YIĞINTI TALAŞ EĞİLİMİ SERGİLEYEN MALZEMELERİN TESTERE İLE KESİLMESİNDE GAGALAMA FONKSİYONUNUN KESME PERFORMANSINA ETKİSİ

Yunus Emre KINACI

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞINTI TALAŞ EĞİLİMİ SERGİLEYEN MALZEMELERİN TESTERE İLE KESİLMESİNDE GAGALAMA FONKSİYONUNUN KESME PERFORMANSINA ETKİSİ

Yunus Emre KINACI
0009-0003-1075-4500

Doç. Dr. Celalettin YÜCE
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

YIĞINTI TALAŞ EĞİLİMİ SERGİLEYEN MALZEMELERİN TESTERE İLE KESİLMESİNDE GAGALAMA FONKSİYONUNUN KESME PERFORMANSINA ETKİSİ

Yunus Emre KINACI

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Celalettin YÜCE

Talaşlı imalat yönteminde iş parçalarının üretim süreci kesme işlemi ile başlar. Endüstride metal ve polimer gibi pek çok mühendislik malzemesinin kesilmesinde testere tezgâhları kullanılmaktadır. Testere tezgâhları malzemelerin istenilen boylarda kesildiği, talaşlı imalat sürecinin başında yer alan bir takım tezgâhıdır. Bu nedenle üretim verimliliğinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu husus dikkate alındığında testere ile kesme işlemlerinin performansı ve kesilen iş parçalarının kalitesi incelenmesi gereken önemli bir çalışma konusu olduğu görülmektedir.

Kesme performansını artırmada, deneysel çalışmalar ya da kesici takım üreticilerinin önerdiği optimum kesme parametreleri kullanılabildiği gibi takım tezgâhlarına eklenen yenilikçi özellikler veya farklı imalat yöntemlerinde kullanılan işleme teknikleri de tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, yığıntı talaş oluşumu ile talaşlı işlenebilirliği zor olan metal malzemeler (AISI 304 ve AA 6082) şerit testere tezgâhında, delik delme işlemlerinde de sıklıkla kullanılan ve kesme hızında değişiklik olmadan ilerleme hızının kesintiye uğratılmasına olanak sağlayan bir gagalama fonksiyonu ile kesilmiştir. Deneyler her iki malzeme için de iki seviye kesme hızı, iki seviye ilerleme oranı, üç seviye gagalama süresi ve dört seviye gagalama mesafesi parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ön ve arka yüzey kalitesi yüzey pürüzlülük ölçüm yöntemi ile, yüzey diklikleri ise CMM ölçüm yöntemi ile açısal sapma cinsinden incelenerek gagalama fonksiyonun kesme performansına etkisi incelenmiştir. Kurulan modelin doğruluk oranı ve deney parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkisini belirlemek adına istatistiki analiz yöntemi (ANOVA) kullanılmıştır. Sonuç olarak gagalama fonksiyonunun yüzey dikliği üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı, yüzey pürüzlülüğünde gagalama ile kesici takım titreşimlerine bağlı olarak artış meydana geldiği ancak belirli malzeme grupları ve gagalama parametrelerindeki değişim ile iyileştirme yapılabileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Testere makinesi, yığıntı talaş, kesme performansı, gagalama
2025, xvi + 68 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

THE EFFECT OF PECKING FUNCTION ON CUTTING PERFORMANCE IN SAWING OF MATERIALS EXHIBITING BUILT-UP EDGE

Yunus Emre KINACI

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Celalettin YÜCE

In the machining method, the production process of workpieces starts with the cutting process. Sawing machines are used in the industry for cutting many engineering materials such as metals and polymers. Sawing machines are a machine tool at the beginning of the machining process where materials are cut to the desired lengths. Therefore, it plays a critical role in production efficiency. Considering this issue, the performance of sawing process and the quality of the cut workpieces is an important subject of study.

Experimental studies or optimum cutting parameters recommended by cutting tool manufacturers can be used to improve cutting performance. In addition, innovative features added to machine tools or machining techniques used in different manufacturing methods are also preferred.

In this study, metal materials (AISI 304 and AA 6082), which are hard to cut be machined with built-up edge, were cut on a band saw with a pecking function, which is frequently used in hole drilling operations and allows the feed rate to be interrupted without changing the cutting speed. Experiments were carried out for both materials at two different cutting speed, two different feed rate, three different pecking time and four different pecking distance. The front and back surface quality of the workpieces were analyzed by surface roughness measurement method and the surface perpendicularity was analyzed by CMM measurement method in terms of angular deviation and the effect of the pecking function on the cutting performance was analyzed. Statistical analysis method (ANOVA) was used to determine the accuracy of the model and the effect of the cutting parameters on the results. As a result, it was observed that the pecking function has no significant effect on the surface perpendicularity, surface roughness increases due to pecking and cutting tool vibrations, but improvement can be made with certain material groups and changes in pecking parameters.

Key words: Sawing machines, built-up edge, cutting perfromance, pecking
2025, xvi + 68 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim sürecimin tamamında bana rehberlik eden, desteğini esirgemeyen, tez çalışmamın çıktılarının değerlendirilmesinde ve anlamlandırılmasında bilgi ve tecrübesinden yararlandığım değerli danışman hocam Doç. Dr. Celalettin YÜCE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Numune yüzey pürüzlülük ve diklik ölçümlerini gerçekleştirmede yardımlarını esirgemeyen, görüşleri ile tezimin bilimsel değerine katkıda bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER ve Dr. Şükran KATMER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin deneysel çalışmaları sırasında makine ve teçhizat kullanımı ile maddi destek sağlayan Bekamak Makine San. ve Tic. A.Ş'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca, maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan, destek veren, lisansüstü eğitimimde ve iş hayatımda aldığım tüm kararlarda beni destekleyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Yunus Emre KINACI
11/06/2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET....viii
ABSTRACT....ix
TEŞEKKÜR....x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ....xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ....xv
ÇİZELGELER DİZİNİ....xvi
1. GİRİŞ….....1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI....4
2.1. Kuramsal Temeller....4
2.1.1. Talaşlı İmalatta İşlenebilirlik....4
2.1.2. Paslanmaz Çelikler....6
2.1.3. Alüminyum Alaşımları....8
2.1.4. Testere ile Kesme İşlemi....9
2.1.5. Testere ile Kesme İşleminde Kesme Performansını Etkileyen Parametreler....10
2.1.5.1. Kesme ve İlerleme Hızı....10
2.1.5.2. Soğutma ve Yağlama Koşulları....11
2.1.5.3. Kesici Takım....12
2.1.6. Testere Tezgâhları....13
2.1.6.1. Sütunlu Yatay Şerit Testere Tezgâhı....13
2.1.6.2. Mafsallı Yatay Şerit Testere Tezgâhı....14
2.1.6.3. Kollu (Lama) Testere Tezgâhı....15
2.1.6.4. Dikey Şerit Testere Tezgâhı....15
2.1.6.5. Daire Testere Tezgâhı....16
2.1.7. Gagalama....17
2.2. Kaynak Araştırması....18
2.2.1. Testere ile Kesme İşlemi Kaynak Araştırması....18
2.2.2. Yığıntı Talaş ve İşlenebilirlik Kaynak Araştırması....21
2.2.3. Gagalama Kaynak Araştırması....23
2.2.4. Kaynak Araştırması Değerlendirmesi....26
3. MATERYAL ve YÖNTEM....27
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler....27
3.1.1. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik....27
3.1.2. AA 6082 Alaşımı....27
3.2. Deneylerde Kullanılan takım Tezgâhı....28
3.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım....29
3.4 Gagalama Fonksiyonu....29
3.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü....33
3.6. Yüzey Dikliği Ölçümü....34
3.7 Anova (Varyans) analizi....36
4. BULGULAR....37
4.1. AA 6082 Malzemesi Yüzey Pürüzlülüğü....37
4.2. AA 6082 Malzemesi Yüzey Pürüzlülüğü Anova Analizi....39
4.3. AA 6082 Malzemesi Yüzey Dikliği....43
4.4. AA 6082 Malzemesi Yüzey Dikliği Anova Analizi....44
4.5. AISI 304 Malzemesi Yüzey Pürüzlülüğü....48

4.6. AISI 304 Malzemesi Yüzey Pürüzlülüğü Anova Analizi 49
4.7. AISI 304 Malzemesi Yüzey Dikliği 53
4.8. AISI 304 Malzemesi Yüzey Dikliği Anova Analizi 54
4.9. Kesici Takımda Meydana Gelen Yanal Titreşimler 58
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 60
KAYNAKLAR 63
ÖZGEÇMİŞ 67

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
Al	Alüminyum
R_a	Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü
N	Azot
Cu	Bakır
Be	Berilyum
Ø	Çap
Zn	Çinko
Fe	Demir
P	Fosfor
V_f	İlerleme hızı
V_c	Kesme hızı
C	Karbon
Cr	Krom
S	Kükürt
Li	Lityum
Mg	Magnezyum
R_z	Maksimum yüzey pürüzlülüğü
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Ni	Nikel
R_q	Quadratik ortalama yüzey pürüzlülüğü
λ	Ölçüm uzunluğu
Si	Silisyum
Ti	Titanyum
V	Vanadyum

Kısaltmalar	**Açıklama**
Aa	Alüminyum alaşımı
Aısı	Amerikan demir çelik enstitüsü
Cnc	Bilgisayarlı sayısal kontrol
Bue	Built-up edge
Bul	Built-up layer
Eds	Elektron dağılımlı spektrokopi
Pvd	Fiziksel buhar biriktirme
Ko	Kareler ortalaması
Kt	Kareler toplamı
Kw	Kilowatt
Cmm	Koordinat ölçme makinesi
Mpa	Megapaskal
μm	Mikrometre
Mm	Milimetre
Ms	Milisaniye
Mql	Minimum miktar yağlama

