G., (1985). Hollow trilobal cross-section filament. *patent: US4648830A*, fig1, <https://patents.google.com/patent/US4648830A>.
- Prakash, J.U. ve Ark., (2018). Optimization of Wire EDM Process Parameters for Machining Hybrid Composites (356/B4C/Fly Ash) using Taguchi Technique. *Materials Today: Proceedings* Volume 5, Issue 2, Part 2, 2018, Pages 7275-7283.
- Prajapati, M.M., Patel, V.D. ve Patel D.M., (2018). Experimental investigation of Wire EDM process parameters on surface roughness of AISI 304L during main cut and trim

cuts. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* e-ISSN: 2395-0056 Volume: 05 Issue: 03 p-ISSN: 2395-0072.

- Raghavan, B., Haidy, S. ve Lozano, K., (2013). Fabrication of Melt Spun Polypropylene Nanofibers by Forcespinning. *Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF)*, Vol. 8 Issue 1, p52-60. 9p.
- Ruamsuk, R., Takarada, W. ve Kikutani, T., (2016). Fine Filament Formation Behavior of Polymethylpentene and Polypropylene near Spinneret in Melt Blowing Process. *International Polymer Processing*: Vol. 31, No. 2, pp. 217-223.
- Ramanana, G., Dhasb, J.E.R. ve Ramachandran, M., (2017). Optimization of Material Removal Rate and Surface Roughness for Wire Electric Discharge Machining of AA7075 Composites using Grey Relational Analysis. *Int. J. Vehicle Structures & Systems*, 9(5), 309-312 International Journal of Vehicle Structures & Systems ISSN: 0975-3060 (Print), 0975-3540.
- Scott, D. ve Ark., (1991). Analysis and Optimization of Parameter Combinations in Wire Electrical Discharge Machining. *International Journal of Production Research*, 29(11), 2189-2207.
- Sonnenschein, M.F., (2001). Improved spinnerette design for extrusion of polymeric large internal diameter hollow fiber membranes. *Wiley Periodicals, Inc. J Appl Polym Sci* 83: 2157–2163.
- Sarkeshick, S. ve Ark. (2009). An investigation on the effects of heat-setting process on the properties of polypropylene bulked continuous filament yarns. *Journal of the Textile Institute*, Volume 100, Number 2, pp. 128-134(7).
- Sonawanea, S.A. ve Kulkarni, M.L., 2017 “Multi-quality Response Optimization of Wire EDM for Ni-75 using PCA based Utility theory” *Materials Today: Proceedings* Volume 5, Issue 2, Part 1, 2018, Pages 4584-4591
- Sun, Y. ve Ark., (2017). Experimental study on surface quality and machinability of Ti-6Al-4V rotated parts fabricated by low-speed wire electrical discharge turning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 95, Issue 5–8, pp 2601–2611
- Soekoco, A.S. ve Ark., (2018). Recycled fiber from straw waste: effect of take-up speed and spinneret diameter to linear density and tenacity. *MATEC Web of Conferences*, Volume 154, 01119
- Soni, H., Narendranath, S. ve Ramesh, M. R., (2018). Effects of Wire Electro-Discharge Machining Process Parameters on the Machined Surface of Ti50Ni49Co1 Shape Memory Alloy. *Silicon* ISSN: 1876-990X (Print) 1876-9918 pp.1-7

- Sudhakara, D., Prasanthi, G. ve Sandeep, R., (2018). Optimization of Parameters in Wire-EDM for Powder Metallurgical Cold Worked Tool Steel. *IJSRSET*, Volume 4, Issue 1, Print ISSN: 2395-1990 | Online ISSN : 2394-4099
- Sen, R. ve Ark., (2018). Optimization of wire EDM parameters using teaching learning based algorithm during machining of maraging steel 300. *Materials Today: Proceedings* Volume 5, Issue 2, Part 2, 2018, Pages 7541-7551
- Sonawanea, S.A. ve Kulkarnib, M.L., (2018). Multi-quality Response Optimization of Wire EDM for Ni-75 using PCA based Utility theory. *Materials Today: Proceedings* Volume 5, Issue 2, Part 1, 2018, Pages 4584-4591.
- Tarakçıoğlu, I., (1986). Tekstil Terbiyesi ve Makinaları, Cilt III. Aracılar Matbaa, İzmir, s. 38-185.
- Tosun, N., (2001). Tel erozyon tezgahında tel aşınmasının ve yüzey pürüzlülüğünün deneysel olarak incelenmesi ve modellenmesi. *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Abd.*, Doktora Tezi, syf.107.
- Tung, W-H., (2006). Spinneret plate for producing a bulked continuous filament having a three-sided exterior cross-section and a convex six-sided central void. *patent: US20060008548A1, fig2.* <https://patents.google.com/patent/US20060008548>.
- Teke, Ş., (2010). Polyester iplik üretiminde düze sonrası iplik akışının fluent programı kullanılarak modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı* S.120.
- Turan, M.D. ve Altundoğan H.S., (2011). Hidrometalurjik araştırmalarda yanıt yüzey yöntemlerinin kullanımı. *Fırat Üniversitesi, Mühendislik fakültesi, Met. Mal. Müh. Böl*, Madencilik, Cilt 50, sayı 3, sayfa 11-23.
- Task Metalurji, Müh., (2014). 1.4057 / 1.2787 - Paslanmaz Çelik / Sıcak İş Takım Çeliği özet bilgi. Anonim, <http://www.taskmetal.com/Turkce/celikler/celik4057.htm>.
- Ubaid, A.M. ve Ark., (2017). Optimization of Electro Discharge Machining Process Parameters With Fuzzy Logic for Stainless Steel 304 (ASTM A240). *J. Manuf. Sci. Eng* 140(1), 011013, pages 13, Paper No: MANU-17-1164.
- Ürkmez, G., (2001). Ön çekime uğramış tekstil iplik üretim projesi işletme koşullarının ürün kalitesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst*, Sayfa 78.
- Ünal, D., (2014). Spinneret geometrisinin çok fazlı akışkanların akış özellikleri üzerine etkilerinin hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Sabancı Üniversitesi / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bilim Dalı*. S. 54.

