



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Al 7075'in CNC FREZELENMESİNDE İŞLEM
PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE
KESME ENERJİSİNE ETKİSİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE
OPTİMİZASYONU**

Ali PINARBAŞI

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TARSUS-2019

TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Al 7075'in CNC FREZELENMESİNDE İŞLEM
PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE
KESME ENERJİSİNE ETKİSİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE
OPTİMİZASYONU**

Ali PINARBAŞI

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ**

İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TARSUS-2019

ONAY

Ali PINARBAŞI tarafından Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ danışmanlığında hazırlanan ‘‘Al 7075’in CNC Frezelenmesinde İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne ve Kesme Enerjisine Etkisinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu’’ başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından/...../..... tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği/çokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

| Görevi | Ünvanı, Adı ve Soyadı | İmza |
|--------|---------------------------------|------|
| Başkan | Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ | |
| Üye | Prof. Dr. Uğur EŞME | |
| Üye | Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN | |

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Osman Murat ÖZKENDİR
Lisansüstü Enstitü Müdürü

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

ETİK BEYAN

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

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

ETHICAL DECLARATION

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

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

...../...../ 2019

İmza / Signature

Ali PINARBAŞI

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| TEŞEKKÜR | iii |
| TABLolar DİZİNİ | iv |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | v |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 2 |
| 3. TAGUCHİ METHODU | 7 |
| 3.1. Sistem Tasarımı | 7 |
| 3.2. Parametre Tasarımı | 7 |
| 3.3. Tolerans Tasarımı | 8 |
| 4. TALAŞLI İMALAT | 11 |
| 4.1. Talaşlı İmalatta Yüzey Kalitesi | 11 |
| 4.2. Freze Tezgâhları | 12 |
| 4.3. Frezeleme Prosesi | 13 |
| 4.3.1. Çevresel Frezeleme | 14 |
| 4.3.2. Alın Frezeleme | 15 |
| 5. MATERYAL ve YÖNTEM | 16 |
| 5.1. Deneyde Kullanılan Malzeme Özellikleri | 16 |
| 5.2. Deneyde Kullanılan Takım Tezgâhı Özellikleri | 17 |
| 5.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takım Özellikleri | 18 |
| 5.4. Deneyde Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı | 20 |
| 5.5. Deneyde Kullanılan Pens Ampermetre Cihazı | 21 |
| 5.6. Deney Tasarımı | 21 |
| 6. BULGULAR ve TARTIŞMA | 22 |
| 6.1. Kesme Enerjisi Hesabı ve Analizi | 26 |
| 6.1.1. Enerji Hesaplamaları | 30 |
| 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER | 35 |
| KAYNAKLAR | 37 |
| ÖZGEÇMİŞ | 109 |

ÖZET

Al 7075'in CNC FREZELENMESİNDE İŞLEM PARAMETRELERİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE VE KESME ENERJİSİNE ETKİSİNİN TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada, talaşlı imalatta yaygın bir uygulama alanı olan CNC Frezeleme prosesinde 7075 serisi alüminyum malzemenin kuru ortam şartlarında Taguchi yöntemi kullanılarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme enerjisi için en uygun işlem parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İşlem parametreleri ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği olarak belirlenmiş olup bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne, şebeke üzerinden çekilen akım miktarına ve tüketilen enerji üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Deneylerin analizinde Taguchi yönteminin kullanılması çeşitli kontrol ve gürültü faktörleri göz önüne alındığında, bir yanıt değişkeninin optimize edilebileceği etkin ve etkili deneysel yöntem olmasıdır. Ayrıca daha az deneysel çalışma yapılarak en uygun işlem parametrelerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Bu da hem zaman hem de maliyet açısından avantaj sağlamıştır. Deneyler sonucunda en iyi yüzey pürüzlülük değeri $0,39\mu\text{m}$ olarak bulunmuştur. Bu değer, ilerleme hızının 200mm/dk , kesme hızının 2000dev/dk ve kesme derinliğinin $0,5\text{mm}$ olduğu deney koşullarında elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre ilerleme hızı olmuştur. Deneyler sonucunda en düşük akım miktarı $0,9\text{A}$ olarak bulunmuştur. Bu değer, ilerleme hızının 150mm/dk , kesme hızının 1000dev/dk ve kesme derinliğinin $0,5\text{mm}$ olduğu deney koşullarında elde edilmiştir. Şebekeden çekilen akıma en çok etki eden parametre kesme derinliği olmuştur. Belirlenen akım miktarı ve işlem süresi göz önüne alınarak tüketilen en düşük enerji miktarı $7089,28\text{j}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, ilerleme hızının 250mm/dk , kesme hızı 1500 dev/dk ve kesme derinliği $0,5\text{mm}$ olduğu deney koşullarında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Frezeleme İşlemi, Taguchi Metodu, Yüzey Pürüzlülüğü, Enerji

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ, Tarsus Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tarsus-Mersin.

ABSTRACT

THE OPTIMIZATION OF THE EFFECT OF TREATMENT PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS AND CUTTING ENERGY IN THE CNC MILLING OF AL 7075 WITH TAGUCHI METHOD

In this study, it is aimed to determine the most suitable process parameters for surface roughness and cutting energy by using Taguchi method in 7075 series aluminum material in dry environment conditions in CNC Milling process which is a common application area in machining. The process parameters are defined as feedrate, cutting speed and depth of cut. The surface roughness of these parameters, the amount of current taken over the network and the effects on the energy consumed are examined. Using the Taguchi method in the analysis of the experiments is the effective and effective experimental method in which a response variable can be optimized, given the various control and noise factors. In addition, less experimental studies were performed to determine the most appropriate process parameters. This provided an advantage both in terms of time and cost. As a result of the experiments, the best surface roughness value was found to be $0.39\mu\text{m}$. This value was obtained under experimental conditions where the feedrate was $200\text{mm}/\text{min}$, the cutting speed was 2000 rpm and the cutting depth was 0.5 mm . It has been the parameter feed rate that has the greatest effect on surface roughness. As a result of the experiments, the lowest current amount was found as 0.9A . This value was obtained under test conditions where the feed rate was $150\text{ mm} / \text{min}$, the cutting speed was 1000 rpm and the cutting depth was 0.5 mm . The parameter that has the most effect on the current drawn from the network has been the depth of cut. Considering the current quantity and processing time, the minimum energy consumed was calculated as $7089,28\text{j}$. This value was obtained under experimental conditions where the feed rate was $250\text{ mm} / \text{min}$, the cutting speed was 1500 rpm and the cutting depth was 0.5 mm .

Key Words: Milling Process, Taguchi Method, Surface Roughness, Energy

Advisor: Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ , Department of Manufacturing Engineering, Tarsus University, Tarsus-Mersin.

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın her aşamasında değerli katkılarıyla her zaman yol gösteren, sonsuz sabırla her zaman çalıőmaya teővik eden ve her daim desteklerini esirgemeyen değerli danıőmanım Prof. Dr. Mustafa Kemal KÜLEKÇİ'ye en içten teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmam boyunca deneylerin yapılması için her türlü desteği sağlayan ALTUNORAK Kalıp Makine ve İmalat San. Tic. Ltd. Őti. firmasının değerli yöneticilerine teşekkür ederim.

Her aőamada manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen arkadaőım Ali ŐAH'a ve bu süreçte her zaman arkamda olan ve maddi-manevi her türlü desteği sağlayan değerli ailem; babam Orhan PINARBAŞI'na, annem Ayőe PINARBAŞI'na, ablam Esra ELİAğIR'a ve niőanlım Őerife TEKİN'e içtenlikle teşekkür ederim.



TABLolar DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Tablo 5.1. 7075 serisi alüminyum malzemenin mekanik özellikleri | 16 |
| Tablo 5.2. 7075 serisi alüminyum malzemenin kimyasal özellikleri | 17 |
| Tablo 5.3. Takım tezgâhı özellikleri | 17 |
| Tablo 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı özellikleri | 20 |
| Tablo 5.5. Değişkenler ve seviyeleri | 21 |
| Tablo 6.1. Taguchi <i>L9</i> deney tasarımı, yüzey pürüzlülük ve S/N oran değerleri | 22 |
| Tablo 6.2. Yüzey pürüzlülüğü S/N yanıt tablosu | 24 |
| Tablo 6.3. Akım ve S/N değerleri | 26 |
| Tablo 6.4. Akım S/N yanıt tablosu | 28 |



ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 3.1. Taguchi metodu akış şeması | 9 |
| Şekil 4.1. İşlenen bir parçanın yüzeyi | 12 |
| Şekil 4.2. Üniversal ve CNC freze tezgâhları | 13 |
| Şekil 4.3. Frezeleme operasyonlarının iki temel tipi: (a) çevresel frezeleme (b) alın frezeleme | 14 |
| Şekil 4.4. Çevresel frezeleme: (a) vals frezeleme, (b) kanal açma, (c) yan frezeleme, (d) çifte frezeleme ve (e) biçimleme frezeleme | 14 |
| Şekil 4.5. 20 dişli freze çakısı ile yapılan çevresel frezelemenin iki türü: (a) yukarı frezeleme ve (b) aşağı frezeleme | 15 |
| Şekil 5.1. Al 7075 deney numuneleri | 16 |
| Şekil 5.2. Deneyde kullanılan CNC Dik işlem tezgâhı | 18 |
| Şekil 5.3. Deneylerde kullanılan freze çakısı | 19 |
| Şekil 5.4. Freze çakısı özellikleri | 19 |
| Şekil 5.5. Deneyde kullanılan kesici uç | 19 |
| Şekli 5.6. Kesici uç özellikleri | 19 |
| Şekil 5.7. Deneyde kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı | 20 |
| Şekil 5.8. Deneyde kullanılan pens ampermetre | 21 |
| Şekil 6.1. İşlem parametrelerinin S/N oran grafiği | 23 |
| Şekil 6.2. İşlem parametrelerinin yüzey pürüzlülük değer grafiği | 23 |
| Şekil 6.3. İlerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği | 24 |
| Şekil 6.4. İlerleme hızı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği | 25 |
| Şekil 6.5. Kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği | 25 |
| Şekil 6.6. İşlem parametrelerinin S/N oran grafiği | 27 |
| Şekil 6.7. İşlem parametrelerinin akım değer grafiği | 27 |
| Şekil 6.8. İlerleme hızı ve kesme hızının akıma etki grafiği | 28 |
| Şekil 6.9. Kesme derinliği ve kesme hızının akıma etki grafiği | 29 |
| Şekil 6.10. Kesme derinliği ve ilerleme hızının akıma etki grafiği | 29 |
| Şekil 6.11. İşlem parametrelerinin enerji değer grafiği | 31 |
| Şekil 6.12. Kesme derinliği ve ilerleme hızının tüketilen enerjiye etki grafiği | 32 |
| Şekil 6.13. Kesme hızı ve ilerleme hızının tüketilen enerjiye etki grafiği | 32 |
| Şekil 6.14. Kesme hızı ve kesme derinliği tüketilen enerjiye etki grafiği | 33 |

1. GİRİŞ

Mekanik işleme çoğu imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır, dolayısıyla enerji için büyük bir talebi temsil etmektedir. Modern endüstrilerdeki önemli amaç, ürünleri kısa sürede düşük maliyetle ve yüksek kalitede üretmektir [1]. Yüzey kalitesi işlenmiş bileşenlerin verimliliğini değerlendirmek için önemli bir parametredir. Dolayısıyla, istenen yüzey kalitesini elde etmek, mekanik parçaların işlevsel davranışı için büyük önem taşır [2, 3].

Maliyet ve üretkenliğe dayalı olarak talaşlı imalat işlemlerinin on yıllar boyunca optimize edilmesine rağmen, enerji kullanımının optimize edilmesi önemli bir ilgi görmemiştir. Takım tezgâhlarının enerji tüketimini azaltmak, üretim süreçlerinin ve sistemlerin çevresel performansını önemli ölçüde artırabilir. Ayrıca, birçok tüketici ürününün imalatında işleme proseslerinin kullanılmasından dolayı, işleme bazlı üretim sistemlerinin enerji verimliliğinin artırılması, tüketici ürünlerinin çevresel etkilerinde önemli bir düşüş sağlayabilir [4].

Frezelemede, frezelenmiş bileşenlerin fonksiyonel davranışında yüzey kalitesi büyük önem taşır. Finitiş işleme prosesinde yaygın olarak kullanılan ürün kalitesi endeksi, yüzey pürüzlülüğüdür[2]. Yüzey pürüzlülüğü, bir ürünün teknolojik kalitesinin ve üretim maliyetini büyük ölçüde etkileyen bir faktörün önemli bir ölçüsüdür [5, 6]. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler işleme koşulları, iş parçası malzemesi ve takım geometrisidir. Bu nedenle frezelenmiş bir üründe daha iyi bir yüzey kalitesi elde etmek için optimum işleme parametreleri ve takım geometrisi seçilmelidir [7].

Deney tasarımı, kontrol faktörlerinin performans çıktısı üzerindeki etkisini modellemek ve analiz etmek için güçlü bir analiz aracıdır. Geleneksel deneysel tasarımın özellikle çok sayıda deneyle uğraşırken ve işleme parametre sayısı arttırıldığında kullanılması oldukça zordur. Son yıllarda, Taguchi yöntemi araştırma ve geliştirme sırasında verimliliği arttırmak için güçlü bir araç haline gelmiştir [8]. Taguchi deneysel tasarım yöntemi, deney tasarımını optimize etmek için basit, verimli ve sistematik bir yaklaşımdır [9, 10]. Bu tekniği uygulayarak birden fazla faktörün performans üzerindeki etkilerini araştırmanın yanı sıra hangi faktörün daha fazla etkiye sahip olduğunu belirlemek için bireysel faktörlerin etkisini incelemede etkili olduğu gibi deneysel araştırma için gerekli zamanı önemli ölçüde azaltabilir [10, 11, 12]. Böylece yüksek kaliteli ürünler hızlı ve düşük maliyetle üretilebilir [8].

Bu çalışmada Al7075 serisi alüminyum parçanın CNC Frezelenmesinde işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme enerjisine etkisini belirlemek için kullanılan deneysel tasarım yöntemi olan Taguchi metodundan bahsedilmiş, frezeleme prosesine değinilmiştir. Ayrıca deney ve sonuçları detaylı olarak ele alınmış ve anlatılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Enerji ülkelerin iktisadi ve sosyal kalkınması için önemli girdilerin başında gelir. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılayan petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi, enerji tüketimindeki hızlı artışa bağlı olarak ozon tabakasının incilmesi, sera gazı emisyonlarının insan yaşamını tehdit eder duruma gelmesi nedeniyle, enerji günümüzün en önemli sorunlarından birini oluşturmaktadır.

Enerji talebinin % 70'ini ithalatla karşılayan Türkiye'de kalkınma ve sanayileşmede bir engel oluşturmaması için enerjinin verimli kullanılması önemli hâle gelmiştir. Yapılan çalışmalara göre sadece enerjiyi verimli kullanarak yıllık nihai enerji tüketiminin %30'u kadar tasarruf sağlanacağı ifade edilmektedir.

Türkiye'de enerji tüketiminin yaklaşık % 43'ü sanayide gerçekleşmekte olup en büyük pay bu sektöre aittir. Bu nedenle ilk enerji tasarrufu çalışmaları da bu sektöre yönelik olmuştur [13].

Takım tezgâhlarında enerji verimliliğinin artırılması, işleme sistemlerinin çevresel performansını önemli ölçüde artırabilir. Çoğu geleneksel yaklaşımda tork sensörleri ve dinamometreler kullanılarak kesme gücünü doğrudan ölçerek enerji verimliliği izlenmiştir. İzlenen bu yöntemde kullanılan ekipmanların maliyeti fazla olduğundan dolayı uygulama maliyetini düşüren yeni bir çevrimiçi yaklaşım gereklidir [14].