Plc	Programlanabilir kontrol cihazı
Sd	Serbestlik derecesi
S/N	Sinyal gürültü oranı
Sem	Taramalı elektron mikroskobu
Waam	Tel ark eklemeli imalat
Iso	Uluslararası standart organizasyonu
Yt	Yığıntı talaş
Yk	Yığıntı katmanı
Hss	Yüksek hız çeliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	İşlenebilirlik süreci	5
Şekil 2.2.	Testere ile kesme işlemi mekaniği	10
Şekil 2.3.	Bi-metal şerit testere kesici takımı	12
Şekil 2.4.	Şerit testere kesici takımı diş dizilimi ve profili	13
Şekil 2.5.	Sütunlu yatay şerit testere tezgâhı	14
Şekil 2.6.	Mafsallı yatay şerit testere tezgâhı	14
Şekil 2.7.	Kollu testere tezgâhı	15
Şekil 2.8.	Dikey şerit testere tezgâhı	16
Şekil 2.9.	Daire testere tezgâhı	17
Şekil 2.10.	Gagalama delik delme tekniği	18
Şekil 3.1.	Kesme işlemlerinde kullanılan Wikus Marathon X3000 kesici takımı	29
Şekil 3.2.	Kesme işlemi ve deneylerde kullanılan ekipmanlar	30
Şekil 3.3.	Kesme işlemi akış diyagramı	30
Şekil 3.4.	Testere ile kesme işleminde gagalama tekniği	31
Şekil 3.5.	Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik ölçüm işlemi	34
Şekil 3.6.	Yüzey dikliğinin belirlenmesine yönelik ölçüm işlemi	35
Şekil 4.1.	AA 6082 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği	37
Şekil 4.2.	AA 6082 malzemesi R_z yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği	38
Şekil 4.3.	AA 6082 malzemesi R_q yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği	38
Şekil 4.4.	AA 6082 malzemesi Y eksenine göre açı ana etki grafiği	43
Şekil 4.5.	AA 6082 malzemesi dış kenara göre açı ana etki grafiği	43
Şekil 4.6.	AA 6082 malzemesi diklikten sapma ana etki grafiği	44
Şekil 4.7.	AISI 304 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği	48
Şekil 4.8.	AISI 304 malzemesi R_z yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği	48
Şekil 4.9.	AISI 304 malzemesi R_q yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği	49
Şekil 4.10.	AISI 304 malzemesi Y eksenine göre açı ana etki grafiği	53
Şekil 4.11.	AISI 304 malzemesi dış kenar göre açı ana etki grafiği	53
Şekil 4.12.	AISI 304 malzemesi diklikten sapma ana etki grafiği	54
Şekil 4.13.	Kesme işlemi boyunca kesici takımda meydana gelen yanal titreşimlerin şematik görüntüsü	58
Şekil 4.14.	Kesici takımda meydana gelen sapmalar	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	Paslanmaz çeliklerin özellikleri	7
Çizelge 2.2.	Alüminyum alaşımları mukavemet değerleri	8
Çizelge 3.1.	AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu	27
Çizelge 3.2.	AISI 304 östenitik paslanmaz çelik mekanik özellikleri	27
Çizelge 3.3.	AA 6082 alaşımı kimyasal kompozisyonu	28
Çizelge 3.4.	AA 6082 alaşımı mekanik özellikleri	28
Çizelge 3.5.	BMSO 570 XS yatay şerit testere tezgâhı teknik özellikleri	28
Çizelge 3.6.	AA 6082 malzemesi için kullanılan kesme parametreleri	32
Çizelge 3.7.	AISI 304 malzemesi için kullanılan kesme parametreleri	33
Çizelge 4.1.	AA 6082 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları	40
Çizelge 4.2.	AA 6082 malzemesi R_z yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları	41
Çizelge 4.3.	AA 6082 malzemesi R_q yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları	42
Çizelge 4.4.	AA 6082 malzemesi Y eksenine göre açı anova analizi sonuçları	45
Çizelge 4.5.	AA 6082 malzemesi dış kenara göre açı anova analizi sonuçları	46
Çizelge 4.6.	AA 6082 malzemesi diklikten sapma anova analizi sonuçları	47
Çizelge 4.7.	AISI 304 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları	50
Çizelge 4.8.	AISI 304 malzemesi R_z yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları	51
Çizelge 4.9.	AISI 304 malzemesi R_q yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları	52
Çizelge 4.10.	AISI 304 malzemesi Y eksenine göre açı anova analizi sonuçları	55
Çizelge 4.11.	AISI 304 malzemesi dış kenara göre açı anova analizi sonuçları	56
Çizelge 4.12.	AISI 304 malzemesi diklikten sapma anova analizi sonuçları	57

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat, farklı geometrilerde ve farklı malzemelerden imal edilmiş kesici takımlarla malzeme kaldırma prensibine dayanan, iş parçasının şekillendirildiği bir imalat yöntemidir. Talaşlı imalat sanayisinde iş parçalarının istenilen geometrik boyutlarda kesilememesi gibi problemlerle karşılaşılabilmektedir. Talaşlı imalat proseslerinin başlangıç adımı çoğunlukla malzemelerin belirli ölçülere getirilmesi amacıyla gerçekleştirilen testere ile kesme işlemidir. Bu işlem malzemelerin ikincil talaşlı imalat proseslerine hazırlanması açısından oldukça kritik bir öneme sahiptir. Dolayısıyla bu işlemde meydana gelebilecek verim ve performans kaybı ile birlikte bunları iyileştirmeye yönelik gerçekleştirilecek çalışmalar ikincil talaşlı imalat işlemlerini doğrudan etkilemektedir.

Talaşlı imalat yöntemlerinden birisi olan testere ile kesme işlemi özellikle çelik, alüminyum, polimer gibi farklı tür malzemelerin kesilmesi amacıyla endüstride uzun yıllardır yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Testere ile kesme işlemi testere tezgâhlarında gerçekleştirilir. Testere tezgâhları iş parçasının istenilen boyutta ve hassasiyette kesilmesi amacıyla kullanılan, şerit, daire veya lama şeklinde kesici takım kullanılan bir takım tezgâhıdır. Bu tezgâhlarda kullanılan kesici takım profili, kesme hızı ve ilerleme oranı gibi kesme parametreleri kesme performansını etkileyen önemli unsurlardan bir kaçıdır.

Testere ile kesme işlemi bazı mekanik ve termal etkilerin kombinasyonunu içeren bir talaş kaldırma yöntemidir. Özellikle kesici takım ile iş parçaları arasında oluşan etkileşim talaş ve bu talaşın tahliyesi ile doğrudan ilişkilidir. Talaş tahliyesi, kesici takım ömrü, iş parçası yüzey kalitesi ve geometrik toleransları, kesme performansı ve işleme maliyetleri bakımından önemli bir etkendir. Yetersiz talaş tahliyesi kesici takımın erken aşınmasına ve iş parçası yüzey kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Bu bakımdan testere tezgâhları kesme performansını artırmak için yenilikçi metotlar uygulanabilme potansiyeline sahiptirler.

Malzemelerin talaşlı imalat süreçlerini zorlaştıran, kesici takım ömrü, iş parçası yüzey kalitesi ve geometrik toleransların korunması ile kesme performansı üzerinde etkili olan pek çok önemli etken vardır. Bu etkenlerin en önemlilerinden birisi malzemelerin işlenebilirliğidir. İşlenebilirlik kavramı standart bir özellik olmamakla birlikte malzeme üzerinden kesici takımla talaş kaldırma operasyonunun zorluğu veya kolaylığını ifade eden teknik bir kavramdır. Paslanmaz çelikler, alüminyum alaşımları, titanyum alaşımları, inconel alaşımları gibi malzemeler düşük termal iletkenlikleri, ısıl dirençleri, sürekli talaş oluşması ve bazı alaşım elementlerinden dolayı işlenmesi zor malzemeler grubuna dahildirler. Bu malzemelerin talaşlı imalatında uygun şartlar sağlanamadığında, oluşan ısı enerjisinin talaşa aktarılamamasından dolayı talaşlar kesici takım ve iş parçası yüzeyine sıvanarak yığıntı talaş (YT) (Built-Up Edge-BUE) ve yığıntı katmanı (YK) (Built-Up Layer-BUL) meydana gelir. Bu tür malzemelerin talaşlı imalatını kolaylaştırmak adına gagalama tekniği gibi özellikle talaş tahliyesini kolaylaştıran, oluşan talaşın kesici takım ve iş parçası yüzeyine sıvanmasını engelleyerek kesme performansını artırmaya yönelik imalat teknikleri endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, yığıntı talaş oluşturma eğilimlerinden dolayı işlenmesi zor olarak nitelendirilen AA 6082 ve AISI 304 malzemeleri servo motor kontrollü otomatik şerit testere tezgâhında ilerleme oranının kesintiye uğratılmasına olanak sağlayan bir gagalama fonksiyonu ile kesilmiştir. 2 farklı gagalama süresi, 3 farklı gagalama mesafesi, 2 farklı ilerleme oranı ve 2 farklı kesme hızı parametrelerinde kesilen malzemelerin kesme performansı yüzey pürüzlülüğü ve yüzey dikliği incelenerek belirlenmiştir. Ölçüm sonuçları ana etki grafikleri ve anova (varyans) analizleri ile karakterize edilerek gagalama fonksiyonunun testere ile kesme işlemine uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmanın kuramsal temeller ve kaynak araştırması bölümünde çalışmanın temel konularını oluşturan malzemelerin işlenebilirliği konusu, testere ile kesme işlemi ve gagalama tekniğinden bahsedilerek ilgili konularda gerçekleştirilmiş çeşitli bilimsel çalışmalar kısaca özetlenmiştir. Materyal ve metot bölümünde çalışma kapsamında kullanılan makine, ekipman, komponent, malzeme, ölçüm ve analiz teknikleri ile kesme işleminde uygulanan gagalama fonksiyonunun detaylı açıklamalarına kullanılan kesme parametreleri ile

birlikte yer verilmiştir. Bulgular bölümünde numunelerin ön ve arka yüzeylerine ait pürüzlülük ve yüzey diklik sonuçları incelenmiş ve her bir sonuca uygulanan anova analizi ile kesme parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkileri ile kurulan modellerin güvenilirlik değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda gagalama fonksiyonu ile gerçekleştirilen kesimlerde elde edilen sonuçlar gagalama fonksiyonunun uygulanmadığı kesimlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ve tartışma bölümünde çalışmada elde edilen çıktıların genel özeti yapılmıştır. Bulgular bölümünde verilen ana etki grafikleri ve anova analizi sonuçları ve sonuçların nedenlerine yönelik literatür, şekil ve grafiklerle yorumlamalar yapılmıştır. Son olarak elde edilen sonuçların iyileştirilebilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