- Ünver, M., (2004). Al-SiCp kompozit malzemelerinin tel erozyon ile işlenebilirliğinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Abd.*, Yüksek Lisans Tezi, Syf. 111.
- Wang, Y., Wang, M. H. ve Lu, W.H., (2016). Study on processing of shaped spinneret orifices and their effects on spinning. *Shanghai Engineering Science University, Shanghai 201620, China.*
- Wang, C.X., He, W.Y. ve Xiao, Y., (2018). Fabrication of Micro Structures by Ultrashort Voltage Pulse Electrical Discharge Machining. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 6, 235-243.
- Yan, M-T. ve Lai, Y-P., (2007). Surface quality improvement of wire-EDM using a fine-finish power supply. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Volume 47, Issue 11, Pages 1686-1694.
- Yurtkuran, E. ve Ark., (2011). Alüminyum Esaslı T/M Malzemelerin Tel Elektro Erozyon Tezgahında İşlenebilirliklerinin Araştırılması. *6 th International Advanced Technologies Symposium IATS'11.*
- Yıldırım, S., (2011). Ürün tasarımı geliştirilmesi: Taguchi tasarımı. *Başkent Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, sayfa 56.*
- Yıldırım, S. ve İç, Y.T., (2012). Çok kriterli karar verme yöntemleriyle birlikte taguchi yöntemini kullanarak bir ürünün tasarımının geliştirilmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 27, No 2, 447-458.
- Yurtkuran, H., (2013). Dın 1.2344 Çeliğinin tornalanmasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi. *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens.*, Yüksek Lisans Tezi, Sayfa 108.
- Yeh, C.C. ve ark., (2013). Study on surface characteristics using phosphorous dielectric on wire electrical discharge machining of polycrystalline silicon. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 69, Issue 1-4, pp 71-80.
- Yıldırım, B. ve Koç, M., (2013). Polipropilen halı ipliği üreten bcf makinası ve işlem parametrelerinin iplik özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, s.76.*
- Yılmaz, V., (2013). Elektro Erozyon ile işleme yöntemiyle mikro deliklerin delinebilirliğinin deneysel olarak incelenmesi. *Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, S.210.*
- Yılmaz, V. ve Ark., (2014). Hadfield çeliğine elektro erozyon ile işleme yöntemiyle mikro derin deliklerin delinmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi. *Yayın; Akademik Platform, ISITES2014, At Karabuk - TURKEY, Volume: 1.*

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TAŞKIN, Volkan Cem
 Uyuşu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.06.1989, Adana
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (533) 145 61 17
 e-mail : volkancem.taskin@gmail.com



Eğitim

Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Makina Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Mustafa Kemal Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2010
Lise	Adana Borsa Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2015-Halen	TUNGALOY KESİCİ TAKIMLAR A.Ş.	Bölge Yöneticisi
2012-2015	ISCAR KESİCİ TAKIMLAR LTD.	Bölge Yöneticisi
2011-2012	SİLSAN SİLİNDİR VE MOT. ELM A.Ş	Uretim Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Kanca, E., Taşkın, V.C. and Günen, A., (2018). A Modeling Study on Surface Roughness of Spinneret Mold Sections Machined By Wire EDM. Sakarya University Journal of Science, e-ISSN: 2147-835X, 428457, p: 8.

Hobiler

Masa tenisi, Motosiklet ve çeşitli sportif aktiviteler.

DİZİN

A

akım · VII, 8, 10, 15, 16, 17, 18,
19, 22, 26, 29, 37, 49, 52, 54,
55, 60, 62, 63, 64, 66, 68, 69,
70, 72
ANOVA · 16, 17, 18, 21, 33, 37
ARAŞTIRMA VE BULGULAR · V, 40

B

BCF · I, IV, VIII, 1, 2, 4, 10, 32, 72
Birlik Makine · VIII, 25

D

düze · I, VII, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11,
12, 13, 14, 15, 72, 78
Düze · 80

İ

işleme · 1, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16,
17, 22, 25, 27, 37, 40, 76, 79

L

literatür · 18, 21, 26, 36, 37

M

MATERYAL VE YÖNTEM · IV, 22

Ö

Ölçü tamlığı · V, 34, 56, 62
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR · IV, 11

P

Puls · VII, 10, 15, 16, 17, 18, 19,
20, 21, 22, 27, 28, 32, 34, 35,
40, 42, 43, 47, 48, 49, 53, 54,
55, 61, 62, 63, 66, 68, 70, 71

S

spinneret · I, 1, 4, 13, 77, 78

T

Taguchi · V, VI, 17, 21, 33, 34, 36,
40, 41, 42, 44, 48, 50, 51, 56,
62, 64, 65, 66, 74, 75, 76, 79
Tel Erozyon · IV, 8, 14
tel ilerleme hızı · VII, 10, 18, 20,
21, 22, 26, 34, 35, 37, 40, 48,
63, 68, 69, 71, 72

V

Varyans · V, 37, 38
Voltaj · VII, 10, 15, 17, 19, 26, 27,
28, 32, 34, 35, 40, 42, 43, 46,
48, 49, 52, 53, 54, 59, 62, 63,
66, 67, 68

Y

Yüzey pürüzlülük · IV, V, 19, 30,
41, 44, 48
Yüzey yanıt yöntemi · 65, 72



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