Modern endüstrilerdeki önemli amaç, ürünleri kısa sürede düşük maliyetle ve yüksek kalitede üretmektir [15]. Bilgisayar kontrollü (CNC) makineler, düşük maliyetle ve kısa sürede üretime ulaşırken yüksek yüzey kalitesi elde etmek için kullanılır [16]. CNC-frezleme özellikle 7075-T6 alüminyumun işlenmesinde tercih edilir. Bu malzeme yüksek direnç, iyi iletim ve yüksek tokluk özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, uçak gövdelerinde düşük ağırlıkta plaka, tabaka ve ekstrüzyon elde etmek için yaygın olarak kullanılır [17, 18].

Üretim maliyetlerini düşürmek ve optimum yüzey kalitesini sağlamak için, malzemenin optimal parametreler kullanılarak işlenmesi önemlidir [19, 20]. Optimum işleme parametrelerinin seçimi ve deneysel çalışmalar ile parametreler arasındaki etkileşimlerin araştırılması imalat alanında büyük önem taşımaktadır [21, 22].

Literatür incelendiğinde genelde yapılan çalışmaların çeşitli imalat çelikleri, alüminyum malzemeler veya paslanmaz malzemeler kullanılarak bu malzemelerin farklı imalat yöntemleri kullanılarak yüzey kalitelerinin optimizasyonu deneysel yöntemler yardımıyla incelenmiştir. Fakat enerji ile ilgili çalışmalar ise ülkemizde yok denecek kadar azdır. Yapılan bu çalışmada talaşlı imalat işlemlerinde ürün imal ederken yüksek yüzey kalitesini en az enerji harcayarak elde edilmesi amaçlanmıştır ve böylece maliyetlerde azalma sağlanacaktır.

Bensouilah ve arkadaşları, Taguchi metodu kullanarak kaplamalı ve kaplamasız sert tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti analizi yapmışlardır. Deneysel yüzey pürüzlülüğü,

kaplamalı seramik uçlarda daha iyi çıkarken, kesme kuvvetinin ise kaplamasız seramik uçlarda daha düşük olduğunu belirlemişler [23].

Noordin ve arkadaşları, AISI 1040 çelik malzemeyi kaplamalı kesici uçla tornalama operasyonuna tabi tutmuşlar ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmışlar. Çalışmaları sonunda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin ilerleme olduğunu bulmuşlardır [24].

Ucun ve Aslantaş, kaba tornalamada kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sertleştirilmiş AISI 52100 kalite taşıyıcı çelikleri kaplanmış karbür kesici takımlarla işleme sırasında takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü açısından işleme performansını incelediler. Deneysel çalışmalarında dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme hızı ve iki farklı kesme derinliği kullanılmıştır. Sonuç olarak, karbür kesici takımların özellikle yüksek kesme parametrik değerlerinde kaba tornalama işlemi için uygun olmadığını gözlemlemişlerdir [25].

Shivashankar ve arkadaşları, Taguchi yöntemi ve Varyans Analizi (ANOVA) kullanılarak Alüminyum Alaşım 6061 T6 silindirik çubukların tornalama işleminde kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği gibi işlem parametreleri kullanılarak yüzey pürüzlülüğünü optimize etmişlerdir. Yüzey kalitesinin en optimum değeri kesme hızı 429 m / dak, besleme hızı 0.05mm / dak ve kesim derinliği 1 mm ile elde edilir. Bu işlem parametreleri optimum süreç parametreleri olarak kabul edilir [26].

Bhushan, deney tasarım yöntemi olan tepki yüzeyleri metodolojisini (RSM) kullanarak CNC Torna makinesinde metal matrisli kompozitlerin (MMC) işlenmesi sırasında enerji tüketiminin azaltılması ve takım ömrünü en üst düzeye çıkarmayı amaçlamıştır. İşleme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve takım radüsü alınmıştır ve sonuç olarak optimizasyonu yapılan değerlerle işlem yapıldığında güç tüketimi %13.55 azaldığı ve takım ömrünün %22.12 oranında arttığı gözlemlenmiştir [4, 8].

Carmita Camposeco-Negrete, minimum enerji tüketimini elde etmek için AISI 6061 T6'nın kaba tornalanması sırasında kesme parametrelerini optimize etmeye çalışmışlardır. Faktörler olarak kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğini almışlar ve analizi için S/N, ortogonal dizi ve ANOVA'yı kullanmışlardır. Enerji tüketimini ve yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu ve minimum enerji tüketimi sağlanmasına karşın minimum yüzey pürüzlülüğü sağlanamamıştır [27].

Zhou ve arkadaşları, malzemenin birimi başına işlem süresini ve enerji tüketimini en aza indirmeye odaklanan çok amaçlı bir kesme parametresi optimizasyon modeli önerilmiştir. Takım tezgâhının işleme kapasitesi, takım ömrü, parçanın yüzey pürüzlülüğü ve boşa harcanan sürme enerjisi faktör olarak dikkate alınmıştır. Optimizasyon modelini çözmek için genetik bir algoritma kullanılmış ve parametrelerin makinenin enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Önerilen yöntemi doğrulamak için deneyler Taguchi tasarım ilkeleri kullanılarak bir frezeleme işlemi için tasarlanmıştır [28].

Kant ve Sangwan, optimum işleme parametrelerini elde etmek için, temel bileşen analizi ve tepki yüzeyi metodolojisi ile birleştirilmiş gri ilişkisel analiz kullanılarak güç tüketiminin ve yüzey pürüzlülüğünün en aza indirilmesi hedeflenmiştir. İşlem parametreleri olarak ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızını almıştır. Deney sonucunda güç tüketiminde %6.59 azalma ve yüzey pürüzlülüğünde %2.65 oranında iyileşme sağlanmıştır [29].

Hanafi ve arkadaşları, kuru şartlar altında TiN takımlarını kullanarak PEEK-CF30'un kesim parametrelerini optimize etmek için gri ilişkisel teori ve Taguchi optimizasyon metodolojisini kullanmışlardır. Optimizasyonun amacı, aynı anda minimum güç ve en iyi yüzey kalitesini elde etmektir. Elde edilen sonuçlar kesme derinliğinin (%44,54) en etkili parametreler olduğunu ve ardından kesme hızını (%36,14) ve besleme oranını (%6,39) ortaya çıkarmıştır [30].

Fratila ve Caizar, AlMg3'ü HSS takımı ile işleyerek en iyi yüzey pürüzlülüğünü ve minimum güç tüketimini elde etmek için yüzey frezelemede kesim koşullarını optimize etmek için Taguchi metodolojisi uygulanmıştır. Söz konusu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini analiz etmek için uygun ortogonal dizi, sinyal / gürültü oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Sonuç olarak, güç tüketimini en aza indirmek için optimum kesme koşullarının minimum kesme derinliği, minimum besleme hızı, minimum kesme hızı ve maksimum yağlama akış hızı olduğu görülmüştür [31].

Sarıkaya ve Güllü, AISI 1050 çeliğinin tornalanmasında soğutma koşullarının, kesme hızının, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve profilin ortalama maksimum yüksekliğine etkisini incelemek için RSM matematiksel model kullanılmıştır. ANOVA sonuçları besleme hızı ve soğutma koşulunun işlenmiş yüzey pürüzlülüğü üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ra'yı en çok etkileyen etken %68,68 ilerleme hızı, ardından %16,90 katkısı olan soğutma koşulları olmuştur. Rz %77.50 katkısı ile ilerleme hızı oranından etkilenmiştir. Onay deneyleri, gerçek ve deneysel veriler arasındaki yüzde sapma oranının %2,72 ile %7,14 arasında olduğunu göstermiştir [32].

Çetin ve arkadaşları, AISI 304L östenitik paslanmaz çeliğin karbür kesici aletle tornalanması sırasındaki yüzey pürüzlülüğü, kesme ve besleme kuvvetlerini azaltmak için bitkisel bazlı kesme sıvılarının ve kesme parametrelerinin (iş hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak besleme hızının ve kesme derinliğinin etkilerinin, kuvvetlerin azaltılması ve yüzey kaplamanın iyileştirilmesinde akışkanların ve iş mili hızlarının kesilmesinden daha etkili olduğu görülmüştür [33].

Lee ve arkadaşları, üç eksenli bir freze makinesinin enerji tüketimini azaltmak için sanal bir makine takımını (VMT) kullanan simülasyon temelli bir yöntem önerilmiştir. VMT modeli, işleme sırasında enerji tüketimini tahmin etmeye odaklanmak için tasarlanmıştır ve gerçek takım tezgahlarının kopyalanmasıyla geliştirilmiştir. VMT modeline dayanarak, enerji tüketimini azaltmak için işleme koşullarını optimize etmek için genetik bir algoritma kullanılır [34].

Li ve arkadaşları, farklı işleme proseslerini kapsayan çeşitli tezgahların sabit enerji tüketimini araştırmışlardır ve işleme sırasındaki sabit güç talepleri bileşen bazında ölçülüp her tezgahın enerji dağılımını karşılamışlardır [35].

Bağcı ve Özçelik, Taguchi yöntemini kullanarak, kesme parametrelerinin tasarım optimizasyonu için delme parametrelerinin bükümlü matkap ucu sıcaklığı üzerindeki etkilerini araştırdı. Çalışmaları, Taguchi yönteminin deney tasarımında kullanılan güçlü bir yaklaşım olduğunu ortaya koydu [36].

Okwudire ve Rodgers, yüksek performans ve enerji tasarruflu verimli işleme elde etmek için bir hibrit besleme tahrik sistemi önermiştir. Düşük enerji tüketimi ile hızlı geçiş için doğrusal motorlu direkt tahrik kullanmışlardır [37].

Abele ve arkadaşları, bir üretim işleminin enerji tüketimini tahmin etmek için bir makine takım simülasyon modeli önerdi. Takım tezgahı bileşenlerinin enerjik etkileşimleri modellenmiştir ve belirli bir üretim görevi için toplam enerji tüketimi tahmin edilmiştir [38].

Tsao ve Hocheng, kompozit malzemenin delinmesinde itme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü tahmin ve değerlendirmelerini gerçekleştirdi. Taguchi ve yapay sinir ağı yöntemlerini kullandı. Deneysel sonuçlar, besleme hızı ve delme çapının, itme kuvvetini etkileyen en önemli faktörler olduğunu gösterirken, besleme hızı ve iş mili hızı, yüzey pürüzlülüğüne en fazla katkıda bulunduğu tespit edilmiştir [39].

Kurt ve arkadaşları Taguchi yöntemini kuru delme işlemlerinde yüzey kalitesi ve delik çapı doğruluğu için kesme parametrelerinin optimizasyonunda kullandı. Taguchi yaklaşımının süreç optimizasyonuna geçerliliği iyi tespit edildi [40].

Davim ve Reis, Taguchi yöntemini ve ANOVA'yı kullanarak kesme hızı ve ilerleme hızı ile kompozit bir laminattaki delaminasyonla korelasyon oluşturmak için çalışmalar yaptı [41].

Kopac ve arkadaşları, Taguchi deney planına doğru ince dönüşlerde istenen yüzey pürüzlülüğü için en uygun işleme parametrelerini göz önüne aldı. Her işlem parametresinin pürüzlülük (Ra) üzerindeki etkisini göstermek için varyans analizi ve sinyal-gürültü oranı uygulanmıştır [42].

Baharudin ve arkadaşları yüzey frezelemesini HSS kesici uçlarıyla AA 6061 malzemesi üzerinde uyguladılar ve Taguchi metodu ile ölçümlerden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerini optimize ettiler. Çalışmalarında yüzey pürüzlülüğü için optimize edilmiş parametreler 884 rpm iş mili hızı, 243 mm / dak besleme hızı ve 0 ° eksenel talaş açısı bulunmuş ve çalışmaları S / N grafiği ile desteklenmiştir [43].

Pınar, işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve cep işleminde minimum yüzey pürüzlülüğü faktör düzeylerinin AA 5083 malzemesi üzerindeki etkisini araştırmış ve L27 OA'ya dayanan deneyler ANOVA ve sinyal-gürültü oranlarıyla Taguchi tekniği kullanılarak değerlendirildi. Bu çalışmalar sadece Taguchi tekniğiyle sınırlıydı ve matematiksel model için regresyon analizi kullanılmadı [44].

Yang ve Tarn, optimum kesme parametrelerini belirlemek için Taguchi yöntemini kullandı. S45C çelik iş parçasını karbür kesici aletlerle işlediler. Seçilen kesme parametreleri kesme hızı, ilerleme

hızı ve kesme derinliğidir. Kesme parametrelerinin takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini belirlemek için Taguchi'nin sinyal-gürültü oranı ve varyans analizi kullanılmıştır. Çalışmaları sonucunda optimum kesme parametreleri elde ettiler [45].

Ranganath M.S ve arkadaşları Taguchi metodunu kullanılarak minimum yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için alüminyum (6061) CNC tornalanmasında işlem parametrelerinin kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin analizi yapılmış ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi önerilmiştir. Ayrıca ANOVA analizi yapılmıştır [46].

D.Philip Selvaraj ve arkadaşları, tornalama işlemlerinin alıntılanan karbür kesici alet ile yapılmasını önerdi. Deneyler 3 farklı hızda gerçekleştirildi. Kesme parametreleri ANOVA kullanılarak optimize edilmiştir [47].

Manikanda Prasath K. ve arkadaşları, EN31 çeliğinde tornalama işlem parametrelerini araştırıyor. Çalışma için kabul edilen girdi parametreleri kesme hızı (S), besleme (F) ve kesme derinliğidir (d). Yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve malzeme kaldırma oranı (MRR) cevap değişkenleri olarak kabul edilir. Deneyin istatistiksel planlaması Taguchi ve cevap yüzeyi metodolojisi (RSM) kullanılarak yapılır [48].

Ashutosh Gupta ve arkadaşları, CBN uçlarını kullanarak eşlik, düzlük ve pürüzlülük (Rz) gibi üç yüzey parametresi dikkate alınarak yatay üç eksenli CNC freze makinesinde GG-30 dökme demirin yüzey frezelemesi için işleme parametreleri ve takım yolunun derinlemesine bir analizini sağlar. İki kesme derinliği için üç seviye göz önünde bulundurulmuş olup iş mili devri, ilerleme hızı ve rampa açısıdır. Ayrıca deneysel denemeler için taguchi dizisi belirlendi. Gri İlişkisel Analiz ile birleştirilmiş Taguchi Metodu kullanılarak çoklu cevaplar için en uygun çözümler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar kesme hızının veya devir sayısının kontrol faktörleri arasında en yüksek katkısı olduğunu göstermektedir [49].

Ravi Kumar ve arkadaşları, deney planı olarak L9 ortogonal dizisini kullanarak bir CNC makinesinde titanyum alaşımını döndürerek yüzey pürüzlülüğünü analiz etti. Amaç, Taguchi yöntemi kullanılarak yapılan kesme parametrelerini optimize etmektir. DOE tarafından elde edilen yanıt tablosuna dayanarak, optimum yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması elde edildi [50].

3. TAGUCHİ METHODU

Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen Taguchi tasarımı, tasarım aşamasında malzeme ve üretim süreçlerinin doğasında var olan değişkenliğin dikkate alındığı bir dizi metodolojidir. Geleneksel deneysel tasarımın, özellikle çok sayıda deneyle uğraşırken ve işleme parametresi sayısı arttığında kullanılması zordur. Taguchi, deney tasarımına kuramsal yenilikler getirmemiştir. Ancak, üretimdeki uygulamalarda yenilikler yapmış ve başarılı uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır. Bu tekniğin uygulanması 1980'lerden sonra birçok ABD ve Avrupa endüstrisinde yaygınlaşmıştır. Taguchi tasarımının güzelliği, aynı anda birden fazla faktörün göz önünde bulundurulmasıdır [6, 51, 52, 53].

Dr. Taguchi ürün ve proses tasarımı için üç kalite aşaması sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı tanımlamaktadır.

3.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı, nominal koşullar altında çalışacak bir sistemin geliştirilmesini içerir [54]. Sistem için geliştirilen teknik özellikler, tasarım özelliklerini geliştirmek için başlangıç noktasını tanımlar. Bu durum bilim ve mühendislikten teknik bilgi gerektirir.