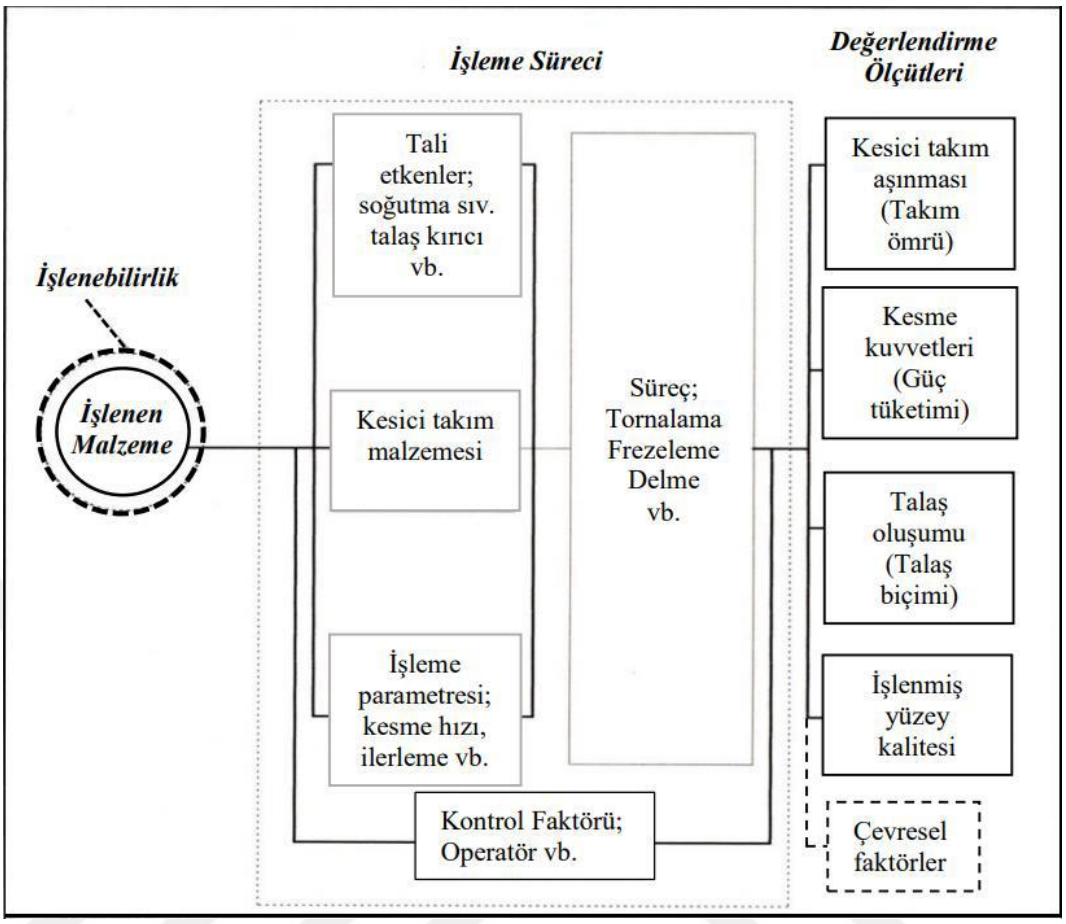
Kuramsal temeller ve kaynak araştırması bölümünde talaşlı imalatta işlenebilirlik, paslanmaz çelikler, alüminyum alaşımları, testere ile kesme işlemi, kesme performansını etkileyen faktörler, testere tezgâhları, ve gagalama konusu ile ilgili bilgiler kuramsal temeller başlığı altında, literatürde yer alan testere ile kesme işlemi, yığıntı talaş, işlenebilirlik ve gagalama tekniği konusundaki çalışmalar hakkında özet bilgiler kaynak araştırması başlığı altında ayrı olarak verilmiştir.

2.1. Kuramsal Temeller

2.1.1. Talaşlı İmalatta İşlenebilirlik

Talaşlı imalat yöntemleri malzemelerin istenilen şekle getirilmesi amacıyla kullanılan en yaygın imalat proseslerinden birisidir. Döküm, haddeleme, dövme gibi proseslerle üretilmiş yarı mamullerin üzerinden torna, freze, vargel, testere gibi takım tezgâhları ile talaş kaldırılmasıyla istenilen boy, şekil ve geometrik toleranslar sağlanır (Bozkurt, 2019).

İşlenebilirlik malzemelerin işlenebilme kabiliyetinin bir tanımı olmakla birlikte genellikle incelenmesi kolay olmayan bir çalışma konusudur. Yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, talaş tahliyesi, kesici takım ömrü gibi çıktıları olan işlenebilme kolaylığını tanımlayan bir tabirdir (Eser, 2020). Örneğin orta karbonlu bir çeliğin ısıl işlem görmüş alaşımlı bir çeliğe göre işlenebilirliği iyi iken sıvanma eğilimindeki düşük karbonlu bir çeliğin işlenebilirliği bazı alaşımlı çeliklere kıyasla zordur (Çakır, 2018). Şekil 2.1'de de görüleceği üzere işlenebilirlik malzeme özelinde olan bir durumdur. İş parçası kimyasal kompozisyonu, fiziksel ve mekanik özellikleri işlenebilirliği etkileyen önemli unsurlardandır.



Şekil 2.1. İşlenebilirlik süreci (Eser, 2020).

Talaşlı imalat yöntemlerinde işlenen malzemelerin yüzey kalitesi kesme performansını belirleyen en önemli çıktılardan birisidir. Ancak bu çıktının olumsuz etkilendiği pek çok parametre vardır. Bunların en önemlilerinden biri yığıntı talaş (YT) oluşumudur. Kesici takımda oluşan YT büyük hacimli ve kararsız bir yapı sergiler. Bu nedenle işleme sırasında oluşan YT işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğünü artırır. Bazı sünek alüminyum alaşımlarında görülen sıvanma yığıntı talaş oluşumuna olanak sağlar. Bu durumun önüne işleme sırasında iyi bir soğutma yöntemi kullanılarak geçilebilmektedir. Soğutmanın takım-talaş ara yüzeyinde oluşturduğu tabaka ile kesici takımda oluşabilecek sıvanmayı engellediği, takım geometrisinin bozulmadığı ve dolayısı ile malzeme yüzey kalitesinin olumlu etkilendiği bilinen bir durumdur (Çakır vd., 2014). Östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerinde yığıntı talaş olumu nedeni ile işlenebilirliği zordur. Özellikle bu çelik gruplarında düşük ve yüksek kademeli kesme hız aralığı mevcuttur. Aradaki değerler genellikle yığıntı talaş oluşumuna neden olurlar.

Alüminyum alaşımları ve paslanmaz çelikler gibi titanyum alaşımları da YT oluşumu nedeniyle işlenebilirliği zor olan malzemeler sınıfına girerler. Titanyum alaşımları düşük ısıl iletkenliğe sahiptirler. Bu durumun işleme sırasında oluşan talaşların ısıyı aktaramaması ve kesici takıma sıvanması ile sonuçlanabilmektedir. Paslanmaz çeliklere kıyasla daha az da olsa titanyum alaşımları da deformasyon sertleşmesine uğrarlar. Neredeyse yanacak sıcaklığa ulaşan parçalı talaşlar genellikle kesici takımın aşınan kenarları üzerine sıvanarak işleme performansını olumsuz etkiler (Çakır, 2018).

İşlenebilirliği, imal edilecek malzemelerin özellikleri de büyük oranda etkilemektedir. Optimum kesme parametrelerinin belirlenebilmesi ve optimum işleme koşullarının sağlanabilmesi için işlenecek malzemeye ait aşağıdaki özelliklerin ve bu özelliklerin işlenebilirliğe etkisinin ne derecede olduğunun bilinmesi oldukça önem arz etmektedir. Malzemelerin işlenebilirliğini etkileyen temel özellikleri şu şekildedir:

- Sertlik ve mukavemet
- Süneklik
- Isıl iletkenlik
- Deformasyon sertleşmesi
- Kalıntılar
- İşlenebilirliği kolaylaştıran katkı malzemeleri
- Malzeme yapısı
- İş parçası üretim koşulları şeklindedir (Çakır, 2018).

2.1.2. Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler yapısında en az %12 Cr içeren, endüstride sıklıkla kullanılan malzemeler arasında yer alan demir karbon alaşımlarıdır. Çeliklerin korozyon dayanımını artırma amaçlı geliştirilmiş olan paslanmaz çeliklerin kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı içerisinde bulunan Cr elementinin oranına bağlıdır. Oksijenle tepkimeye giren Cr çeliğin yüzeyinde krom oksit tabakası oluşturur. Bu durum çeliğin paslanarak korozyona uğramasını önleyen mekanizmadır. Ayrıca Cr elementi çeliklerin yüksek sıcaklıklarda mukavemetini kaybetmeden çalışmasına da olanak sağlar (Yıldız, 2019).

Paslanmaz çelikler genel olarak yüksek korozyon dayanımına sahip olsalar da işlenebilme kabiliyetleri türüne göre değişmektedir. Bir türü düşük ısıl iletkenlik katsayısı, süneklik, yüksek deformasyon sertleşmesi hızı, yığıntı talaş oluşturma gibi talaşlı imalatı zorlaştıran özelliklere sahipken diğer bir türü yapısındaki alaşım elementlerinden dolayı kolay plastik şekil verilebilme ve kaynak edilebilme özelliği taşıyabilir (Yıldız, 2019).

Paslanmaz çelikler mikroyapı ve işlevselliklerine bağlı olarak beş gruba ayırılırlar. Bunlar:

- Östenitik paslanmaz çelik
- Ferritik paslanmaz çelik
- Mantensitik paslanmaz çelik
- Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelik
- Çökelti sertleştirilebilir paslanmaz çeliklerdir.

Bu çeliklerin her birinin mikroyapı, mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi farklılıklar göstermektedir (Bozkurt, 2025).

Çizelge 2.1. Paslanmaz çeliklerin özellikleri (Bozkurt, 2025)

AISI Paslanmaz Çelik	Mikroyapı Özellikleri	Mekanik Özellikler	Fiziksel Özellikler
Östenitik	Östenit	Elastik gerilme: 480-870 Mpa	Akma gerilmesi: 200-580 Mpa
Ferritik	Ferrit	Elastik gerilme: 410-640 Mpa	Akma gerilmesi: 280-575 Mpa
Martensitik	Martensit	Elastik gerilme: 485-999 Mpa	Akma gerilmesi: 277-870 Mpa
Dubleks	Östenit & Ferrit	Elastik gerilme: 688-910 Mpa	Akma gerilmesi: 409-912 Mpa
Precipitation Hardenable	Östenit & Martensit	Elastik gerilme: 890-995 Mpa	Akma gerilmesi: 271-992 Mpa

2.1.3. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum sahip olduğu yüksek mukavemet, hafiflik, korozyon dayanımı gibi özelliklerinden dolayı özellikle havacılık ve otomotiv sanayisinde tercih edilen bir metal malzemedir. Mekanik özellikleri bu metalin saf halde kullanılmasına müsaade etmez. Bu nedenle çoğunlukla karşımıza alaşım şeklinde çıkar. Endüstride yaygın olarak 1000, 2000, 3000, 5000, 6000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımları karşımıza çıkmaktadır (Boz, 2025). Hafifliklerinin yanı sıra elektrik ve ısıl iletkenlik, korozyon dayanımı gibi özellikleri ile de ön plana çıkmaktadırlar. Bazı alüminyum alaşımları yumuşak çeliklerle rekabet edebilecek şekilde mukavemetlidir. Plastik şekillendirilebilme kabiliyetleri yüksektir. Alüminyum alaşımlarının mukavemet değerleri Çizelge 2.2'de gösterildiği gibi imalat yöntemine göre farklılıklar göstermektedir (Hüseyinoğlu, 2008).

Çizelge 2.2. Alüminyum alaşımları mukavemet değerleri (Hüseyinoğlu, 2008)

Özellik	Döküm Al.	Hadde Al.	Isıl. İş. Tb. Tut. Al.
Çekme dayanımı (kg/mm^2)	9-12	18-28	7-11
Akma dayanımı (kg/mm^2)	3-4	16-24	5-11
Uzama %	18-25	3-5	30-40
Büzülme %	40-55	60-85	80-95
Sertlik (BSD)	24-32	45-60	80-95

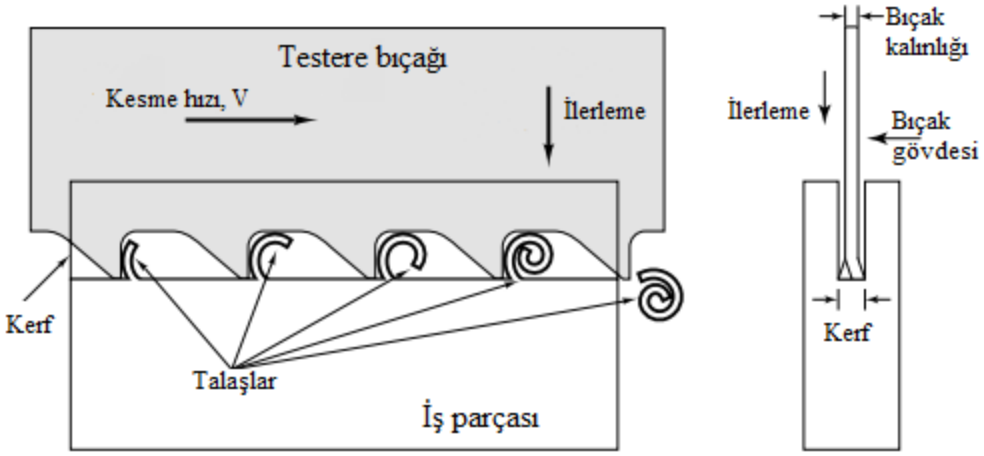
Alüminyum alaşımlarının talaşlı işlenebilirliği türlerine göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak saf haldeki alüminyumun işlenebilirliği alaşımlarına göre çok daha zordur. Saf haldeki alüminyumda aşındırıcı özellikteki talaş oluşumu iş parçası yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkiler. Birçok alüminyum alaşımı yüksek takım ömrü ve iyi iş parçası yüzey kalitesi için yüksek kesme hızlarında işlenir. Temperlenmiş alaşımların işlenebilirlikleri yüksektir ve iyi yüzey kalitesine sahiptirler. Özellikle yüksek oranda silisyum içeren alaşımlar ise talaş yırtılmasından dolayı kötü yüzey kalitesi sunarlar. Çoğu alüminyum alaşımı mikroyapısında birden fazla faz bulundurur. Bu, düşük hızlarda talaşın takıma sıvanmasına yol açar. Bunu önlemek için kesme hızı mümkün olduğunca yüksek seçilir. Alüminyum alaşımlarının talaşlı işlenebilirliğindeki bir başka problem de yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan alaşımların aşırı plastik

deformasyona maruz kalmasıdır. Bu tip alaşımlar işlenirken dayanıklı, kalın ve uzun talaş oluşturur ve bu talaş kesici takım ve iş parçası yüzey kalitesini olumsuz etkiler (Hüseyinoğlu, 2008).

2.1.4. Testere ile Kesme İşlemi

Çelik, alüminyum, titanyum, inconel gibi metal malzemelerin talaş kaldırma prensibi ile belirli ölçülere getirilmesine kesme işlemi denir ve bu işlem uzun yıllardır testere ile gerçekleştirilir (Asiltürk, 2007). Sanayide malzemelerin istenilen uzunluklarda kesilmesi genellikle problemli bir işlemdir. Malzeme kalitesi, çap gibi unsurlara göre farklı takım tezgâhı ve kesme yöntemleri tercih edilmektedir. Özellikle testere ile yapılan kesme işlemlerinde diş başına düşen talaş miktarı az olsa da yüksek kesme kuvvetleri işlemi zorlaştıran unsurlardan birisidir. Testere ile kesmede diş başına sabit bir talaş derinliği belirlenemez. Bunun yerine ilerleme oranı kontrolü ile kesici takım ve iş parçası arasındaki reaksiyon kuvvetleri ayarlanır. Kesme performansı kesici takım diş yapısı, kesme parametreleri, talaş geometrisi gibi birçok parametreden doğrudan etkilenir. Özellikle kesici takımın ömrünün sonlarına doğru sürtünme etkisi ile aşınma mekanizmaları hızlanır, talaş geometrisinde değişiklikler gözlemlenir ve iş parçası yüzey kalitesi ile geometrik toleranslar istenilen seviyelerin dışına çıkar (Sarıaslan, 2016).

Testere ile kesme işlemi mekaniği (Şekil 2.2) ince bir şerit üzerinde kesici dişlerin ve kenarların bulunduğu kesici takım (şerit testere bıçağı) ile malzeme üzerinden kesici takımın diş kalınlığı kadar bir çizgiden talaş kaldırma prensibine dayanan bir imalat yöntemidir. Dişler kesici takımın hareketi ile talaş kaldırarak malzemeyi şekillendirir. Malzemelerin kesilmesi için yalnızca kesici takım diş kalınlığı kadar bir malzeme sarfiyatı olduğundan bu işlem ekonomik bir işlem olarak bilinmektedir (Erol, 2023). Testere ile kesme işlemi doğrudan kullanılan bir iş parçası ortaya koymakla birlikte tornalama, frezeleme gibi ikincil imalat proseslerinde kullanılmak üzere yarı mamulde ortaya konulabilmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda farklı özelliklerde testere tezgâhları geliştirilmiştir (Mulaitat, 2022).



Şekil 2.2. Testere ile kesme işlemi mekaniği (Erol, 2023).

2.1.5. Testere ile Kesme İşleminde Kesme Performansını Etkileyen Parametreler

Testere ile kesme işleminde kesme performansı iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve geometrik toleransları, tezgâh enerji tüketimi, ses, titreşim, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığı, kesici takım aşınması, ana motor akımı gibi pek çok çıktıya göre değerlendirilir. Bu çıktılar ise doğrudan veya dolaylı olarak bazı önemli kesme parametrelerinden etkilenir. Kesme performansını etkileyen önemli kesme parametreleri ve etkileri bu başlık altında değerlendirilmiştir.

2.1.5.1. Kesme ve İlerleme Hızı

Tornalama, frezeleme gibi yaygın olan talaşlı imalat yöntemlerinde olduğu gibi testere ile kesme işleminde de işleme performansını etkileyen birincil parametreler kesme ve ilerleme hızıdır. Bu parametreler özellikle iş parçası yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilemektedir. Kesme hızında gerçekleştirilen artış diş başına düşen talaş miktarının azaltmaya ve talaş tahliyesinin kolaylaşmasına yardımcı olduğundan yüzey kalitesine olumlu yansımaktadır. İlerleme hızının artışındaki etki ise kesme hızının tam tersidir. İlerleme hızı artışı ile diş başına düşen talaş miktarı artmakta, bu da yüzey kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kesme ve ilerleme hızının bir diğer önemli etkisi kesme kuvvetleridir. Kesme hızının artışı yüzey pürüzlülüğünde olduğu gibi diş başına düşen talaş miktarını artırdığı ve talaş tahliyesini kolaylaştırdığı için kesme kuvvetlerini

azaltmaktadır. İlerle hızındaki artış ise yine yüzey pürüzlülüğünün tam tersi olarak kesme hızına göre kesme kuvvetlerinde artışa neden olmaktadır (Mulaitat, 2022).
Kesme ve ilerleme hızı, işleme sırasında oluşan kesme sıcaklıkları üzerinde de etkili parametrelerdir. Testere ile kesme işleminde oluşan sıcaklık kesici takım ve iş parçası üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Yüksek seviyelerdeki kesme ve ilerleme hızları kesme işlemi sırasında oluşan sıcaklığın artmasına neden olmaktadır (Yıldız, 2022).