3.2. Parametre Tasarımı

Sistem tasarımından sonraki adım parametre tasarımıdır. Buradaki amaç kontrol edilebilir sistem parametreleri için ürünün fonksiyonel olacağı, çok çeşitli koşullar altında yüksek düzeyde bir performans sergileyeceği ve değişkenliğe neden olan gürültü faktörlerine karşı dayanıklı olması için optimum seviyeleri seçmektir. Gürültü faktörleri kontrol edilemeyen, kontrol faktörleri ise ayarlanabilen ve korunabilen parametrelerdir.

Taguchi'nin parametre tasarımına yaklaşımı, tasarım mühendisine performans ve maliyet açısından en uygun tasarım parametrelerini belirlemek için sistematik ve verimli bir yöntem sunar. Amaç, kontrol parametrelerinin en iyi kombinasyonunu seçmektir. Böylece ürün veya işlem gürültü faktörleri bakımından en sağlam hale gelir [54, 55].

Taguchi yöntemi, az sayıda deneyi içeren çok sayıda değişkeni incelemek için deney teorisi tasarımından ortogonal dizileri kullanır. Ortogonal dizileri kullanmak, çalışılacak deneysel yapılandırma sayısını önemli ölçüde azaltır. Optimum parametre seçimi, daha düşük toleranslı bileşenlerin ve üretim işlemlerinin kullanılabilmesi için daha geniş toleranslara neden olabilir. Böylece üretim ve işletme maliyetleri de büyük ölçüde azaltılabilir [54, 56].

Bir deneyin tasarımında en önemli aşama, kontrol faktörlerinin seçiminde yatmaktadır. Mümkün olduğunca çok faktör dâhil edilmeli, böylece önemli olmayan değişkenleri en erken fırsatta tanımlamak mümkün olacaktır.

3.3. Tolerans Tasarımı

Parametre tasarımı aşaması yeterli olmadığında tolerans tasarım aşaması uygulanır. Değişkenliği çıktı değişkenliği üzerinde büyük bir olumsuzluk yaratan tasarım faktörleri için daha dar tolerans aralıkları belirtilmelidir. Genellikle daha iyi ve daha pahalı bileşenlere ihtiyaç duyulur. Bu nedenle, tolerans tasarımı üretim ve işlem maliyetlerini arttırır [54, 56].

Taguchi, tercih edilen kalite karakteristiği olarak sinyal-gürültü (S/N) oranını kullanmıştır. S/N oranı, standart sapma yerine ölçülebilir bir değer olarak kullanılır [10] [52]. En basit hali ile S/N oranı, ortalamanın (sinyal) standart sapmaya (gürültü) oranıdır. Uygulamada, hedef geliştirme değeri süreç gelişimi sırasında değişebilir. S/N oranı kavramlarının yararlı olduğu uygulamalardan ikisi, değişkenliğin azaltılması ve ölçümün iyileştirilmesi yoluyla kalitenin iyileştirilmesidir. Karakteristik sürekli olduğunda S/N oranı özellikleri üç kategoriye ayrılabilir [57]:

En düşük en iyi olduğu durumda:

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

Bu tür problemlerde, Y'nin hedef değeri sıfırdır. En küçük değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranını ifade eder. Örneğin yüzey pürüzlülüğü, lastik aşınması ve proses arızası vb. [58].

En yüksek (büyük) en iyi olduğu durumda:

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

Bu durumda ise, Y'nin değeri sonsuzluk olarak ideal bir hedefi olan negatif olmayan ölçülebilir bir özelliktir. En büyük değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranını ifade eder. Örneğin güç ve verim vb. [58].

Nominal en iyi olduğu durumda,

$$\frac{S}{N} : 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{s_y^2} \right) \quad (3)$$

Bu durumda ise, ikili toleransı olan bir karakteristiğimiz olduğunda nominal değer hedefdir. Yani bütün parçalar bu değere getirilirse, varyasyon sıfır olur ve en iyisidir. Hedef değer en iyi durumu için sinyal/gürültü oranını ifade eder. Örneğin ürün boyutları gibi [58].

' \bar{y} ' gözlenen ortalama verilerdir, ' s_y^2 ' y'nin varyansı, 'n' gözlem sayısı ve 'y' gözlemlenen verilerdir [10, 59, 60, 61].

Kalite karakteristiği kategorisine bakılmaksızın, daha yüksek bir S/N oranı daha iyi kalite özelliklerine karşılık gelir. Bu nedenle, proses parametrelerinin optimal seviyesi en yüksek S/N oranına sahip seviyedir [62].

Taguchi metodu akış şeması Şekil 3.3-1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Taguchi Metodu Akış Şeması [54]

- **Optimize Edilecek Kalite Karakteristiğini Belirlemek**

Taguchi yönteminde ilk adım optimize edilecek kalite karakteristiğini belirlemektir. Kalite karakteristiği varyasyonun ürün kalitesi üzerinde kritik bir etkisi olan bir parametredir. Gözlenecek çıktı veya cevap değişkenidir.

- **Gürültü Faktörleri ve Test Koşullarının Belirlenmesi**

Bir sonraki adım sistem performansı ve kalitesi üzerinde olumsuz etki yaratabilecek gürültü faktörlerini tespit etmektir. Gürültü faktörleri kontrol edilemeyen veya kontrol edilmesi çok pahalı olan parametrelerdir.

- **Kontrol Faktörleri ve Alternatif Seviyelerin Belirlenmesi**

Üçüncü özellik kalite özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu düşünülen kontrol parametrelerinin tanımlanmasıdır. Kontrol parametreleri ayarlanabilen ve korunabilen tasarım faktörleridir. Her test parametresi için seviyeler (test değerleri) bu noktada belirlenir. Her test parametresi için ilgili test değerlerine sahip seviye sayısı, deney bölgesini tanımlar.

- **Matris Deneyi Tasarlanması ve Analiz Prosedürünün Tanımlanması**

Bir sonraki adım matris deneyini tasarlamak ve analiz prosedürünü tanımlamaktır. İlk olarak gürültü ve kontrol parametrelerine uygun ortogonal dizi seçilir. Taguchi bu amaç için birçok standart ortogonal dizi sunmuştur.

Uygun ortogonal dizileri seçtikten sonra, gürültü faktörlerinden dolayı kalite karakteristiğindeki değişimi simüle etmek için bir prosedür tanımlanmalıdır. Taguchi, gürültü faktörlerindeki değişikliklerden kaynaklanan bir ürünün tepkisinin ortalamasını ve varyansını değerlendirmek için ortogonal dizi tabanlı bir simülasyon önerir.

- **Matris Deneyinin Yapılması**

Bir sonraki adım, matris deneyi yapmak ve sonuçları kaydetmek. Taguchi yöntemi, kontrol edilebilir bir işlem bulunan her durumda kullanılabilir. Kontrol edilebilir süreç, gerçek bir donanım deneyi, matematiksel denklem sistemleri veya birçok ürünün ve sürecin yanıtını yeterince modelleyebilecek bilgisayar modelleri olabilir.

- **Verilerin Analiz Edilmesi ve Kontrol Faktörleri İçin Optimum Seviyelerin Belirlenmesi**

Deneyler yapıldıktan sonra, deney tasarımındaki en uygun test parametresi yapılandırması belirlenmelidir. Sonuçları analiz etmek için, Taguchi metodu sinyal-gürültü (S/N) oranı olarak adlandırılan bir performans ölçütü kullanır. Taguchi tarafından geliştirilen S/N oranı, gürültü ile en iyi şekilde başa çıkabilecek kontrol seviyelerini seçmek için bir performans ölçüsüdür. S/N oranı hem ortalamayı hem de değişkenliği hesaba katar.

- **Bu Seviyelerde Performans Tahmini**

Son adım olarak, çalışılan kontrol parametreleri için öngörülen optimum seviyeler kullanılarak deneysel bir onaylama yapılır.

Genel olarak Taguchi yöntemi kalite ve maliyetle eş zamanlı iyileştirmeler sunabilen güçlü bir araçtır [54].



4. TALAŞLI İMALAT

Talaşlı imalat keskin kesme takımları kullanılarak iş parçasından malzemeyi çıkartarak hedeflenen parça şeklini elde etmektir. Talaşlı imalatta, hakim olan kesme eylemi, iş parçasının kayma deformasyonu ile talaş oluşturulması ve talaş çıkarılıp atıldıkça yeni yüzeylerin açığa çıkmasıdır. Talaş kaldırma metallere şekil vermede sık sık uygulanır.

Talaş kaldırma en önemli imalat işlemidir. Çeşitli talaş kaldırma işlemlerin gelişmesini sanayi devrimi ve üretim tabanlı ekonomilerin gelişmesi sağlamıştır. Talaşlı imalat çeşitli nedenlerden dolayı ekonomik ve teknolojik olarak önemlidir:

İş parçalarının çeşitliliği, talaşlı imalat çok çeşitli iş parçası malzemelerine uygulanabilmektedir. Hemen hemen bütün katı metaller işlenebilmektedir. Plastik ve plastik kompozitleri de talaş kaldırma ile işlenebilir.

Parça şekillerde ve geometrik özelliklerde çeşitlilik, talaşlı imalat düz yüzey, dairesel delikler ve silindirler gibi düzenli geometrilerde kullanılabilir. Çeşitli takım şekilleri ve yolları ile vida dişi ve t-kanal gibi düzensiz geometriler yaratılabilir. Çeşitli talaş kaldırma işlemlerinin sırayla uygulaması ile sınırsız karmaşıklıkta ve çeşitlilikteki şekiller elde edilebilir.

Boyutsal doğruluk, talaşlı imalatta toleranslarına çok yakın ölçüler elde edilmektedir. Bazı talaşlı imalat yöntemlerinde, diğer şekillendirme yöntemlerinde mümkün olmayan $-0,025\text{mm}$ ve $+0,025\text{mm}$ seviyelerinde çok hassas tolerans değerlerine ulaşılabilir.

Pürüzsüz yüzey, talaşlı imalat pürüzsüz (dümdüz) yüzeyler oluşturma yapılabilir. Geleneksel talaşlı imalat işlemlerinde 0.4 mikrondan daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmektedir. Bazı aşındırma işlemleri çok daha iyi yüzeyler sağlayabilir.

Diğer yandan, talaşlı imalat ve diğer malzeme kaldırma işlemlerinin dezavantajları bulunmaktadır:

Malzeme israfı, talaş kaldırma doğası gereği malzeme israfına yol açar. Talaş, talaş kaldırma operasyonu sonucunda oluşan atık malzemedir. Genellikle talaşlar geri kazanılsa da oluşan talaşlar birim operasyon cinsinden atığı temsil ederler.

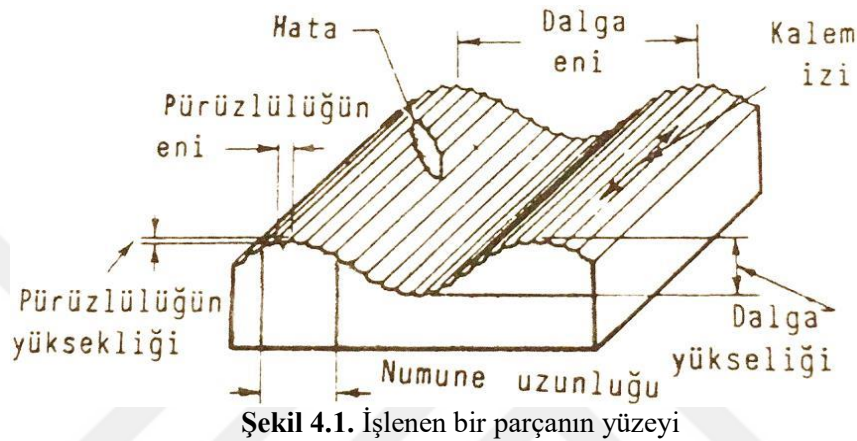
Zaman tüketimi, talaşlı imalat döküm ve dövme gibi diğer şekillendirme işlemlerine göre genellikle daha uzun işlem süreleri gerektirir [63].

4.1. Talaşlı İmalatta Yüzey Kalitesi

Talaşlı imalat genellikle parçanın son geometrisini ve ölçülerini belirleyen imalat işlemi olduğu için aynı zamanda parçanın dokusunu (kalitesini) de belirleyen işlemdir. Bilindiği gibi parça yüzeyleri resimlerde gösterildiği gibi tam olarak düz değildir. İşleme yöntemlerine bağlı olarak yüzeylerde, dalga ve pürüzlülük olmak üzere iki türlü yüzey sapması meydana gelir. Dalga geometrik sapmalar grubuna girer. Dolayısıyla yüzey kalitesini esasen yüzey pürüzlülüğü tayin eder.

Yüzey pürüzlülüğü parçalar arası temas yüzeyini geometrik yüzeye göre küçültür, sürtünme ve dolayısıyla güç kaybını artırır, aşınmayı hızlandırır ve yorulma mukavemetini düşürür. Yani parça fonksiyonunu ve dolayısıyla kalitesini önemli ölçüde etkiler. Yüzey pürüzlülüğünün en önemli faktörü Ra (ortalama yüzey pürüzlülük) değeridir. Ra, aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değeridir.

İşlenmiş bir yüzeyin pürüzlülüğü aslında birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlisi kesme koşullarıdır. Talaşlı imalat işleminde kesme koşulları hız, ilerleme, kesme derinliği ve kesme sıvısından oluşur. Kesme derinliği işlem sırası ve iş parçası geometrisine bağlı olarak önceden belirlenir. Pek çok talaşlı imalat işi önce bir seri kaba işleme ve ardından bir bitirme son işlemi gerektirir.



Şekil 4.1. İşlenen bir parçanın yüzeyi

Kesme hızı, takımın parça üzerinden talaş kaldırma hızıdır. Kinematik olarak bu hız kesme hareketine bağlıdır. Frezeleme işleminde kesme hareketi dönme şeklinde olduğundan, kesme hızı çevresel hız V_c (m/dak) veya dönme hızı n (dev/dak) olarak ifade edilebilir.

$$V_c: \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ (m/dak)} \quad (4)$$

$$n: \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \text{ (dev/dak)} \quad (5)$$

İlerleme hızı, takımın bir yüzeyi işlemesi için o yüzey boyunca yaptığı hareketin hızıdır. İlerleme hızı V_f (mm/dak) veya f (mm/dak) olarak ifade edilir. Burada ilerleme f , takımın bir devirde yaptığı ilerlemedir.

$$V_f: f \cdot n = f_z \cdot n \cdot z \text{ (m/dak)} \quad (6)$$

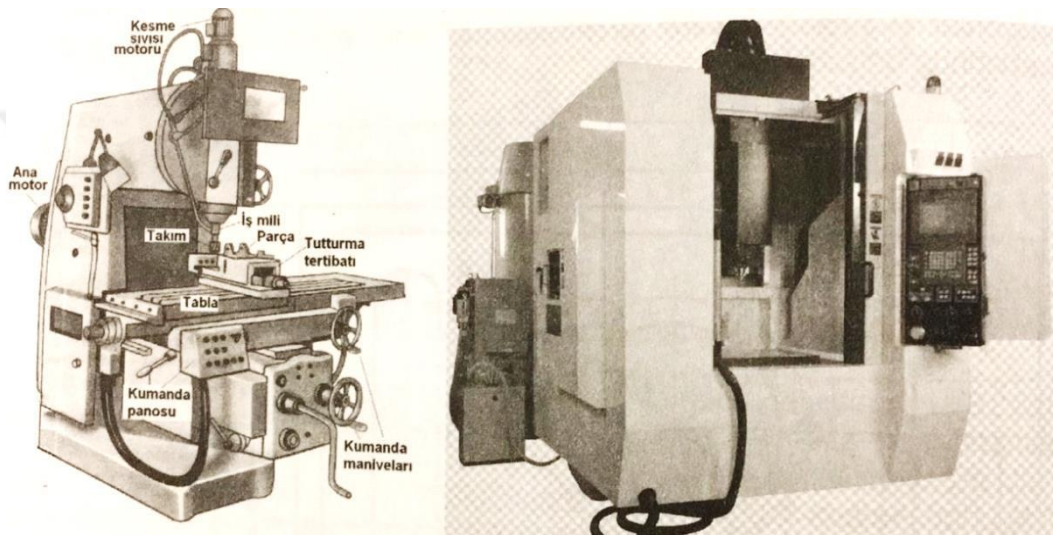
İlerleme hızları işlenen yüzeylerin işleme kalitesi ve işleme zamanı bakımında çok önemli bir faktördür [64].