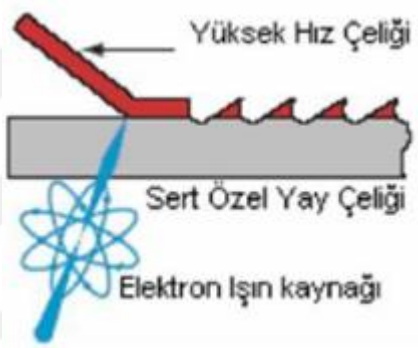
2.1.5.2. Soğutma ve Yağlama Koşulları

Özellikle yüksek hızlardaki kesme işleminde oluşan sıcaklık ve termal gerilmeler malzemenin plastik deformasyon hızını artırmaktadır. Soğutma ve yağlama sıvıları diğer imalat yöntemlerinde olduğu gibi testere ile kesme işleminde de kritik bir rol oynamaktadır (Erol, 2023). Kesme işlemi sırasında kesici takım ve iş parçası temasına bağlı olarak açığı çıkan ve genel olarak kesme performansına olumsuz etkisi olan sıcaklık kesme sıvıları ve kesme yağlarının kullanımı ile düşürülmektedir. Kesme sıvıları oluşan sıcaklığın çevreye iletilmesinde daha etkin bir role sahipken kesme yağları ise kesici takım ve iş parçası yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltarak kesici takım ömrüne odaklanır. Testere ile kesmede yetersiz yağlama ve soğutma koşulları kesici takım ömrünün azalmasına, yığıntı talaş oluşumuna, sıcaklığın artmasına, iş parçası yüzey kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır (Mulaitat, 2022).

Soğutma ve yağlama koşulları testere ile kesme işlemine ekonomiklik ve sürdürülebilirlik olarak da yansımaktadır. Endüstride testere ile kesmede çoğunlukla bor yağı gibi taşma soğutma yöntemi kullanılmaktadır. Kesme sırasında kullanılan taşma soğutma debisinin genelde çok yüksek olması hem ekonomik hem de çevreye verilen zarar düşünüldüğünde olumsuz etkisi olduğu görülmektedir. Taşma soğutmaya kıyasla kullanım oranı daha az olsa da minimum miktar yağlamanın da (MQL) kullanıldığı kesme işlemleri mevcuttur. MQL taşma soğutmaya göre çok daha ekonomik ve sürdürülebilir bir yağlama yöntemidir. Bu avantaj MQL kullanım potansiyelinin artmasına olanak sağlamaktadır (Rangasamy vd., 2023).

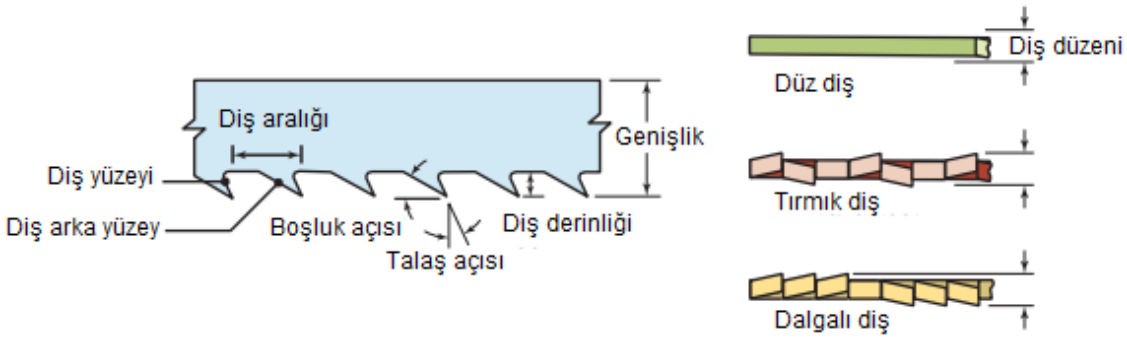
2.1.5.3. Kesici Takım

Kesici takım kesme performansı üzerinde etkili olan bir diğer parametredir. İş parçası kalitesi, sertliği ve kesitine göre farklı diş profillerinde ve özelliklerde kesici takım seçilir. Uygun seçilmeyen kesici takım, kesme işlemi sırasında erken aşınmalara ve ömrünün erken tamamlanması ile sonuçlanabilmektedir (Mulaitat, 2022). Şerit testere tezgâhlarında karbon çeliği, karbür ve elmas kesici takımlar kullanılsa da en yaygın olanı bi-metal şerit testere kesici takımıdır. Bi-metal kesici takım (Şekil 2.3) üst kısmı yay çeliği, diş kısımları HSS den imal edilen uzun ömürlü ve yüksek hızlarda işlemeye elverişli bir takımdır (Sarıaslan, 2016).



Şekil 2.3. Bi-metal şerit testere kesici takımı (Mulaitat, 2022).

Kesici takımın diş profilleri de kesme performansını etkilemektedir. Dişlerin dizilimi, sayısı, açı ve yüzeyleri kesme işleminde oluşan talaş akışına ve kesme kuvvetlerine etki etmektedir. Dişlerin dizilimi kesici takımın yan yüzeylerinde bir boşluk meydana getirir. Uygun olmayan diş dizilimi kesme işlemi sırasında kesici takımın iş parçası içinde sıkışmasına neden olur. Diş sayısı bir parmakta bulunan diş adedi olarak nitelendirilir. Diş sayısının artması iş parçası ile temasın artmasına, dolayısıyla diş başına düşen kuvvetin etkilenmesine neden olur (Sarıaslan, 2016). Şerit testere kesici takımı diş dizilimi ve profili Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Şerit testere kesici takımı diş dizilimi ve profili (Erol, 2023).

2.1.6. Testere Tezgâhları

Kesilecek malzeme kalitesi ve kesit tipi, kullanılan kesici takım, istenilen kesme performansı gibi unsurlara göre farklı mekanizmalarda testere tezgâhları mevcuttur. Testere tezgâhları bu başlık altında incelenecektir.

2.1.6.1. Sütunlu Yatay Şerit Testere Tezgâhı

Sütunlu yatay şerit testere tezgâhı (Şekil 2.5) endüstride sıklıkla tercih edilen geniş kesme kapasitesine sahip olan, kasnaklar vasıtasıyla kesici takımın dönüş hareketinin sağlandığı testere tezgâhıdır. Kesici takım olarak farklı uzunluklarda, farklı diş sayısı ve profilinde şerit testere bıçakları kullanılır. Şerit testere bıçağı genel olarak yay çeliği ve HSS den oluşan bi-metal olsa da karbür uçlu olanları da tercih edilmektedir. Bu tip tezgâhların ilerleme hareketi üzerlerinde lineer kızak bulunan sütunlarda gerçekleştirilir. İlerlemenin tahriki sütunlarda yer alan Servo motor ya da hidrolik ünitelerle sağlanır. Soğutma yöntemi olarak çoğunlukla taşma soğutma tercih edilir.



Şekil 2.5. Sütunlu yatay şerit testere tezgâhı.

2.1.6.2. Mafsallı Yatay Şerit Testere Tezgâhı

Mafsallı şerit testere tezgâhı (Şekil 2.6) adından da anlaşılacağı üzere kafa grubunun bir taraftan mafsallı bir şekilde yataklandığı testere tezgâhıdır. Sütunlu şerit testere tezgâhlarına kıyasla kesme kapasitesi daha düşük olmasına rağmen kullanımı daha yaygındır. Mafsal yapısı dönme hareketine izin verdiğinden malzemelerin açılı kesilmesine de olanak sağlar. İlerleme hareketi genellikle kafa grubunun ağırlığı ve yer çekimi ivmesinden yararlanılarak sağlanır.



Şekil 2.6. Mafsallı yatay şerit testere tezgâhı.

2.1.6.3. Kollu (Lama) Testere Tezgâhı

Kollu (lama) testere tezgâhı (Şekil 2.7) en ilkel testere tezgâhı olup endüstride ilk kullanılan testere tezgahlarındandır. Kesme işlemi eksantrik hareket ile sağlanır. Eksantrik milinden gelen hareketle lama şeklindeki kesici takım malzeme üzerinden talaş kaldırır. İlerleme hareketi kafa grubunun ağırlığı ve yer çekimi ivmesi ile sağlanır. Kesici takımın lama şeklinde olması malzeme kesilmesi sırasında sürekli olarak aynı dişlerin talaş kaldırmasına neden olur. Bu durum kesici takımın ömrünün kısa olması dezavantajını doğurmaktadır.



Şekil 2.7. Kollu testere tezgâhı.

2.1.6.4. Dikey Şerit Testere Tezgâhı

Dikey şerit testere tezgâhı (Şekil 2.8) kesici takımın tablaya dik bir şekilde pozisyonlandırıldığı testere tezgâhıdır. En büyük avantajlarından biri kesici takımın burulmadan malzemeyi kesmesidir. Bu durum kesici takım ömrünün teorik olarak uzun olması anlamına gelmektedir. En büyük kullanım alanı blok, kütük veya lama şeklindeki malzemelerin dilimlenerek kesilmesidir.



Şekil 2.8. Dikey şerit testere tezgâhı.