4.2. Freze Tezgâhları

Frezeleme, freze adını taşıyan tezgâhlarda gerçekleşir. Bu tezgâhlar takımın bağlandığı iş milin konumuna göre sınıflandırılır. Buna göre freze tezgâhları iş milinin konumuna göre yatay ve dikey gibi iki gruba ayrılır. Bununla beraber hem yatay hem dikey olabilen universal adını taşıyan freze tezgâhları

da vardır. Tezgâhların gövdesi temel plaka, kolon ve konsol denilen elemanlardan meydana gelir. Kolon içinde vites kutusu ve ilerleme kutusu vardır. Vites kutusu ana motordan iş miline ve buradan takıma dönme kesme hareketi iletir. Kolona parçanın tutturulduğu tablayı taşıyan bir kızak bağlanır. Ana motordan alınan dönme hareketi, ilerleme vites kutusundan bir cıvata mekanizmasına iletilir. Burada doğrusal bir harekete dönüştürülür ve tablanın ilerleme hareketini sağlar. Tabla kızak yolları üzerinde, elle hareket ettirilen manivelanın yardımı ile ileri-geri ayarlama hareketi yapabilir. Ayrıca kızak, tabla ile birlikte yukarı-aşağı ayarlanabilir. Ayarlama bir motor veya elle yapılır.

CNC tezgâhlarında tüm bu hareketler programdan alınan sinyallere göre yapılır. İş miline güç ileten bir ana (güç) motoru ve her eksen yönüne göre birer ilerleme motorları vardır. Tüm motorlar servo (hızlarını alınan sinyallere göre geniş aralık içinde değiştirebilen) motordur [64].

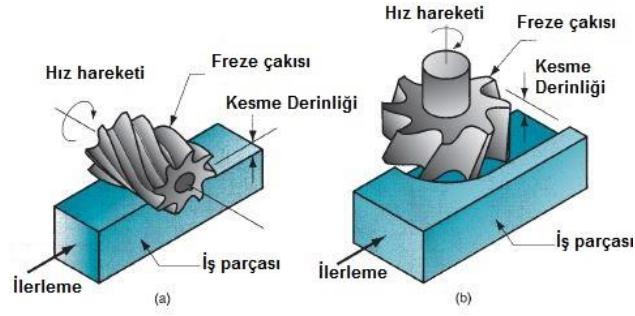


Şekil 4.2. Ünlrsal ve CNC Freze tezgâhları

4.3. Frezeleme Prosesi

FREZELEME, metalin dönen birçok dişli kesici ile çıkarıldığı bir işleme prosesidir. Her bir diş milin her devriyle az miktarda metali çıkarır. Hem iş parçası hem de kesici aynı anda birden fazla yönde hareket edebildiğinden, hemen hemen her yöne sahip olan yüzeyler işlenebilir [65].

İşlem olarak frezeleme, Şekil 4.3-1. 'de gösterildiği gibi çevresel ve alın olmak üzere iki gruba ayrılır. Çevresel frezelemede talaş, takımın çevresinde bulunan dişler; alın frezelemede takımın alın yüzeyinde bulunan dişler tarafından kaldırılır. Kesme hareketini gerçekleştirmek için takım iş miline ve ilerleme hareketini yapmak için parça tezgâh tablasına tutturulur. Bununla beraber özellikle kanal ve cep açmalarda hem çevresel, hem de alın frezeleme yapan parmak freze takımları vardır [64].



Şekil 4.3. Frezeleme operasyonlarının iki temel tipi: (a) çevresel frezeleme ve (b) alın frezeleme

4.3.1. Çevresel Frezeleme

Çevresel frezelemede, takımın dönme eksenini işlenmekte olan yüzeye paraleldir ve kesme operasyonu çakının dış çevresinde yer alan kesme kenarları ile gerçekleştirilir. Çevresel frezelemenin çeşitli tipleri Şekil 4.3.1-1.'de gösterilmiştir.

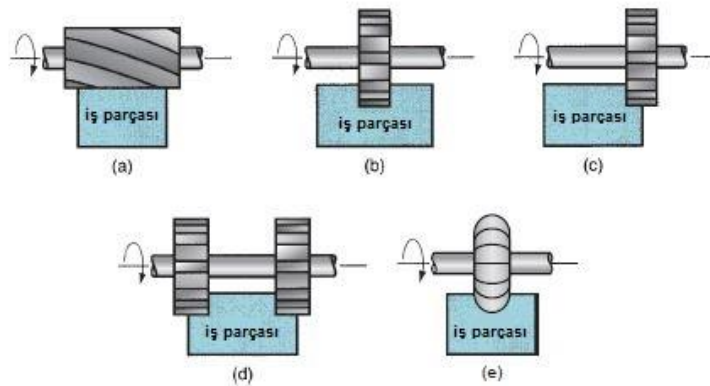
Vals frezeleme, çevresel frezelemenin bu temel şeklinde freze çakısının eni iş parçasının her iki yanından dışarı doğru çıkar.

Kanal açma, bu işlemden freze çakısının kalınlığı iş parçasının genişliğinden düşüktür, dolayısıyla iş parçasında bir kanal açılır.

Yan frezeleme, freze çakısı iş parçasının sadece bir yanını işler.

Çifte frezeleme, yan frezeleme ile aynıdır ancak iş parçasının her iki yanını keser.

Biçimleme frezelemesi, freze çakısı dişleri iş parçasına açılacak kanalın şeklini belirleyen özel bir profile sahiptir. Bundan dolayı biçimlendirme frezelemesi bir biçimlendirme (şekillendirme) operasyonu olarak sınıflandırılmaktadır.

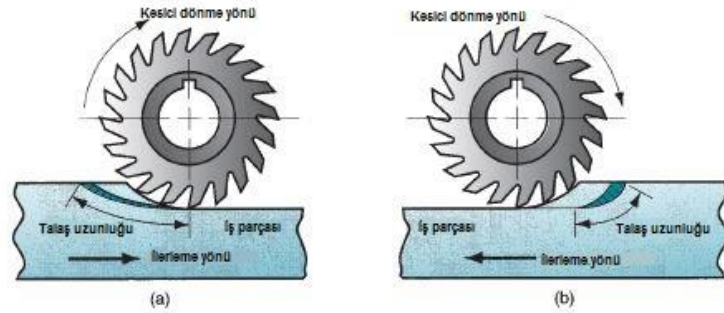


Şekil 4.4. Çevresel frezeleme: (a) vals frezeleme, (b) kanal açma, (c) yan frezeleme, (d) çifte frezeleme ve (e) biçimleme frezeleme

Çevresel frezelemede, freze çakısının dönüş yönü frezelemenin şekil 4.3.1-2.'de gösterilen iki türünü birbirinden ayırır: yukarı frezeleme ve aşağıya frezeleme. Yukarı frezelemede, zıt yönlü frezeleme olarak adlandırılır, freze çakısının dişinin iş parçasına girdiğinde dişin hareket yönü parçanın ilerleme yönü ile zıttır. Bu durumda, 'ilerlemeye karşı' bir frezeleme gerçekleşmektedir.

Aşağıya frezeleme de ise dişler iş parçasına girdiğinde freze çakısının hareketi iş parçasının ilerleme hareketi ile aynı yöndedir. Bu durum 'ilerleme ile beraber' frezelemenin gerçekleştiğini gösterir.

Bu iki tip frezelemenin göreceli geometrileri onların kesme hareketlerinde farklılıklara yol açar. Yukarıya frezelemede, her diş tarafından oluşturulan talaş çok ince olarak başlar ve kalınlığı dişin parça içindeki kesme işlemi ilerledikçe artar. Aşağı frezelemede ise her talaş kalın olarak başlar ve kesme ilerledikçe kalınlığı azalır. Aşağı frezelemede oluşan talaş boyu yukarı frezelemede oluşan talaşın boyundan daha kısadır. Dolayısıyla, aşağıya frezelemede takım ömrü daha uzun olur [63].



Şekil 4.5. 20 dişli freze çakısı ile yapılan çevresel frezelemenin iki türü: (a) yukarı frezeleme ve (b) aşağı frezeleme

4.3.2. Alın Frezeleme

Alın frezelemede, freze çakısının eksenini frezelenmekte olan yüzeye diktir ve kesme işlemi çakının dış çevresinde ve ucunda bulunan kesme kenarları ile gerçekleşir.

Geleneksel alın frezeleme, freze çakısının çapı iş parçası genişliğinden daha büyüktür. Böylece freze çakısı iş parçasının her iki yanından sarkar.

Kısmi alın frezeleme, freze çakısı iş parçasının sadece bir yanından dışarı sarkar.

Parmak (uç) frezeleme, freze çakısı çapı iş parçası genişliğinden daha azdır. Böylece iş parçasında bir kanal açılır.

Profil frezeleme, uç frezelemenin bir türüdür ve bir düz iş parçasının dış çevresi kesilmektedir.

Cep frezelemesi, uç frezelemenin bir başka türüdür ve düz iş parçalarında sığ cepler (oyuklar) açar.

Yüzey şekillendirme (konturlama), düz bir uca sahip çakı yerine yuvarlatılmış bir uca sahip freze çakısı üç boyutlu bir yüzey şekli oluşturmak için eğrisel bir hareketle ileri-geri ilerletilir. Kalıp oyması olarak adlandırılan kalıp yuvalarının kontürlerinin işlenmesinde aynı kesici takım hareketi uygulanır [63].

5. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada Al7075 serisi malzemeye DAHLIH MCV-1020BA CNC freze tezgâhı kullanılarak soğutma sıvısı kapalı şekilde frezeleme işlemi yapılmıştır. Daha sonra numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümü TR100 marka taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüş ve malzemenin frezelenmesinde işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi kalite geliştirme tekniği olan Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak incelenmiş ve analizleri yapılmıştır. Ayrıca minimum enerji ile optimum yüzey pürüzlülüğüne ulaşılması amaçlanmıştır. Bunun için enerji hesaplamaları yapılmış olup şebeke üzerinden çekilen akımın ölçülmesi için TENON DT 266 marka pens ampermetre kullanılmıştır.

5.1. Deneyde Kullanılan Malzeme Özellikleri

Çalışmada 50x40x10mm boyutlarında 9 adet 7075 serisi alüminyum malzeme kullanılmıştır. 7075 serisi alüminyum alaşımları yüksek mukavemeti, hafifliği ve iyi işlenebilirliği sayesinde uzay, havacılık, silah ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır [66, 67, 68].



Şekil 5.1. Al7075 Deney Numuneleri

Tablo 5.1. 7075 serisi alüminyum malzemenin mekanik özellikleri

| Maksimum gerilme kuvveti (MPa) | Maksimum akma kuvveti (MPa) | Uzama (%) |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------|
| 280 | 140 | 9-10 |

Tablo 5.2. 7075 serisi alüminyum malzemenin kimyasal özellikleri

| Alaşım elementleri | Yüzde miktarı (%) |
|--------------------|-------------------|
| Alüminyum | 89.79 |
| Çinko | 5.66 |
| Magnezyum | 2.15 |
| Bakır | 1.32 |
| Silikon | 0.35 |
| Demir | 0.45 |
| Manganez | 0.08 |
| Titanyum | 0.05 |
| Krom | 0.10 |
| Diğerleri | 0.05 |

5.2. Deneyde Kullanılan Takım Tezgâhı Özellikleri

Çalışmada 3 eksenli DAHLIH MCV-1020BA CNC Freze dik işlem takım tezgâhı kullanılmıştır. Tezgâhın genel özellikleri Tablo 5.2-1. 'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Takım tezgâhı özellikleri [69]

| Tezgâh Özellikleri | Değer |
|---------------------------|----------------|
| İş Tablası Ebatları | 1300mm X 660mm |
| Tabla Yüğü | 1000kg |
| X Eksen Hareketi | 1020mm |
| Y Eksen Hareketi | 550mm |
| Z Eksen Hareketi | 560mm |
| Seri Hareket Hızları | 20 m/dak. |
| Kesme Hareket Hızı | 10 m/dak. |
| Takım Depolama Kapasitesi | 24 |

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| Maksimum Takım Çapı | Ø90mm |
| Maksimum Takım Boyu | 300mm |
| Maksimum Takım Ağırlığı | 7 kg |
| İş Mili koniği | BT 40 |
| İş Mili Devri | 8000 devir/dak. |
| İş Mili Motor Gücü | 11 kW |
| Tezgâh İçin Gerekli Yerleşim Alanı | 3260mm X 3060mm |
| Ağırlık | 6000kgf |



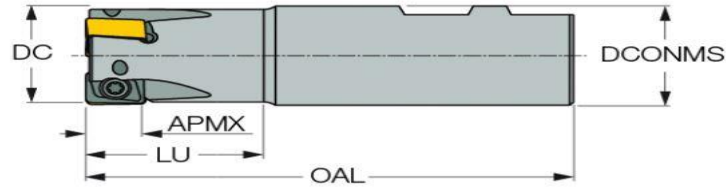
Şekil 5.2. Deneyde kullanılan CNC Dik İşlem tezgâhı

5.3. Deneyde Kullanılan Kesici Takım Özellikleri

Kesici takım olarak ISCAR H490 E90AX D16-2-C16-09 uç freze çakısı ve H490 ANKX 120504PNTR kesici uç kullanılmıştır. Yapılan her bir deney için yeni bir kesici uç kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Deneyslerde kullanılan freze çakısı [70]

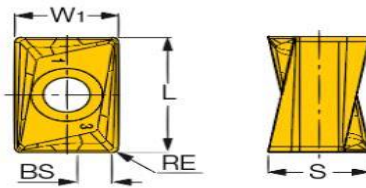


| Kesme çapı (DC) | Kesici uç sayısı (CICT) | Maksimum kesme derinliği (APMX) | Toplam uzunluk (OAL) | Kullanılabilir uzunluk (LU) | Makine bağlantı çapı (DCONMS) |
|-----------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 16 | 2 | 8 | 90 | 26 | 16 |

Şekil 5.4. Freze çakısı özellikleri [70]



Şekil 5.5. Deneysde kullanılan kesici uç [70]



| Uç genişliği (W_1) | Köşe yarıçapı (RE) | Uç kalınlığı (S) | Kesme kenarı uzunluğu (L) | Minimum ilerleme (f_z) | Maksimum ilerleme (f_z) |
|------------------------|--------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 10 | 0.40 | 9.15 | 13.70 | 0.10 | 0.30 |

Şekil 5.6. Kesici uç özellikleri [70]

5.4. Deneyde Kullanılan YüzeY Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Deneyde TR100 taşınabilir yüzeY pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak 2 noktadan yüzeY pürüzlülük ölçümleri yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır. Tablo 5.4-1'de yüzeY pürüzlülük ölçüm cihazı özellikleri ve Şekil 5.4-1.'de ise deneyde kullanılan yüzeY pürüzlülük cihazı gösterilmiştir.

Tablo 5.4. YüzeY Pürüzlülük Ölçüm Cihazı Özellikleri

| Cihaz Özellikleri | Değer |
|-------------------|---|
| Parametreler | Ra, Rz |
| Ölçüm Aralığı | Ra : 0.05 ~10.0 µm Rz : 0.1 ~50.0 µm |
| Kesme Uzunluğu | 0.25, 0.8 ve 2.5mm |
| İzleme Uzunluğu | 6mm |
| Ölçüm Uzunlukları | 1.25, 4.0 ve 5.0mm |
| Boyutlar | 125x73x26mm |
| Ağırlık | 200g |
| Çalışma Sıcaklığı | 0° ~ 40° C |



Şekil 5.7. Deneyde Kullanılan YüzeY Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

5.5. Deneyde Kullanılan Pens Ampermetre Cihazı

Deneyde frezeleme işlemi sırasında şebekeden gelen akımı ölçmek için hassasiyeti 0.1 A olan TENON DT 266 marka pens ampermetre kullanılmıştır. İşlenen deney parçalarının akım değerleri R, S, T fazlarında ölçümleri yapılmıştır. Deneyde kullanılan ölçüm cihazı Şekil 5.5-1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Deneyde Kullanılan Pens Ampermetre

5.6. Deney Tasarımı

Bu çalışmada deney için 9 adet Al7075 malzeme kullanılmıştır ve işlem parametreleri ilerleme hızı, kesme hızı ve kesme derinliği belirlenmiş olup her parametre için 3 seviye tanımlanmıştır. Deneyler kuru ortam şartlarında yapılmıştır. Her bir deney için ayrı kesici uç kullanılmıştır. Tablo 5.6-1.'de değişkenler ve seviyeleri gösterilmektedir.