2.1.6.5. Daire Testere Tezgâhı

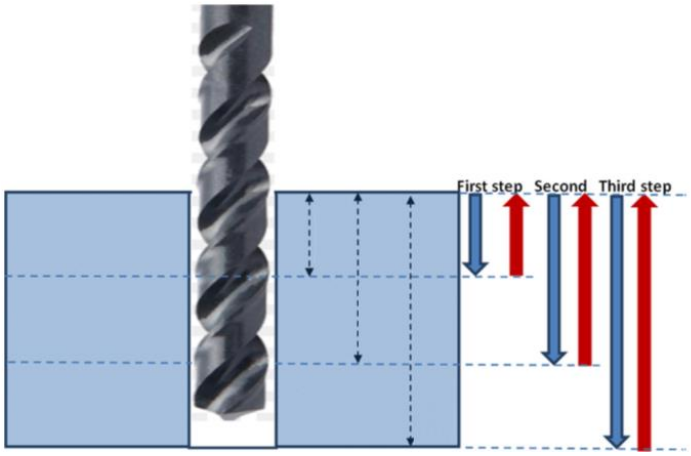
Daire testere tezgâhı (Şekil 2.9), kesme hızının asenkron motordan kayış kasnak sistemi ve redüktör ile kesici takıma aktarıldığı, malzemelerin dairesel kesici takımlarla kesildiği testere tezgâhıdır. Kullanılan kesici takımlar kesilecek malzeme çapına, kalitesine ve sertliğine bağlı olarak farklı çap ve diş sayılarında genel olarak HSS ve karbür uçlu olarak tercih edilirler. Karbür uçlu olanlarına belirli bir mesafede PVD kaplama uygulanır. Bu tezgâhların veriminin genellikle yüksek olması avantaj sağlamaktadır. Şerit testere tezgâhlarına kıyasla kesme süreleri kısa ve iş parçası yüzey kalitesi daha yüksektir. Soğutma sıvısı olarak taşma soğutma kullanımı olsa da MQL kullanımı daha yaygındır.



Şekil 2.9. Daire testere tezgâhı.

2.1.7. Gagalama

Tüm talaşlı imalat yöntemleri içerisinde delik delme işlemi %33 paya sahiptir. Buda delik delme işleminin imalat sanayisi için ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir. Matkapla delik delme işlemlerindeki doğrudan delme tekniği, matkabın dönme hareketi devam ederken malzeme içerisine kesintisiz bir ilerleme ile dalmasıdır. Bu teknik her ne kadar sıklıkla kullanılsa da işlenmesi zor olan, sünek, ısıl iletkenliği düşük malzemelerin delinmesinde yüksek miktarda ısı enerjisi açığa çıkmasına ve oluşan talaşın matkaba sıvanarak delik kalitesinin ve matkap ömrünün olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Ayrıca matkap çapına kıyasla delme derinliği yüksek olan derin delik delme işlemlerinde de doğrudan delme iyi bir performans vermez (Çiftçi ve Gökçe, 2019). Doğrudan delmede yaşanan bu problemlerin ortadan kaldırılması için gagalama delme yöntemi kullanılmaktadır. Gagalama delme işlemi delik delme sırasında delik içindeki talaşın tahliyesini kolaylaştıran bir tekniktir. Bu teknik oluşan kesme kuvvetlerinin azaltılmasında ve delik kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynar (Batman, 2019). Şekil 2.10'dan da anlaşılacağı üzere gagalama tekniği matkabın işleme sırasında ilerlemesini geriye çekerek talaşın tahliyesini sağlaması, daha sonra tekrar ilerleyerek delik delmeye devam etmesi ile meydana gelen bir döngüdür.



Şekil 2.10. Gagalama delik delme tekniği (Eltaggaz ve Deiab, 2019).

2.2. Kaynak Araştırması

Bu bölümde testere tezgâhlarında gerçekleştirilen kesme işlemleri, yığıntı talaş ve işlenebilirlik, gagalama konularında gerçekleştirilen çalışmaların özet bilgilerine ayrı olarak yer verilmiştir.

2.2.1. Testere ile Kesme İşlemi Kaynak Araştırması

Khan vd. (2014), inconel 718 alaşımının karbür uçlu kesici takım ile şerit testere tezgâhında işlenmesi üzerine deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde kesme kuvvetleri ölçülerek kesici takım üzerindeki aşınma mekanizmaları taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda kesici takım dişleri yan yüzeyinde adhezif aşınma, abrazif aşınma, plastik deformasyon ve yığıntı talaş oluşumunun meydana geldiğini, bu durumun kesme kuvvetinde artışa ve kesme performansında azalmaya neden olduğunu, uygun olmayan kesme parametrelerinin kesici takım ömründe azalmaya neden olabileceğini belirtmişlerdir.

Kang vd. (2025), sert alaşımların kaba ve ince işlenmesinde karbür uçlu daire testere bıçağının kesme performansını ve aşınma ilerlemesini incelemek için AA 7075 malzemesi ile kesme deneyleri gerçekleştirmiş ve aşınma mekanizmalarını karakterize etmek adına SEM ve elektron dağılımlı spektroskopi (EDS) incelemesi yapmışlardır. Sonuç olarak kesici takım üzerinde mikro yapışma, erozyon aşınması, yığıntı talaş gibi

pek çok farklı aşınma mekanizması olduğunu, kesici takımın artan eksenel titreşimi ile yüzey pürüzlülüğünün artmasına neden olduğunu belirterek aşınma mekanizmalarının oluşumunu titreşime, kesme ısısına ve kesme yüküne atfetmişlerdir.

Kang vd. (2024), AA7075 malzemesinin dairesel testere bıçağı ile kesilmesinde dinamik kesme kuvvetlerine dayalı eksenel titreşim modeli önerisi ile iş parçası yüzey kalitesinin tahmin edilmesini amaçlamışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda kurulan modelin AA7075 alaşımının testere ile kesilmesine uygulanabilirliğini doğrulamışlardır.

Ni vd. (2023), gerçekleştirdikleri çalışmada paslanmaz çeliklerin şerit testere tezgâhında kesilmesinde kesme kuvveti tahmin modeli üzerine yoğunlaşmışlardır. Kesme kuvveti ve kesme verimliliği optimizasyonunun sağlanması hedefi ile kesme parametresi optimizasyonu tasarım modeli oluşturulmuştur. Model doğruluğunun belirlenmesi adına deneysel çalışma gerçekleştirmiş ve kesme kuvveti tahmin modelinin deneysel sonuçlarla eşleştiğini, maksimum kesme kuvveti ve kesme verimliliği üzerinde önemli derecede iyileşme sağlayarak çalışmalarının kesme kuvveti tahmini ve parametre optimizasyonu için referans niteliğinde olduğunu belirtmişlerdir.

Yıldız vd. (2021), AISI 1040 malzemesinin testere ile kesilmesi işleminde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü açısında optimizasyonunu çalışmışlardır. Tezgâh gövde tipi, kesici takım geometrisi, kesme hızı ve ilerleme oranı deney parametrelerinde taguchi metodu ile deney tasarımı oluşturmuşlardır. Yüzey pürüzlülüğü sonuçları anova (varyans) analizi ile incelemiş ve sinyal/gürültü oranı ile yüzey pürüzlülüğü açısından en uygun parametreleri belirlemişlerdir.

Thaler vd. (2012,) testere ile kesme işlemi karakterizasyonu amacıyla şerit testere tezgâhında kesme kuvvetlerini ölçerek iş parçası geometrisi ve kesici takım arasındaki ilişkiyi belirlemişlerdir. Kesme kuvvetleri analizi sonucunda iş parçası kesit şekline göre kesme kuvveti dağılımlarının değiştiğini, ani kuvvet değişimlerinin kesici takımda düzensiz aşınmalara neden olduğunu, testere tezgâhındaki yataklamanın hassasiyetinin artması ve kesici takımın hassas bir şekilde taşlanması ile kesme kuvvetlerinde azalma

yaşanması, buna bağlı olarak kesici takım ömrünün kayda değer derecede artabileceğini vurgulamışlardır.

Tsai vd. (2022), şerit testere tezgâhında gerçekleştirdikleri çalışmada kesici takım ömür tahmini ve kesme kuvveti kontrolü için yük hücresi önerisinde bulunmuşlardır. Deneysel çalışmada kesme kuvvetinin ve kesme parametrelerinin takım aşınması ve iş parçası yüzey kalitesine etkilerini araştırmış, araştırma sonucunda birbirleri ile doğrudan ilişkili olduklarını göstermişlerdir. Deneysel sonuçlara dayanarak sabit kesme kuvveti ile değişken kesme parametrelerinde kesme işlemi gerçekleştirilmesinin kesme performansına, kesici takım ömrüne ve iş parçası yüzey kalitesine olumlu etki yarattığını belirtmişlerdir.

Sarvar vd. (2009), şerit testere tezgâhında rulman çeliği, paslanmaz çelik ve Ni-Cr-Mo çeliği üzerinde deneyler yapmışlardır. Rulman çeliği ve paslanmaz çeliğin kesilmesinde kesici takım aşınmasını özgül kesme enerjisindeki artış ile ilişkilendirmiş ve kesme performansında düşüş yaşandığını belirtmişlerdir. Ancak Ni-Cr-Mo çeliğinin kesilmesinde özgül kesme enerjisinde artış olmadığını, bu durumun Ni-Cr-Mo çeliğinin rulman çeliği ve paslanmaz çeliğe kıyasla daha iyi işlenebilir özellikte olmasına atfetmişlerdir.

Wolters vd. (2025), tel ark katlı (WAAM) ve geleneksel olarak üretilmiş AISI 316L paslanmaz çelik malzemesinin testere ile kesilmesinde soğutma koşullarının yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Taşma yağlama, minimum miktar yağlama (MQL) ve basınçlı hava ortamlarında deneysel çalışmalar gerçekleştirmişleridir. Genel olarak MQL ve taşma yağlama koşullarının yüzey pürüzlülüğü, mikro yapı ve kesme kuvvetleri açısından benzer bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Abrão vd. (2014), daire testerede AISI 1045 çeliğinin kesilmesi ile gerçekleştirdikleri deneylerde kesme parametrelerinin, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün daire testere kesici takıma olan etkilerini incelemişlerdir. Kesme kuvvetlerinde genellikle kesme hızındaki artış ile azalış, ilerleme oranındaki artış ile artış gözlemlemişlerdir.