Tablo 5.5. Değişkenler ve seviyeleri

| Sembol | Parametreler | Seviyeler | | |
|--------|-----------------------|-----------|----------|----------|
| | | Seviye 1 | Seviye 2 | Seviye 3 |
| A | İlerleme Hızı (mm/dk) | 150 | 200 | 250 |
| B | Kesme Hızı (dev/dk) | 1000 | 1500 | 2000 |
| C | Kesme Derinliği (mm) | 0,5 | 1 | 1,5 |

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

Değişkenler göz önünde bulundurularak işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi için yapılacak olan deneye en uygun tasarım olarak Taguchi L_9 ortogonal dizini seçilmiştir. S/N oranını hesaplamak için ‘en küçük en iyi’ deney karakteristiği kullanılmış olup bütün değerler MİNİTAB 17 programı yardımıyla hesaplanmıştır. Tablo 6-1.’de Taguchi L_9 deney tasarımı ve S/N oranları verilmiştir.

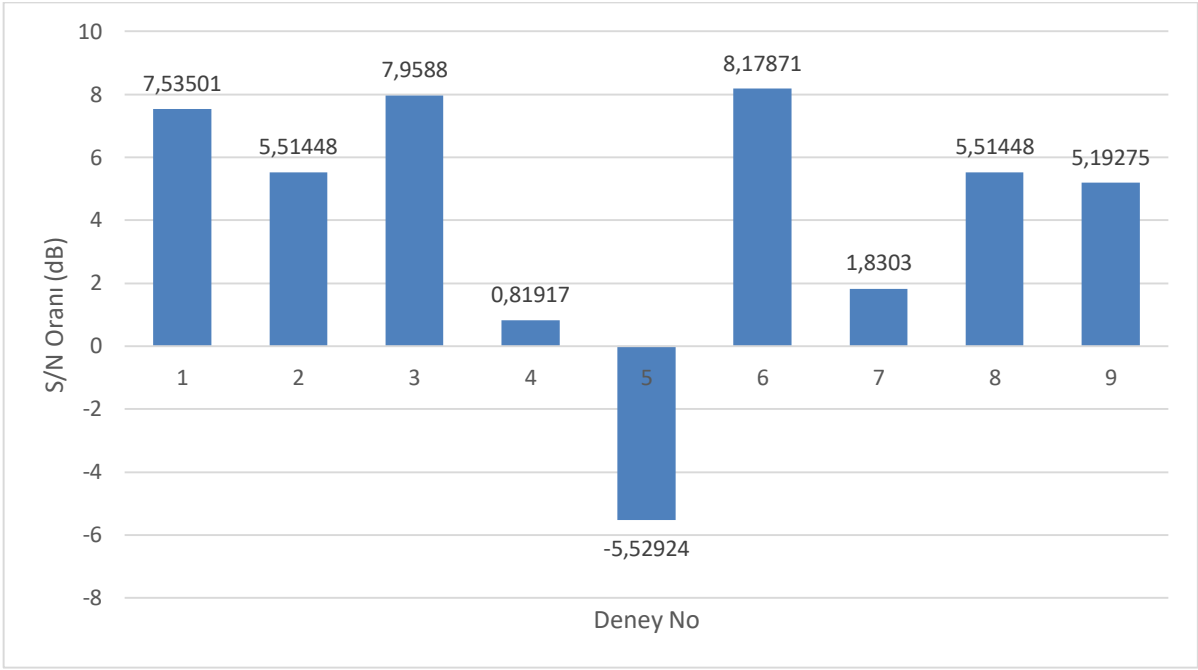
Tablo 6.1. Taguchi L_9 Deney Tasarımı, Yüzey Pürüzlülük ve S/N Oran Değerleri

| Deney No | A | B | C | Yüzey Pürüzlülüğü R_a (μm) | S/N Oranı (dB) |
|----------|---|---|---|--|----------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0,42 | 7,53501 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0,53 | 5,51448 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0,40 | 7,95880 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0,91 | 0,81917 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1,89 | -5,52924 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0,39 | 8,17871 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0,81 | 1,83030 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0,53 | 5,51448 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0,55 | 5,19275 |

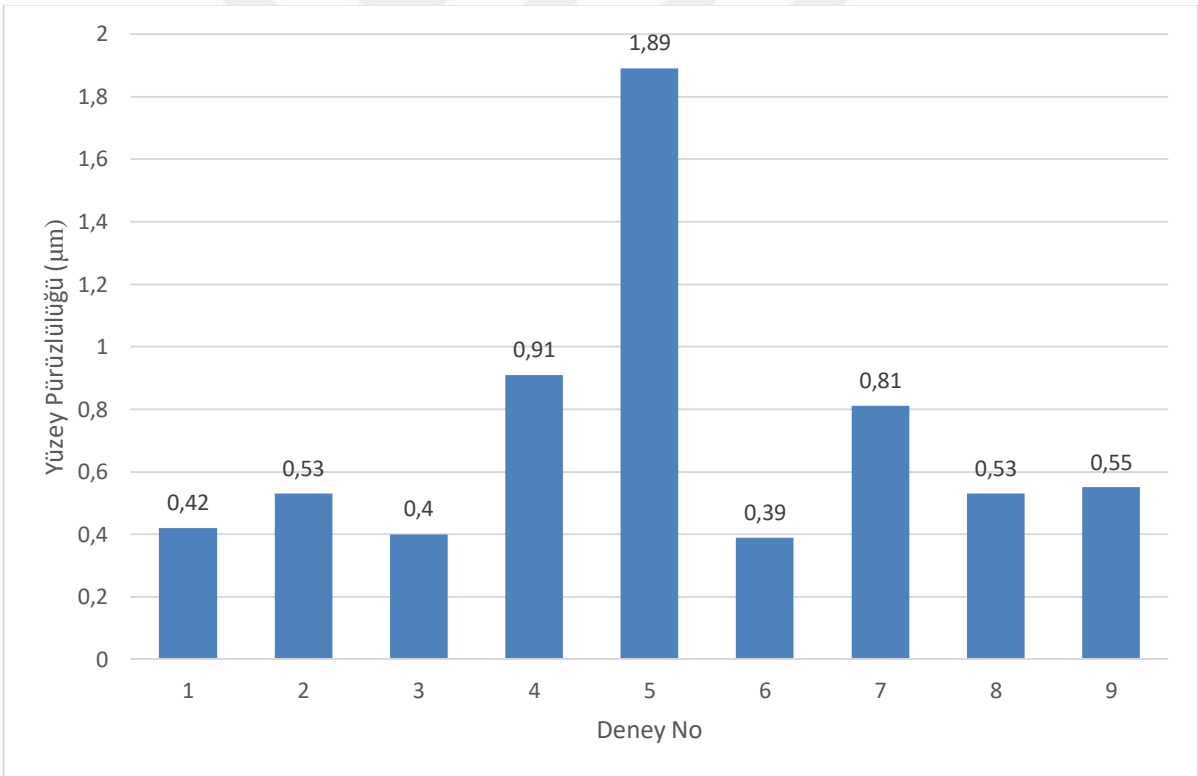
Şekil 6-1’de verilen grafikte işlem parametrelerine göre oluşturulan S/N oranları verilmiştir. Taguchi deney tasarım yöntemine göre S/N oranı büyük olan değer optimum parametreyi vermektedir. Buna göre en iyi yüzey pürüzlülüğü (R_a), en büyük S/N oranına karşılık gelen 6 no’lu deneyden elde edilmiştir.

Şekil 6-2’de verilen grafikte en düşük yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 0,39 μm değeri ile 6 no’lu deney $A_2B_3C_1$ işlem parametrelerinden elde edilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri (R_a) 1,89 μm değeri ile 5 no’lu deney $A_2B_2C_3$ işlem parametrelerinden elde edilmiştir.

Bu grafikler ışığında en iyi yüzey pürüzlülük değeri 6 no’lu deney olan ilerleme hızının 200 mm/dk, kesme hızının 2000 dev/dk ve kesme derinliğinin ise 0,5mm olduğu optimum işlem parametrelerinden elde edilmiştir.



Şekil 6.1. İşlem parametrelerinin S/N oranı grafiği



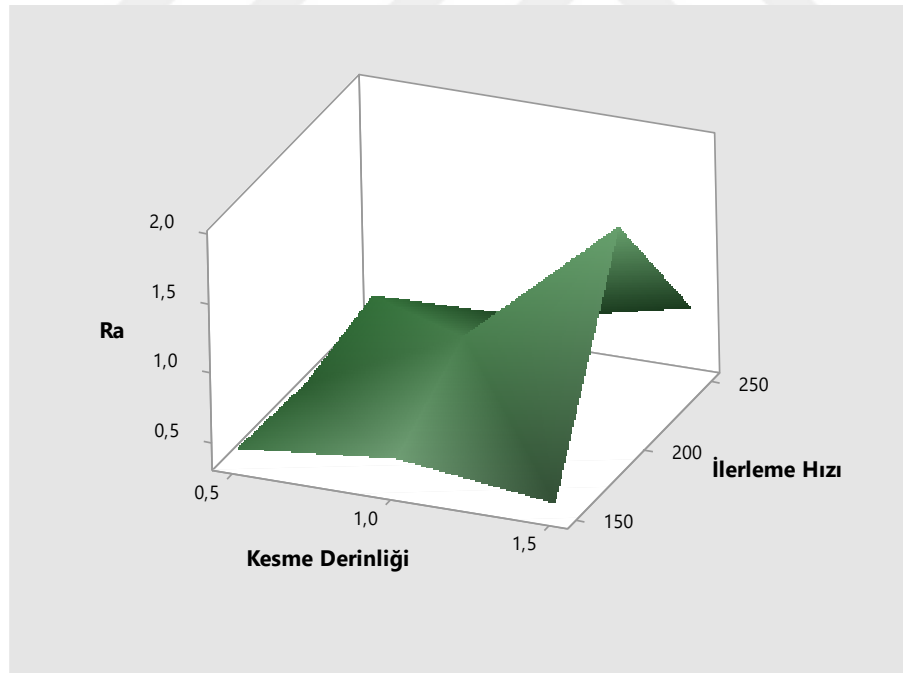
Şekil 6.2. İşlem parametrelerinin yüzeY pürüzlülük değeri grafiği

Tablo 6-2'deki S/N yanıt tablosuna bakıldığında yüzey pürüzlülüğü üzerinde her bir kontrol faktörünün S/N analizi görülmektedir. Bu tablodan yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktörler sırasıyla ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızıdır.

Tablo 6.2. Yüzey pürüzlülüğü S/N Yanıt Tablosu

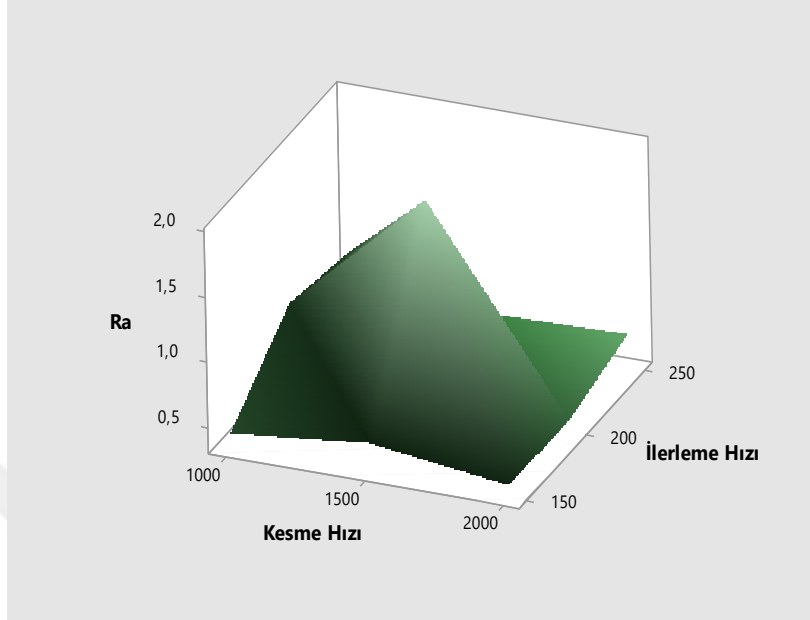
| Level | İlerleme Hızı (A) | Kesme Hızı (B) | Kesme Derinliği (C) |
|-------|-------------------|----------------|---------------------|
| 1 | 7,003 | 3,395 | 7,076 |
| 2 | 1,156 | 1,833 | 3,842 |
| 3 | 4,179 | 7,110 | 1,420 |
| Delta | 5,847 | 5,277 | 5,656 |
| Rank | 1 | 3 | 2 |

Şekil 6-3.'de ilerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre ilerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü de belli bir seviyeye kadar arttı ve sonra azalmaya başladığı görülmektedir. Kesme derinliğinin artması da yüzey pürüzlülüğünün belli bir seviyeye kadar artmasına neden olmuştur. Fakat bu artış ilerleme hızı parametresi kadar etkili olmamıştır.



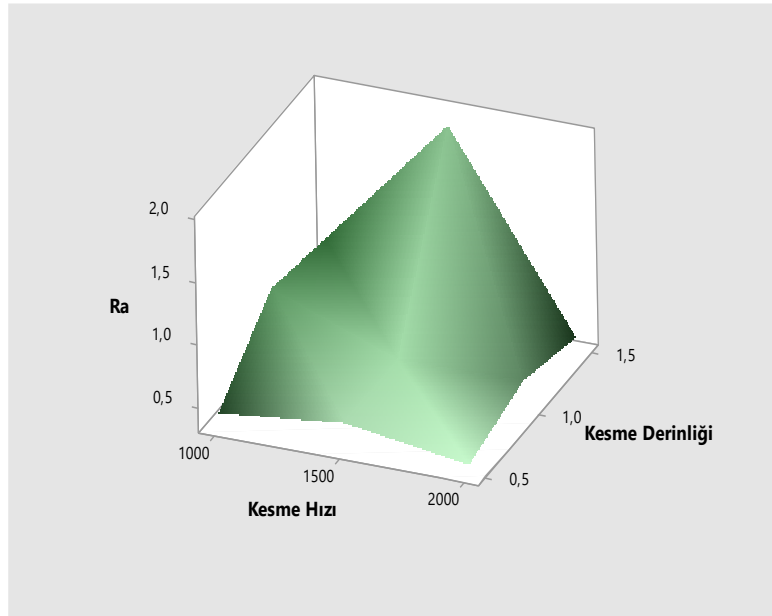
Şekil 6.3. İlerleme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği

Şekil 6-4.'de ilerleme hızı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre her iki parametrenin de orta seviyelerinde yüzey pürüzlülüğünün en yüksek olduğu görülmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü ise ilerleme hızının 2. seviye, kesme hızının ise 3. seviye olduğu durumda elde edilmiştir.



Şekil 6.4. İlerleme hızı ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği

Şekil 6-5.'de kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre kesme hızı arttığında yüzey pürüzlülüğü de belli bir seviyeye kadar artış göstermiş ve daha sonra azalmıştır. Ayrıca kesme hızının 3.seviye ve kesme derinliğinin 1.seviyesinde yüzey pürüzlülüğü en düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.5. Kesme hızı ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etki grafiği

6.1. Kesme Enerjisi Hesabı ve Analizi

Belirlenen değişken parametrelerin kesme enerjisine etkisini belirlemek için 9 adet deney numunesinin CNC Frezede işlenmesi sırasında şebekeden çekilen akım miktarı pens ampermetre yardımıyla ölçülmüş ve akıma en çok etki eden parametre belirlenmiştir. Daha sonra matematiksel hesaplamalar ile enerji verileri elde edilmiştir.