Yüzey pürüzlülüğünün en iyi sonucunu yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme oranında elde etmişlerdir.

2.2.2. Yığıntı Talaş ve İşlenebilirlik Kaynak Araştırması

Sekmen vd. (2015), AA 2011 ve AA 7075 alüminyum alaşımlarının talaşlı işlenmesinde kesme hızı ve takım talaş açısı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Her iki malzeme için de ortalama yüzey pürüzlülük değerinin (R_a) talaş açısı ile ters orantılı olduğu bulgularına varmışlardır. Kesici takımda gerçekleştirdikleri incelemelerde talaş açısı ve malzemelerin alaşım içeriklerinin yığıntı talaş ve yığıntı katmanı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Takım talaş açısının artışı ile yığıntı talaş eğiliminin azaldığı ve AA 7075 alaşımının AA 2011 alaşıma göre daha fazla yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşturma eğiliminde olduğunu belirtmişleridir.

Özbek vd. (2017), östenitik paslanmaz çelik grubunda yer alan AISI 304 ve AISI 316 malzemelerin işlenebilirliklerini değerlendirmek adına deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sabit talaş derinliği ve kuru işleme şartlarında farklı kesme ve ilerleme hızlarında gerçekleştirdikleri deneylerde işlenebilirlik göstergesi olarak kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerini esas almışlardır. Sonuç olarak AISI 316 paslanmaz çeliğinin işlenebilirliğinin AISI 304 paslanmaz çeliğine göre daha zor olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca her iki malzemenin işlenmesinde de kesici takımda yığıntı talaş oluşumu meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Gökkaya ve Nalbant (2007), AA 5052 alaşımının tornalanmasında kesme hızının yığıntı talaş oluşumu üzerine etkilerini incelemişlerdir. Beş farklı kesme hızı, sabit talaş derinliği ve ilerleme oranında gerçekleştirdikleri deneylerde düşük kesme hızı değerlerinde en yüksek yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumunun gözlendiğini belirtmişlerdir. Yığıntı talaş oluşumunun kesici takım talaş yüzeyinde meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Özay vd. (2011), AISI 304 paslanmaz çeliğin teğetsel tornalama-frezeleme ile işlenmesinde talaş derinliği, malzeme ve kesici takım devri, ilerleme oranı gibi parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Devir değerlerinin orta seviyelerinden sonra sıcaklığı bağlı olarak meydana gelen yığıntı talaşın yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etkisi olduğunu rapor etmişlerdir.

Pul ve Şeker (2014) alüminyum matrisli, magnezyum oksit katkılı metal matrisli kompozit malzeme üzerinde farklı kesici takımlarla ve ilerleme oranlarında işleme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneylerin ardından kesici takım üzerinden aldıkları görüntüler ile aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Sonuç olarak deney parametrelerine bağlı olarak farklı aşınma mekanizmaları gelişse de tüm deneylerde kesici takım uç kısmında yığıntı talaş oluşumuna rastlamışlardır.

Pul ve Bican (2021) AA 7075, AA 2024 ve AA 6061 malzemelerinin tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü, kesici takım aşınması ve talaş şekillerini incelemişlerdir. Tornalama sırasında neredeyse tüm takımlarda yığıntı talaş oluştuğunu, en fazla yığıntı talaşın AA 2024 en az ise AA 7075 malzemesinde meydana geldiğini ve artan kesme hızı ile yığıntı talaş oluşumunda azalma gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Az miktarda olsa da kesici takımda yan yüzey aşınması oluştuğunu, işleme sırasında genel olarak helisel, kavisli ve dolaşık talaş tipleri meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü olarak kesme hızının alaşımlara göre farklı etkisinin olduğu ve AA 7075 alaşımının işlenebilirliğinin diğer malzemelere kıyasla daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Güldibi vd. (2018), AA 6082 alaşımının işlenmesinde sabit kesme hızında farklı ilerleme oranları ve farklı soğutma koşullarının yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisine etkisini incelemişlerdir. Kriyojenik soğutma koşullarında taşma yağlama koşullarında işlemeye göre en iyi yüzey kalitesinin elde edildiğini, işleme sırasında ortaya çıkan ısının düşürülmesiyle yığıntı talaş oluşumunun engellendiğini belirtmişlerdir. Kriyojenik soğutma düz bir yapıda talaş oluştururken taşma yalamanın oluşturduğu talaş morfolojisinin daha kıvrımlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Ahmed vd. (2017), gerçekleştirdikleri çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliğinin kaplamasız kesici takım ile işlenmesinde yığıntı talaş, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sonuç olarak büyük boyutlu yığıntı talaşın yüzey kalitesini iyileştirebildiği ancak yığıntı talaşın kırılması ile yüzey kalitesinin olumsuz etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Yığıntı talaşın kırılması ile kesme kuvvetlerinde artış, oluşan yeni yığıntı talaşın kararlılığı ile kesme kuvvetlerinin azaldığı bulgularını elde etmişlerdir.

Bilgin (2014), AISI 310 paslanmaz çeliğin titanyum karbür takımlarla işlenmesinde işleme parametrelerinin kesici takım aşınması, yığıntı katmanı ve yığıntı talaş oluşumu üzerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. İşleme parametreleri olarak kesme hız, ilerleme oranı ve talaş derinliği kullanmıştır. Deney sonuçlarında kesme hızının yığıntı talaş ve yığıntı katmanı üzerindeki en etkili parametre olduğu, düşük kesme hızlarında kesici takım aşınmasının yüksek olduğu, yüksek kesme hızlarının yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumunu azaltsa da tamamen engellenemediğini gözlemlemiştir. Bu nedenle AISI 310 paslanmaz çeliğinin en işlenebilirlik şartının yüksek kesme hızlarında olduğunu vurgulamıştır.

Çiftçi (2005), AISI 304 ve AISI 316 paslanmaz çeliklerin işlenebilirlik deneylerini torna tezgâhında kesici takım kaplaması ve kesme hızı parametreleri ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü referans alarak gerçekleştirmiştir. TiC/TiCN/TiN daha düşük kesme kuvvetleri meydana getirdiğini, kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediğini vurgulamıştır. Yüzey pürüzlülük sonuçlarındaki yüksek değerlerin deney malzemelerinin sahip olduğu süneklik özelliği ve buna bağlı olarak yığıntı talaş eğiliminde olmalarından kaynaklı olduğunu belirtmiştir.

2.2.3. Gagalama Kaynak Araştırması

Aized vd. (2013), gagalama tekniği ile derin delik delme prosesini deneysel olarak araştırmışlardır. AISI D2 kalıp çeliğine HSS matkap ile CNC dik işleme merkezinde farklı kesme ve gagalama parametreleri ile delikler açarak delik iç yüzey pürüzlülüğü ve dairesellikleri inceleyerek delme performansını belirlemişlerdir. Özellikle düşük adımlı

gagalama tekniğinin delme performansını iyileştirdiği, soğutma sıvısının daha iyi nüfuz ettiği ve talaşın daha rahat kırılarak matkabın aşınma hızının düşürüldüğünü belirtmişlerdir.

Çiftçi ve Gökçe (2019), düşük ısıl iletkenlikteki Ti6Al4V titanyum alaşımının karbür matkap ile delinmesinde gagalama tekniğinin matkap aşınmasına etkisini incelemişlerdir. Kesme parametreleri olarak sabit kesme hızı ve ilerleme oranı, delme parametreleri olarak doğrudan delme ve 2 farklı gagalama delme yöntemi uygulanmıştır. Deneylerde delme yönteminin matkap aşınmasında büyük bir etkiye sahip olduğu, gagalama tekniğinin matkap ömrü ve ağız aşınmasına olumlu etkisi olduğu, sonuçlarına varmışlardır. En iyi sonucun düşük dalma ve tam geri çıkma deneylerinde elde edildiği ve bu şekilde delinebilecek delik sayısının azami olduğunu belirtmişleridir.

Eltaggaz ve Deiab (2019), Ti6Al4V titanyum alaşımının delinmesinde gagalama ve doğrudan delme yöntemlerinin kesici takım ömrü, kesme kuvvetleri, tork, çapak oluşumu ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Gagalama ile delmenin kesme kuvveti, çapak oluşumu ve matkap aşınması açısından daha iyi sonuç vermesine rağmen doğrudan delmenin yüzey pürüzlülüğü açısından bir miktar daha iyi sonuç verdiği sonuçlarını elde etmişlerdir.

Sun vd. (2024), SiCp/AA7075 kompozit malzemelerin mikro delinmesinde değişken adımlı gagalama yöntemi ile delik kalitesini ve işleme verimliliğini artırmayı amaçlamışlardır. Sonlu elemanlar metodu ile delme işlemini simüle ederek simülasyon sonuçları ile optimum işlem parametrelerini belirlemişlerdir. Simülasyon sonuçlarını deneysel olarak gözlemlemek adına yaptıkları deneylerde değişken adımlı gagalamanın sabit adımlı gagalamaya göre daha yüksek işleme verimliliği, daha az delme adımı sayısı, daha düşük kesme kuvveti, daha iyi geometrik tolerans ve daha az delik kenarı hataları oluştuğunu gözlemlemişleridir.