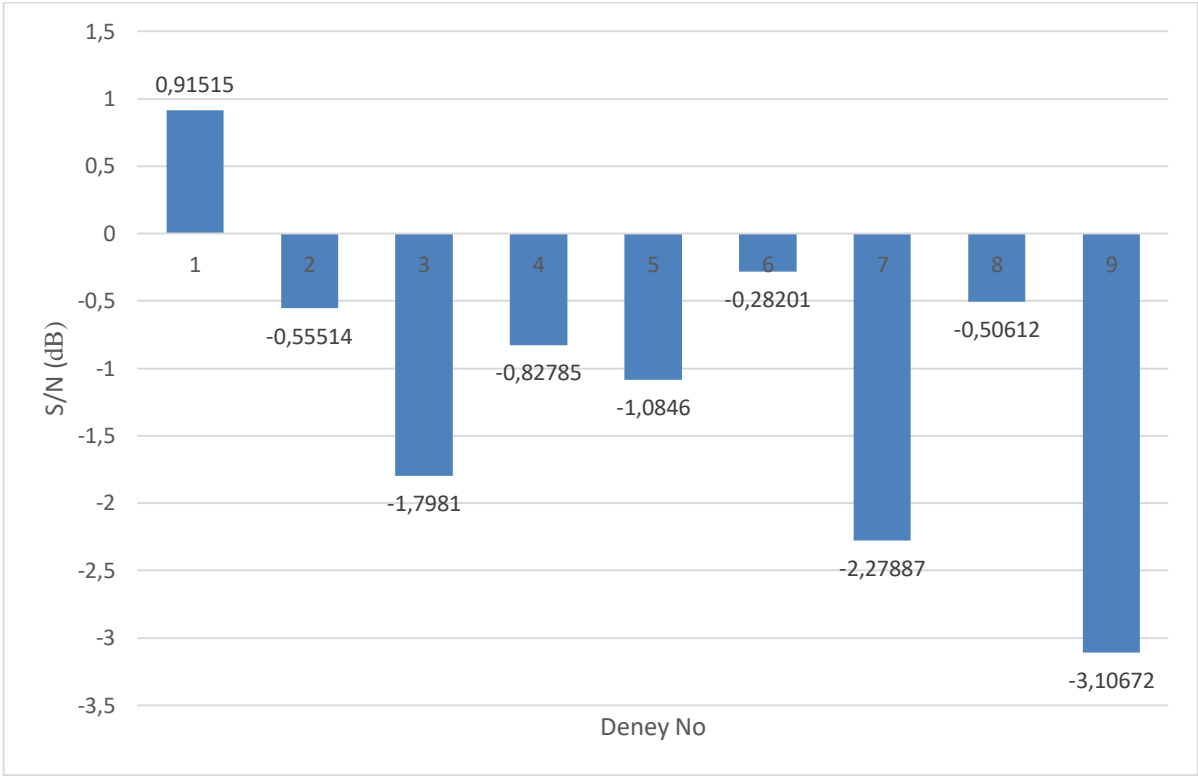
Tablo 6.3.'de ölçülen akım değerleri ve Minitab17 programında hesaplanmış S/N oranları verilmiştir. Elde edilen en küçük akım 0,9 A ve en yüksek akım ise 1,43 A olarak ölçülmüştür.

Tablo 6.3. Akım ve S/N değerleri

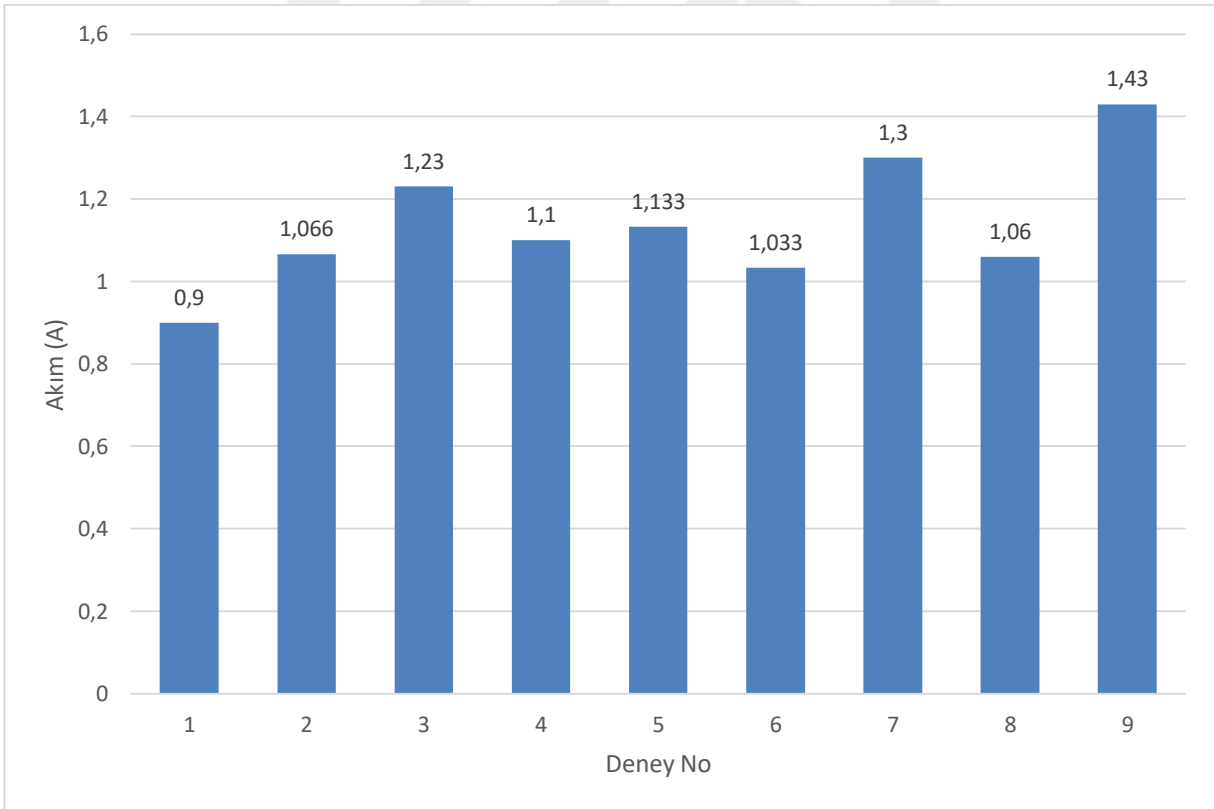
| Deney No | A | B | C | Akım I (Amper) | S/N Oranı (dB) |
|----------|---|---|---|----------------|----------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0,9 | 0,91515 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 1,066 | -0,55514 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 1,23 | -1,79810 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 1,1 | -0,82785 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1,133 | -1,08460 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 1,033 | -0,28201 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 1,3 | -2,27887 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 1,06 | -0,50612 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1,43 | -3,10672 |

Şekil 6.6.'da verilen grafikte işlem parametrelerine göre oluşturulan S/N oranları verilmiştir. Taguchi deney tasarım yöntemine göre S/N oranı büyük olan değer optimum parametreyi vermektedir. Buna göre en optimum değer, en büyük S/N oranına karşılık gelen 1 no'lu deneyden elde edilmiştir.

Şekil 6.7.'de verilen grafikte en düşük akım değeri (I) 0,9A değeri ile 1 no'lu deney $A_1B_1C_1$ işlem parametrelerinden elde edilmiştir. En yüksek akım değeri ise (I) 1,43A değeri ile 9 no'lu deney $A_3B_3C_2$ işlem parametrelerinden elde edilmiştir.



Şekil 6.6. İşlem parametrelerinin S/N oran grafiği



Şekil 6.7. İşlem parametrelerinin akım değer grafiği

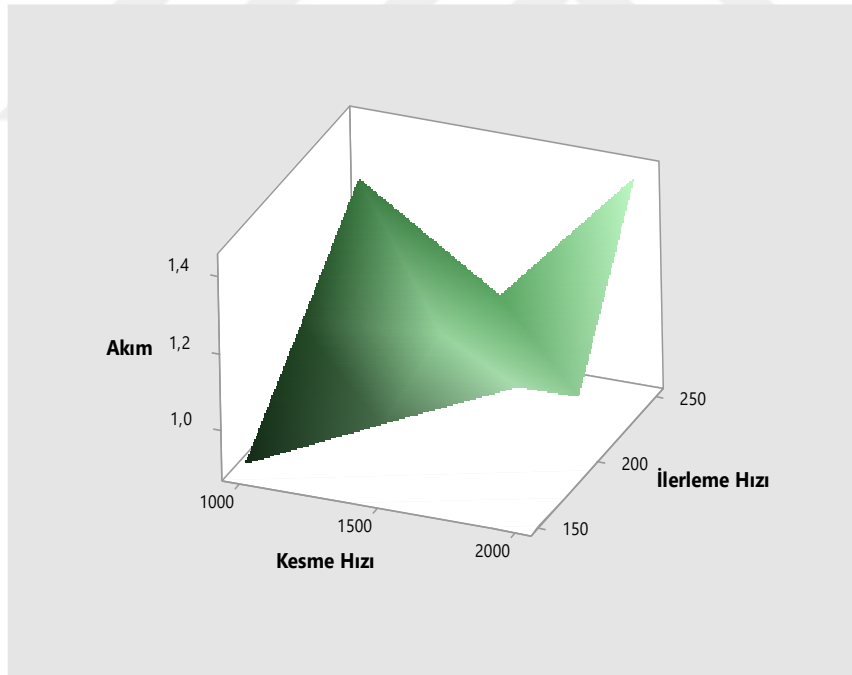
Bu grafikler ışığında en düşük akım değeri 1 no'lu deney olan ilerleme hızının 150 mm/dk, kesme hızının 1000 dev/dk ve kesme derinliğinin ise 0,5mm olduğu optimum işlem parametrelerinden elde edilmiştir.

Tablo 6.4.'deki S/N yanıt tablosuna bakıldığında akım üzerinde her bir kontrol faktörünün S/N analizi görülmektedir. Bu tablodan akım üzerinde en etkili faktörler sırasıyla kesme derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızıdır.

Tablo 6.4. Akım S/N yanıt tablosu

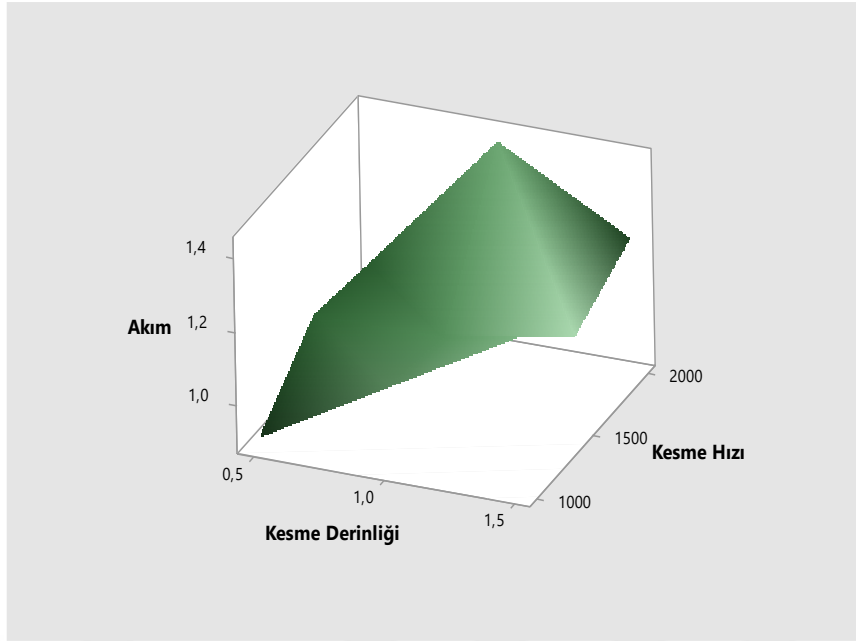
| Level | İlerleme Hızı (A) | Kesme Hızı (B) | Kesme Derinliği (C) |
|-------|-------------------|----------------|---------------------|
| 1 | -0,47937 | -0,73052 | 0,04234 |
| 2 | -0,73149 | -0,71529 | -1,49657 |
| 3 | -1,96390 | -1,72894 | -1,72052 |
| Delta | 1,48454 | 1,01366 | 1,76286 |
| Rank | 2 | 3 | 1 |

Şekil 6.8.'de ilerleme hızı ve kesme hızının akıma etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre her iki parametrenin de 1. seviyelerinde en düşük akım değeri elde edilmiştir. En yüksek akım değeri ise her iki parametrenin de 3. seviye olduğu durumda elde edilmiştir.



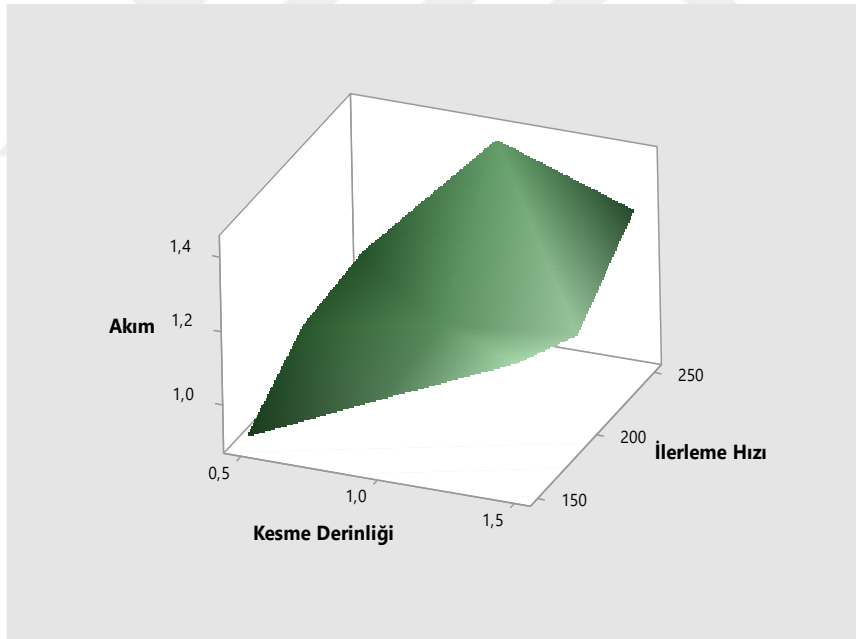
Şekil 6.8. İlerleme hızı ve kesme hızının akıma etki grafiği

Şekil 6.9.'da kesme hızı ve kesme derinliği akıma etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre her iki parametrenin de 1. seviyelerinde en düşük akım değeri elde edilmiştir. En yüksek akım değeri kesme hızının 3. seviye ve kesme derinliğinin ise 2. Seviye olduğu durumda elde edilmiştir.



Şekil 6.9. Kesme derinliği ve kesme hızının akıma etki grafiği

Şekil 6.10.'de ilerleme hızı ve kesme derinliğinin akıma etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre her iki parametrenin de 1. seviyelerinde en düşük akım değeri elde edilmiştir.



Şekil 6.10. Kesme derinliği ve ilerleme hızının akıma etki grafiği

6.1.1. Enerji Hesaplamaları

Frezeleme işlemlerinde harcanan enerji miktarı 7 no'lu eşitlik ile hesaplanır.

$$E = P \times t \quad (7)$$

E = Enerji (Joule), P = Güç (Watt), t = Zaman (Saniye)

Her bir kesme operasyonu için şebeke üzerinden çekilen akım miktarı pens ampermetre ile ölçülmüştür. Ölçülen değerler ışığında 8 no'lu eşitlikten şebekeden çekilen elektriksel güç hesaplanmıştır.

$$P = V \times I \times \cos\varphi \quad (8)$$

V = Gerilim (Volt), I = Akım (Amper), $\cos\varphi$ = Güç faktörü

Bu eşitlik yardımıyla,

$$P_1 = 380 \times 0,9 \times 0,8 = 273,6W$$

$$P_2 = 380 \times 1,066 \times 0,8 = 324,064W$$

$$P_3 = 380 \times 1,23 \times 0,8 = 373,92W$$

$$P_4 = 380 \times 1,1 \times 0,8 = 334,4W$$

$$P_5 = 380 \times 1,133 \times 0,8 = 344,432W$$

$$P_6 = 380 \times 1,033 \times 0,8 = 314,032W$$

$$P_7 = 380 \times 1,3 \times 0,8 = 395,2W$$

$$P_8 = 380 \times 1,06 \times 0,8 = 322,24W$$

$$P_9 = 380 \times 1,43 \times 0,8 = 434,72W$$

Elektriksel güç ölçülen akım miktarı ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı ölçülen akım miktarı fazla olan deneyin şebekeden çekilen elektriksel gücü de yüksektir.

Her bir iş parçasının işlem süresi ve şebekeden çekilen elektriksel güç değerleri yardımıyla tezgâhın çalışması sırasında tüketilen enerji miktarı 7 no'lu eşitlikten hesaplanır.

$$E_1 = 273,6 \times 33 = 9028,8j$$

$$E_2 = 324,064 \times 33 = 10694,112j$$

$$E_3 = 373,92 \times 33 = 12339,36j$$

$$E_4 = 334,4 \times 26 = 8694,4j$$

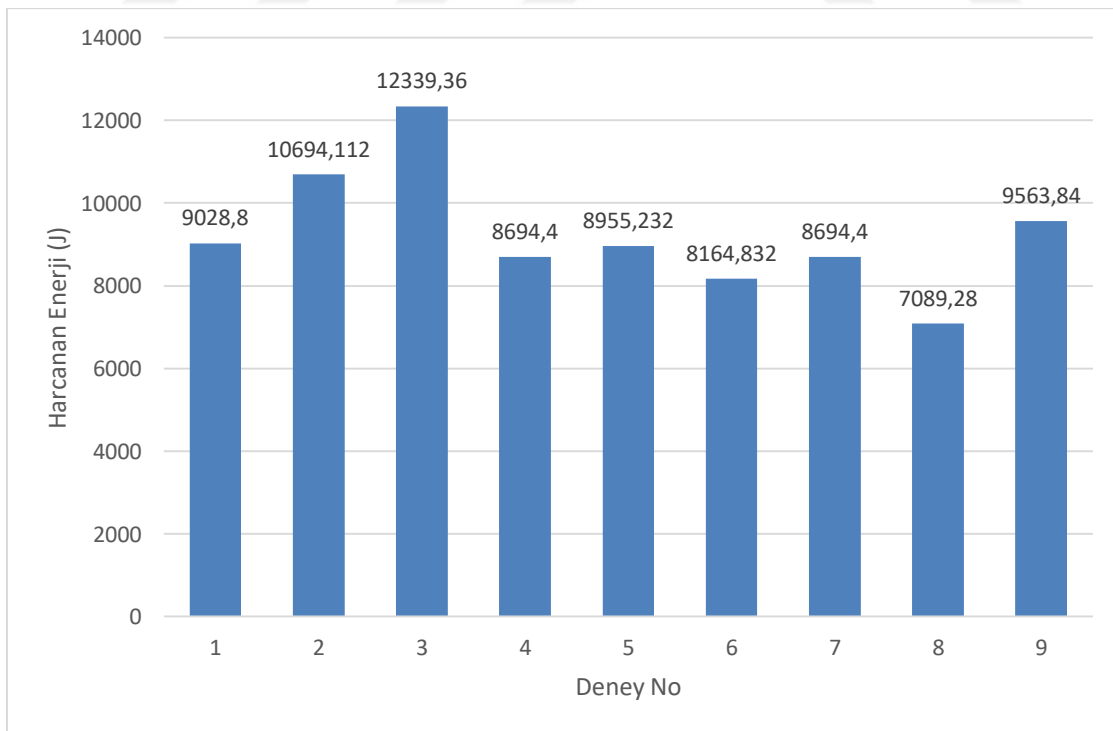
$$E_5 = 344,432 \times 26 = 8955,232j$$

$$E_6 = 314,032 \times 26 = 8164,832j$$

$$E_7 = 395,2 \times 22 = 8694,4j$$

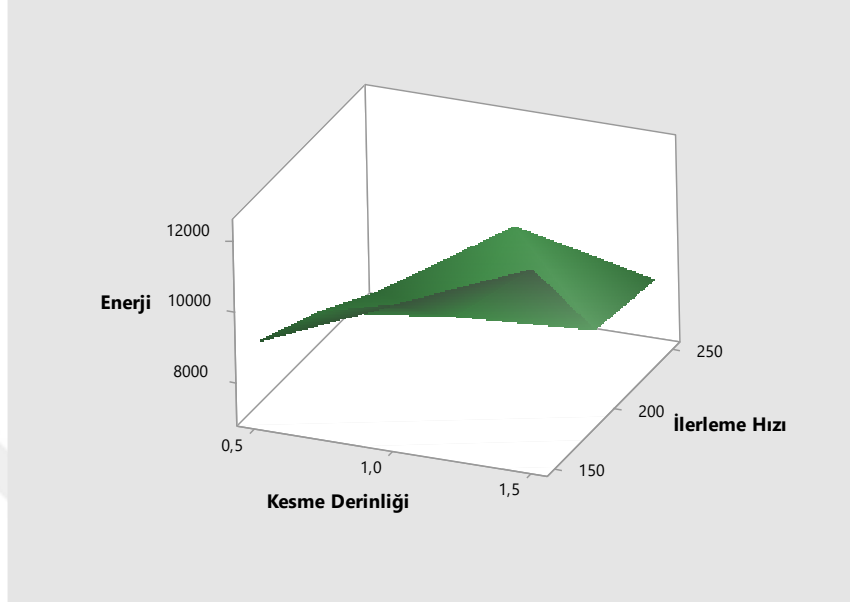
$$E_8 = 322,24 \times 22 = 7089,28j$$

$$E_9 = 434,72 \times 22 = 9563,84j$$



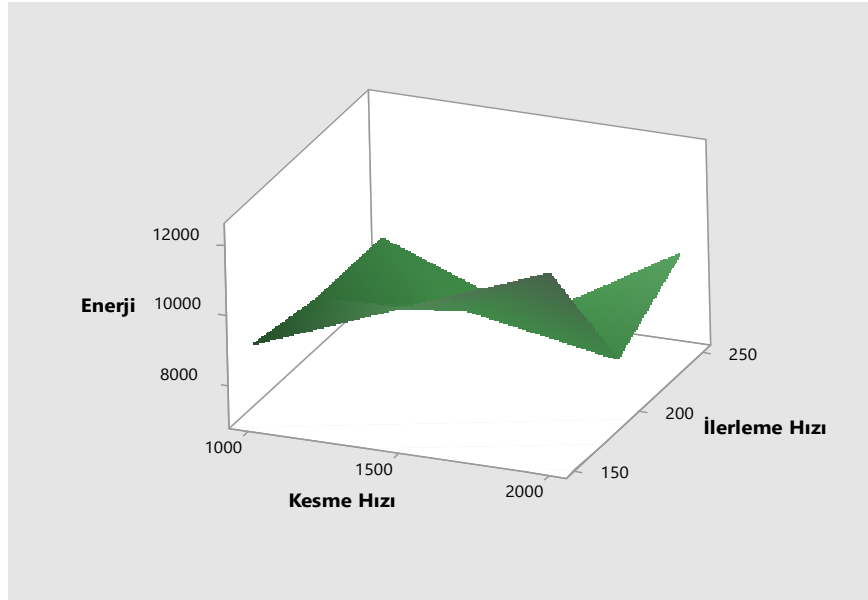
Şekil 6.11. İşlem parametrelerinin enerji değer grafiği

Deneylerde harcanan enerji miktarları sırasıyla 9028,8 joule, 10694,112 joule, 12339,36 joule, 8694,4 joule, 8955,232 joule, 8164,832 joule, 8694,4 joule, 7089,28 joule ve 9563,84 joule olarak hesaplanmıştır. Buna göre en fazla enerji 12339,36 joule ile 3 no'lu deneyde, en az enerji ise 7089,28 joule ile 8 no'lu deneyde harcanmıştır.



Şekil 6.12. Kesme derinliği ve ilerleme hızının tüketilen enerjiye etki grafiği

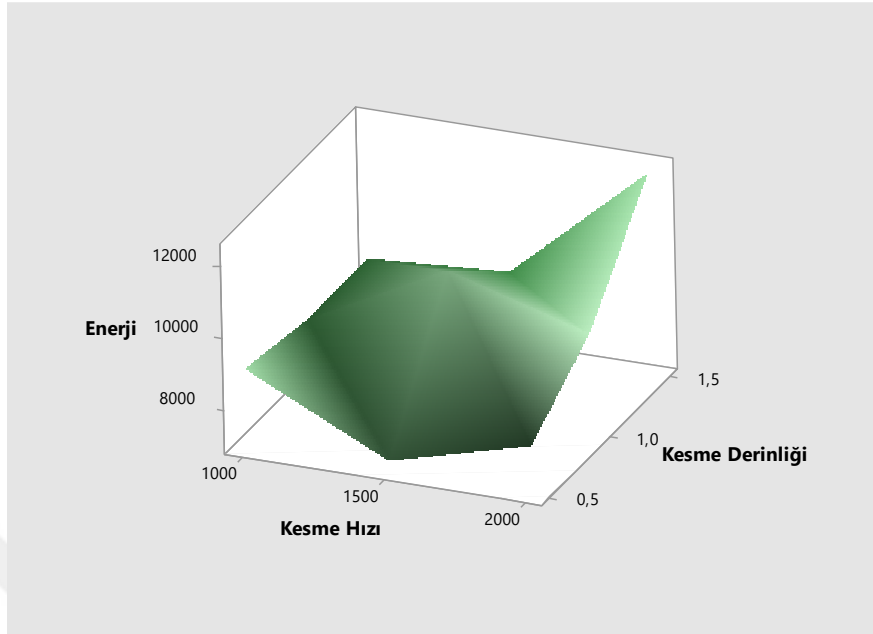
Şekil 6.12.'de ilerleme hızı ve kesme derinliğinin tüketilen enerjiye etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre kesme derinliğinin yüksek ve ilerleme hızının düşük olduğu durumda tüketilen enerjinin maksimum olduğu görülmektedir.



Şekil 6.13. Kesme hızı ve ilerleme hızının tüketilen enerjiye etki grafiği

Şekil 6.13.'de ilerleme hızı ve kesme hızının tüketilen enerjiye etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre kesme hızının yüksek ve ilerleme hızının düşük olduğu durumda tüketilen enerjinin

maksimum olduğu görülmektedir. Ayrıca ilerleme hızı arttıkça tüketilen enerji belli bir değere kadar azalmış ve ardından artmaya devam etmiştir.



Şekil 6.14. Kesme hızı ve kesme derinliği tüketilen enerjiye etki grafiği

Şekil 6.14.'de kesme derinliği ve kesme hızının tüketilen enerjiye etkisi incelenmiştir. Verilen grafiğe göre kesme hızı ve kesme derinliği arttıkça tüketilen enerjinin sürekli olarak arttığı görülmektedir.

Deneylerde 7075 serisi alüminyum 9 adet iş parçasının frezelenmesi sırasında işlem parametreleri olan ilerleme hızı, kesme derinliği ve kesme hızının değiştirilerek, bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve şebekeden çekilen akım ölçülerek işlemler esnasında tüketilen enerjiye etkisi hesaplanmıştır.

Yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü sırasıyla 0,42 μ m, 0,53 μ m, 0,40 μ m, 0,91 μ m, 1,89 μ m, 0,39 μ m, 0,81 μ m, 0,53 μ m ve 0,55 μ m dir. Bu değerlere göre en düşük yüzey pürüzlülüğü 6 no'lu deneyde ve en yüksek yüzey pürüzlülüğü ise 5 no'lu deneyden elde edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametrenin ilerleme hızı olduğu görülmektedir. İlerleme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğü belli bir seviyeye kadar arttığı ve daha sonra azalmaya başladığı görülmektedir. Kesme hızı ve kesme derinliğindeki artış ve azalma ilerleme hızı kadar etkili olmamıştır.

Yapılan deneylerde şebekeden çekilen akım miktarı sırasıyla 0,9A, 1,066A, 1,23A, 1,1A, 1,133A, 1,033A, 1,3A, 1,06A ve 1,43A olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlere göre en yüksek akım miktarı 9 no'lu deneyden ve en düşük akım miktarı ise 1 no'lu deneyden elde edilmiştir.

S/N yanıt tablosuna bakıldığı zaman şebeke üzerinden çekilen akıma en çok etki eden parametrenin kesme derinliği olduğu görülmektedir.

Akım değerlerine bağlı olarak hesaplanan işlem sırasında tüketlenen enerji değerleri sırasıyla 9028,8j, 10694,112j, 12339,36j, 8694,4j, 8955,232j, 8164,832j, 8694,4j, 7089,28j ve 9563,84j olarak hesaplanmıştır. Buna göre en yüksek tüketlenen enerji değeri 12339,36j değeri ile 3 no'lu deneyden ve 7089,28j değeri ile de 8 no'lu deneyden elde edilmiştir.

Hesaplanan bu değerlere ve grafıklere göre işlem süresinin harcanan enerji miktarına en fazla etki gösterdiği görölmektedir.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında talaşlı imalatta önemli bir yeri olan CNC Frezeleme işleminde 7075 serisi alüminyum malzeme kullanılarak işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme enerjisi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

İşlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kesme enerjisine etkisi belirlenerek optimum değerlerin bulunması amaçlanmıştır. Taguchi metodu kullanılarak 9 adet deney yapılmış olup, işlem parametrelerinin etki değerleri ve optimum seviyeleri belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular,

1. Bu çalışmada Taguchi yöntemi ile daha az deney yapılarak en uygun işlem parametreleri belirlenmiştir. Böylece hem maliyet hem de zaman açısından önemli ölçüde avantaj sağlanmıştır.
2. Yapılan deneyler sonucunda en düşük yüzey pürüzlülüğü $0,39\mu\text{m}$ değeri ile 6 no'lu deneyden elde edilmiştir. Buna göre 6 no'lu deneyde ilerleme hızının 200mm/dk , kesme hızının 2000dev/dk ve kesme derinliğinin $0,5\text{mm}$ olduğu işlem parametre değerleridir. Bu işlem parametreleri $A_2B_3C_1$ uygulandığı zaman en optimal yüzey pürüzlülük değeri elde edildiği sonucuna varılmaktadır.
3. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek yüzey pürüzlülüğü $1,89\mu\text{m}$ değeri ile 5 no'lu deneyden elde edilmiştir. Buna göre 5 no'lu deneyde ilerleme hızı 200mm/dk , kesme hızı 1500dev/dk ve kesme derinliği $1,5\text{mm}$ olduğu işlem parametre değerleridir. Bu işlem parametreleri $A_2B_2C_3$ uygulandığı zaman en yüksek yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiş olur.
4. Yapılan deneyler sonucunda ilerleme hızı yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre olmuştur.
5. Yapılan deneyler sonucunda kesme hızı yüzey pürüzlülüğüne en az etki eden parametre olmuştur.
6. Yapılan deneyler sonucunda şebeke üzerinden çekilen en düşük akım miktarı $0,9\text{A}$ değeri ile 1 no'lu deneyden elde edilmiştir. Buna göre 1 no'lu deneyde ilerleme hızı 150mm/dk , kesme hızı 1000dev/dk ve kesme derinliği $0,5\text{mm}$ olduğu işlem parametreleridir. Bu işlem parametreleri $A_1B_1C_1$ uygulandığı zaman şebeke üzerinden en düşük akım miktarı çekilmiş olur.
7. Yapılan deneyler sonucunda şebeke üzerinden çekilen en yüksek akım miktarı $1,43\text{A}$ değeri ile 9 no'lu deneyden elde edilmiştir. Buna göre 9 no'lu deneyde ilerleme hızı 250mm/dk , kesme hızı 2000dev/dk ve kesme derinliği 1mm olduğu işlem parametreleridir. Bu işlem parametreleri $A_3B_3C_2$ uygulandığı zaman şebeke üzerinden en yüksek akım miktarı çekilmiş olur.
8. Yapılan deneyler sonucunda kesme derinliği şebekeden çekilen akım miktarına en çok etki eden parametre olmuştur.
9. Yapılan deneyler sonucunda kesme hızı şebekeden çekilen akım miktarına en az etki eden parametre olmuştur.

10. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen şebeke üzerinden çekilen akım miktarı ve işlem süresi kullanılarak tüketilen enerji miktarı hesaplanmıştır.
11. Yapılan hesaplamalar sonucunda en az tüketilen enerji miktarı 7089,28j değeri ile 8 no'lu deneyden elde edilmiştir. Buna göre 8 no'lu deneyde ilerleme hızı 250mm/dk, kesme hızı 1500dev/dk ve kesme derinliği 0,5mm olduğu işlem parametreleridir. Bu işlem parametreleri $A_3B_2C_1$ uygulandığı zaman en az enerji tüketilmiş olur.
12. Yapılan hesaplamalar sonucunda en çok tüketilen enerji miktarı 12339,36j değeri ile 3 no'lu deneyden elde edilmiştir. Buna göre 3 no'lu deneyde ilerleme hızı 150mm/dk, kesme hızı 2000dev/dk ve kesme derinliği 1,5mm olduğu işlem parametreleridir. Bu işlem parametreleri $A_1B_3C_3$ uygulandığı zaman en çok enerji tüketilmiş olur.
13. Yapılan hesaplamalar sonucunda kesme derinliği yüksek, kesme hızının yüksek ve ilerleme hızının düşük olduğu durumda işlem sırasında tüketilen enerji miktarının en fazla olduğu görülmektedir.
14. Yapılan hesaplamalar sonucunda tüketilen enerji miktarına en çok etki eden parametre ilerleme hızı olmuştur. Bunun nedeni ilerleme hızı düşük olduğunda işlem süresinin artmasından dolayı tüketilen enerji miktarının fazla olduğu görülmektedir.
15. Yapılan deneyler sonucunda kesme derinliğinin düşük tutulması düşük yüzey pürüzlülüğü ve düşük enerji tüketimi sağladığı görülmektedir.
16. Yapılan bu tez çalışması ışığında farklı malzemeler ve işlemler için benzer çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] S. Alagarsamy, S. A. V. Sagayaraj ve P. Raveendran, «Optimization of Drilling Process Parameters on Surface Roughness & Material Removal Rate by Using Taguchi Method,» *International Journal of Engineering Research and General Science*, cilt 4, no. 2, pp. 290-298, 2016.
- [2] P. G. Bernardos ve G. C. Vosniakos, «Predicting surface roughness in machining: a review,» *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, cilt 43, no. 8, pp. 833-844, 2003.
- [3] A. Çiçek, T. Kıvık ve G. Samtaş, «Application of Taguchi Method for Surface Roughness and Roundness Error in Drilling of AISI 316 Stainless Steel,» *Journal of Mechanical Engineering*, cilt 58, no. 3, pp. 165-174, 2012.
- [4] R. K. Bhushan, «Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 32, pp. 242-254, January 2013.
- [5] J. Z. Zhang, J. C. Chen ve E. D. Kirby, «Surface roughness optimization in an end-milling operation using the taguchi design method,» *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 233-239, April 2007.
- [6] Y.-H. Tsai a, J. C. Chen ve S.-J. Lou c, «An in process surface recognition system based on neural networks in end milling cutting operations,» *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, pp. 583-605, April 1999.
- [7] M. V. Vardhan, G. Sankaraiah, M. Yohan ve H. J. Rao, «Optimization of parameters in CNC milling of P20 steel using response surface methodology and taguchi method,» *Materials Today:Proceedings*, pp. 9163-9169, 2017.
- [8] C. Y. Niana, W. H. Yangb ve Y. S. Tarngb, «Optimization of turning operations with multiple performance characteristics,» *Journal of Material Processing Technology*, cilt 95, pp. 90-96, October 1999.
- [9] S. Y. Gajjal, A. J. Unkule ve P. S. Gajjal, «Taguchi technique for dry sliding wear behavior of peek composite materials,» *Materials Today: Proceedings*, cilt 5, pp. 950-957, 2018.
- [10] J. A. Ghani, I. A. Choudhury ve H. H. Hassan, «Application of taguchi method in the optimization of ende milling parameters,» *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 145, pp. 84-92, 2004.
- [11] S. H. Park, Robust design and analysis for quality engineering, London: Chapman&Hall, 1996.

- [12] M. RaviKumar, H. N. Reddappa, R. Suresh ve M. Gangadharappa, «Investigation on hardness of Al 7075/Al₂O₃/SiCp hybrid composite using taguchi technique,» *Materials Today: Proceedings*, cilt 5, pp. 22447-22453, 2018.
- [13] M. Narin ve S. Akdemir, «Enerji Verimliliği ve Türkiye,» Türkiye Ekonomi Kurumu UET-TEK, Ankara, 2006.
- [14] S. Hu, F. Liu, Y. He ve T. Hu, «An on-line approach for energy efficiency monitoring of machine tools,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 27, pp. 133-140, 2012.
- [15] R. Tulasi, R. Singh ve M. I. Ali, «Optimizing surface roughness in turning operation using taguchi technique,» *Materials Today: Proceedings*, cilt 5, pp. 19043-19048, 2018.
- [16] K. A. Risbood ve U. S. Dixit, «Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process,» *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 132, no. 1, pp. 203-214, 2003.
- [17] M. Ertekin, Y. Kwon ve L. Tseng, «Identification of common sensory features for the control of CNC milling operations under varying,» *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, cilt 43, pp. 897-904, 2003.
- [18] J. Hatch, «Aluminum: properties and physical metallurgy,» American Society for Metals, Ohio,USA, 1986.
- [19] K. Shi, D. Zhang, J. Ren, C. Yao ve X. Huang, « Effect of cutting parameters on machinability characteristics in milling of magnesium alloy with carbide,» *Advances in Mechanical Engineering*, cilt 8, no. 1, pp. 168-179, 2016.
- [20] A. Gok, H. Demir ve H. Yaka, «Optimization of the cutting parameters affecting the surface roughness on free form surface,» *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* , cilt 35, no. 2, pp. 323-331, 2017.
- [21] A. Gok, «A new approach to minimization of the surface roughness and cutting force via fuzzy TOPSIS, multi-objective grey design and RSA,» *Measurement*, cilt 70, pp. 100-109, 2015.
- [22] J. L. Yang ve J. C. Chen, «A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations,» *Journal of Industrial Technology*, cilt 17, no. 2, pp. 1-8, 2001.
- [23] H. Bensouilah, H. Aouici, I. Meddour, M. A. Yallese, T. Mabrouki ve F. Girardin, «Performance of coated and uncoated mixed ceramic tools in hard turning process,» *Measurement*, cilt 82, pp. 1-18, 2016.

- [24] M. Y. Noordin, V. C. Venkatesh, C. L. Chan ve A. Abdullah, «Performance evaluation of cemented carbide tools in turning AISI 1010 steel,» *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 116, pp. 16-21, 2001.
- [25] İ. Uçun ve K. Aslantaş, «Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürürlü kesici takımın performansının araştırılması,» 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 2009.
- [26] D. B. Niranjana, G. S. Shivashankar, K. V. Sreenivas Rao ve R. Praveen, «Optimization of cutting process parameters on Al6061 using ANOVA and Taguchi Method,» *Materials Today: Proceedings*, cilt 4, pp. 10845-10849, 2017.
- [27] C. Camposeco-Negrete, «Optimization of cutting parameters for minimizing energy consumption in turning of AISI 6061 T6 using Taguchi methodology and ANOVA,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 53, pp. 195-203, 2013.
- [28] Z. Zhou, C. Zhang, G. Tian, Y. Xie, W. Lin ve Z. Huang, «Energy consumption modeling and prediction of the milling process: A multistage perspective,» *Journal of Engineering Manufacture*, cilt 232, pp. 1973-1985, 2016.
- [29] G. Kant ve K. S. Sangwan, «Prediction and optimization of machining parameters for minimizing power consumption and surface roughness in machining,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 83, pp. 151-164, 2014.
- [30] I. Hanafi, A. Khamlichi, F. M. Cabrera, E. Almansa ve A. Jabbouri, «Optimization of cutting conditions for sustainable machining of PEEK-CF30 using TiN tools,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 33, pp. 1-9, 2012.
- [31] D. Fratila ve C. Caizar, «Application of taguchi method to selection of optimal lubrication and cutting conditions in face milling of AlMg3,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 19, pp. 640-645, 2011.
- [32] M. Sarıkaya ve A. Güllü, «Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 65, pp. 604-616, 2014.
- [33] M. H. Çetin, B. Özçelik, E. Kuram ve E. Demirbas, «Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by taguchi method,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 19, pp. 2049-2056, 2011.
- [34] W. Lee, S. H. Kim, J. Park ve B.-K. Min, «Simulation-based machining condition optimization for machine tool energy consumption reduction,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 150, pp. 352-360, 2017.

- [35] W. Li, A. Zein, S. Kara ve C. Herrmann, «An investigation into fixed energy consumption of machine tools,» *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing*, pp. 268-273, 2011.
- [36] E. Bağcı ve B. Özçelik, «Analysis of temperature changes on the twist drill under different drilling condition based on Taguchi method during dry drilling of Al 7075-T651,» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 29, no. 7-8, pp. 629-636, 2006.
- [37] C. Okwudire ve J. Rodgers, «Design and control of a novel hybrid feed drive for high performance and energy efficient machining,» *CIRP Annals, Manufacturing Technology*, cilt 62, pp. 391-394, 2013.
- [38] E. Abele, C. Eisele ve S. Schrems, «Simulation of the energy consumption of machine tools for a specific production task,» *Leveraging Technology for a Sustainable World*, pp. 233-237, 2012.
- [39] C. C. Tsao ve H. Hocheng, «Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network.,» *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 203, no. 1-3, pp. 342-348, 2008.
- [40] M. Kurt, E. Bağcı ve Y. Kaynak, «Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes,» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, cilt 40, no. 5-6, pp. 458-469, 2009.
- [41] J. P. Davim ve P. Reis, «Drilling carbon fiber reinforced plastic manufactured by autoclave-experimental and statistical study,» *Materials and Design*, cilt 24, no. 5, pp. 315-324, 2003.
- [42] J. Kopac, M. Bahor ve M. Sokovic, «Optimal machining parameters for achieving the desired surface roughness in fine turning of cold preformed steel workpieces,» *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, cilt 42, pp. 707-716, 2002.
- [43] B. H. T. Baharudin, M. R. Ibrahim, N. Ismail ve Z. Leman, «Experimental Investigation of HSS Face Milling to AL6061 using Taguchi Method,» *Procedia Engineering*, cilt 50, pp. 933-941, 2012.
- [44] A. Pınar, «Optimization of process parameters with minimum surface roughness in the pocket machining of AA5083 aluminum alloy via Taguchi method,» *Arabian Journal Science and Engineering*, cilt 38, no. 3, pp. 705-714, 2013.
- [45] W. Yang ve Y. Tarn, «Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method,» *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 84, pp. 122-129, 1998.

- [46] M. Ranganath, Vipin, R. S. Mishra, Prateek ve Nikhil, «Optimization of surface roughness in CNC turning of aluminium 6061 using taguchi techniques,» *International Journal of Modern Engineering Research*, cilt 5, no. 5, pp. 42-50, 2015.
- [47] D. P. Selvaraj, «“Optimization of Surface Roughness, Cutting force and tool wear of Nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method,» *Science direct*, cilt 49, 2014.
- [48] M. P. K., P. T. ve S. S., «Application of taguchi and response surface methodology (RSM) in steel turning process to improve surface roughness and material removal rate,» *Materials Today: Proceedings*, cilt 5, pp. 24622-24631, 2018.
- [49] A. Gupta, R. Shah, H. Dave ve N. Khanna, «Multi-objective optimization of surface parameters such as concavity, straightness and roughness in milling process,» *Materials Today: Proceedings*, cilt 5, pp. 5296-5302, 2018.
- [50] S. R. Kumar ve S. K. Kulkarni, «Analysis of hard machining of titanium alloy by taguchi method,» *Materials Today: Proceedings*, cilt 4, pp. 10729-10738, 2017.
- [51] M. Şirvancı, Kalite için Deney Tasarımı, İstanbul: Literatür Yayınları, 1997.
- [52] J. S. Pang, M. M. Ansari, O. S. Zaroog, M. H. Ali ve S. M. Sapuan, «Taguchi design optimization of machining parameters on the CNC end milling process of halloysite nanotube with aluminium reinforced epoxy matrix (HNT/Al/Ep)hybrid composite,» *HBRC Journal*, cilt 10, pp. 138-144, 2014.
- [53] İ. Asiltürk ve H. Akkuş, «Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the taguchi method,» *Measurement*, cilt 44, pp. 1697-1704, 2011.
- [54] R. Unal ve E. B. Dean, «Taguchi Approach To Design Optimization For Quality And Cost,» %1 içinde *Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts.*, 1991.
- [55] R. N. Kackar, «Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method,» *Journal of Quality Technology*, cilt 17, no. 4, pp. 176-188, 1985.
- [56] M. S. Phadke, «Quality Engineering Using Robust Design,» *Prentice Hall, Englewood Cliffs.*, 1989.
- [57] R. S. Rao ve G. Padmanabhan, «Parametric optimization in electrochemical machining using utility based taguchi method,» *Journal of Engineering Science and Technology*, cilt 10, no. 1, pp. 81-96, 2015.

- [58] T. Tabazık ve F. D. Öztürk, «Taguchi Yöntemi Kullanılarak Aladağ (Adana) Krom Cevherinin Zenginleştirilmesinin Araştırılması,» *DÜMF Mühendislik Dergisi*, cilt 1, no. 10, pp. 229-237, 2019.
- [59] W. Mersni, M. Boujelbene, S. Salem ve A.-S. Alghamdi, «Optimization of the surface roughness in ball end milling of titanium alloy Ti-6Al-4V using the taguchi method,» *Procedia Manufacturing*, cilt 20, pp. 271-276, 2018.
- [60] J. E. Ribeiro, M. B. Cesar ve H. Lopes, «Optimization of machining parameters to improve the surface quality,» *Procedia Structural Integrity*, cilt 5, pp. 355-362, 2017.
- [61] R. Shetty, R. Pai, S. Rao ve R. Nayak, «Taguchi's technique in machining of metal matrix composites,» *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, cilt 31, 2009.
- [62] W. H. Yang ve Y. S. Tarng, «Design Optimization Of Cutting Parameters For Turning Operations,» *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 84, pp. 122-129, 1998.
- [63] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, New Jersey: Prentice-Hall Inc., 2010, pp. 523-531.
- [64] M. Akkurt, *Talaş kaldırma bilimi ve teknolojisi CNC takım tezgahları ve üretim otomasyonu*, İstanbul: Birsen yayınevi, 2012.
- [65] *ASM Handbook*, cilt 9, 1995, p. 653.
- [66] Q. Wu, D.-P. Li ve Y.-D. Zhang, *Detecting Milling Deformation in 7075 Aluminum Alloy*, Basel: Metals, 2016.
- [67] S. ER ve S. JT, *Application of Modern Aluminium Alloys to Aircraft*, cilt 32, *Progress Aero Sci*, 1996, pp. 131-172.
- [68] K. Senthil, M. A. Iqbal, P. S. Chandel ve N. K. Gupta, *Study of The Constitutive Behavior Of 7075-T651 Aluminum Alloy*, cilt 108, *International Journal of Impact Engineering*, 2017, pp. 171-190.
- [69] «Dahlih MCV-1020BA Takım tezgahı kataloğu,» 2008. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.dahlih.com.tw>.
- [70] «ISCAR kesici uç ve Takım tutucu kataloğu,» 2015. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.iscar.com.tr>.