Wong vd. (2008), titanyum Ti6Al4V alaşımının matkapla delinmesinde matkap uç geometrisi ve delme yönteminin takım aşınması üzerindeki etkisini belirlemek için

deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Deneylerde farklı kesme hızları, farklı delme yöntemi ve farklı geometrilerde karbür matkaplar kullanılmıştır. Neredeyse tüm koşullarda aşınmanın düzensiz olduğu ve deney parametrelerinin takım aşınması ve takım ömrü üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca deney sonuçlarına dayanarak tüm kesme hızları için gagalama yönteminin doğrudan delme yöntemine göre takım ömrü açısından daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Özsoy ve Özsoy (2019), AISI 1040 çeliği üzerinde kesme hızı, diş başına düşen talaş miktarı, matkap tipi, soğutma koşulu delme parametrelerinde standart ve gagalama delik delme yönteminin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini incelemişlerdir. L ortogonal dizine göre planlanan deneylerde taguchi S/N analizi ile optimum parametreleri belirlemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğüne göre en optimum koşularda standart delme yönteminin gagalama yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Kim vd. (2009), AISI 1045 ve AISI P20 çelik malzemelerinin derin mikro delinmesi işlemi sırasında gagalama yöntemi ve itme kuvveti izleme sistemi kullanarak takım ömrünü iyileştirmeyi amaçlamışlardır. İtme kuvvetinden gelen sinyaller ile gagalama için parametreleri tanımlamış ve izleme sistemi kurmuşlardır. Kurdukları sistemle gerçekleştirilen delme işlemlerinde doğrudan delme ile kıyaslandığında hatasız delinebilen delik sayısında anlamlı bir artış olduğunu belirtmişlerdir.

Prashanth ve Hiremath (2022), nikel esaslı süper alaşım inconel 625 malzemesini kuru kesme koşulları altında mekanik mikro delme işlemine tabi tutmuşlardır. İşlem karbür matkap kullanılarak, farklı devir, ilerleme oranı ve matkap çapı parametrelerinde gagalama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çıktı olarak delik kalitesi ve itme kuvvetlerini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak matkap çapının itme kuvveti üzerinde, devir ve ilerleme oranının ise delik kalitesi üzerinde önemli etkilerinin olduğunu gözlemlemişlerdir.

Attasanio (2017), talaşlı işlenebilirliği zor malzemelerin mikro delinmesine odaklanmış, sınırlamaların ve avantajların vurgulanması amacıyla kesici takım ömrünü incelemiştir. AISI 310H, hastelloy C22 ve inconel 625 alaşımını mikro matkaplar kullanarak

gagalama delme yöntemi ile işlemiştir. İşlenmesi zor olan malzemelerin mikro delinmesinde sertlikten ziyade sünekliğin işlenebilirliği etkilediğini göstermiştir.

Pervaiz vd. (2012), AA6061 malzemesinin kuru kesme şartlarında geleneksel ve gagalama delme yöntemi ile işlenebilirlik performansını karşılaştırmışlardır. Kesici takım olarak HSS matkap kullanmışlardır. Deney sonuçlarında gagalama delme yönteminin hem yüzey kalitesi hem he matkap aşınması olarak geleneksel delmeden üstün olduğunu göstermişlerdir.

2.2.4. Kaynak Araştırması Değerlendirmesi

Testere ile kesme işlemi, malzemelerin talaşlı işlenebilirliği, yığıntı talaş oluşumu, gagalama tekniği ile delik delme konularında gerçekleştirilmiş pek çok çalışma literatürde mevcuttur. Ancak literatür genel olarak araştırıldığında testere ile kesme işleminin delik delme, tornalama, frezeleme gibi diğer talaşlı imalat yöntemlerine kıyasla daha az araştırıldığı, bu konudaki bilimsel çalışmaların daha kısıtlı olduğu görülmektedir. Özellikle alüminyum alaşımları ve paslanmaz çeliklerin kesilmesi ile ilgili çalışmalar oldukça kısıtlı iken gagalama gibi farklı imalat yöntemlerinde uygulanmış tekniklerin testere ile kesmeye uygulanmasına rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada alüminyum alaşımı ve paslanmaz çelik malzemelerin delik delme işlemlerinde uygulanan gagalama yöntemi ve testere ile kesme işleminin kombinasyonu olan bir sistemle kesilmesi ve uygulanan yöntemin kesme performansına etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan deney malzemeleri, kesici takım, takım tezgâhı, ölçüm ve analiz yöntemine yer verilmiştir.

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çelik

Kesme deneylerinde paslanmaz çelik olarak Ø 100 mm ebatında AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. AISI 304 özellikle uzay ve havacılık, tıp, gıda, savunma sanayi gibi farklı sektörlerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Düşük ısıl iletkenlik, süneklik gibi özelliklerinin yanı sıra içerisinde bulunan alaşım elementlerinin varlığı bu malzemenin işlenebilirliğini düşürmektedir (Tekaslan vd., 2008). AISI 304 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1'de, mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Malzeme özellikleri ve kimyasal kompozisyonu üretici firma laboratuvarında gerçekleştirilen testler sonucunda belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
0,053	0,58	1,59	0,041	0,025	18,08	8,09	0,15

Çizelge 3.2. AISI 304 östenitik paslanmaz çelik mekanik özellikleri

AKMA MUKAVEMETİ (MPA)	ÇEKME MUKAVEMETİ (MPA)	UZAMA (%)	SERTLİK (BRİNEL)
334	655	57	185

3.1.2. AA 6082 Alaşımı

Kesme deneylerinde alüminyum alaşımı olarak Ø 100 mm ebatında AA 6082 kullanılmıştır. Dövülebilme ve ısıl işlem yöntemi uygulanabilme özelliğindeki bu malzeme mukavemet ve hafiflik özelliklerinden dolayı endüstride tercih sebebidir. 6000 serisi alaşımlar içerisinde en yüksek mukavemet değerine sahip alaşımdır (Eser, 2020).

AA 6082 alüminyum alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 3,3'te, mekanik özellikleri Çizelge 3,4'te verilmiştir. Malzeme mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu üretici firma laboratuvarında gerçekleştirilen testler sonucunda belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. AA 6082 alaşımı kimyasal kompozisyonu (%)

Al	**Si**	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Mg**	**Zn**
97,26	1,05	0,248	0,0193	0,535	0,741	0,0125
Cr	**Ni**	**Ti**	**Be**	**Ca**	**Li**	**Pb**
0,0094	0,0035	0,0187	0,0001	0,0011	0,0005	0,0028

Çizelge 3.4. AA 6082 alaşımı mekanik özellikleri

AKMA MUKAVEMETİ (MPA)	**ÇEKME MUKAVEMETİ (MPA)**	**UZAMA (%)**	**SERTLİK (BRİNEL)**
295	333	19	98

3.2. Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Kesme işlemleri Bekamak Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş. bünyesinde bulunan CNC akıllı kesim özelliğindeki BMSO 570 XS yatay şerit testere tezgâhında gerçekleştirilmiştir. BMSO 570 XS teknik özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. BMSO 570 XS yatay şerit testere tezgâhı teknik özellikleri

ÖZELLİK	**DEĞER**
Ana motor gücü (kW)	7,5
Sürücü servo gücü (kW)	2
Kafa servo gücü (kW)	1,5
Kesici takım ölçüleri	7400x54x1,6

3.3. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım

Deney malzemelerinin kesilmesinde kesici takım olarak, yüksek mukavemetli ve işlenmesi zor malzemelerin kesilmesi amacıyla üretilen diş bölümü özel olarak taşlanmış, diş bölümü HSS, gövde bölümü yay çeliğinden imal edilmiş Wikus Marathon X3000 (Şekil 3.1) kullanılmıştır. Kesici takım üzerindeki diş sayısı bir inç uzunlukta ortalama 3-4 adettir.



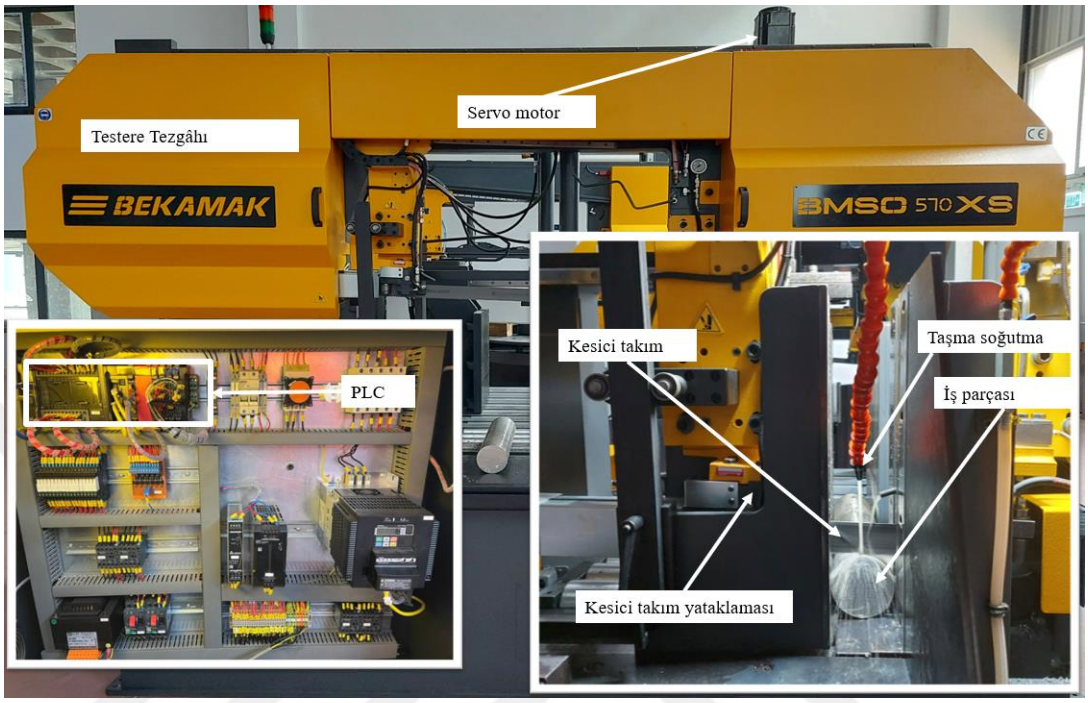
Şekil 3.1. Kesme işlemlerinde kullanılan Wikus Marathon X3000 kesici takımı.

3.4 Gagalama Fonksiyonu

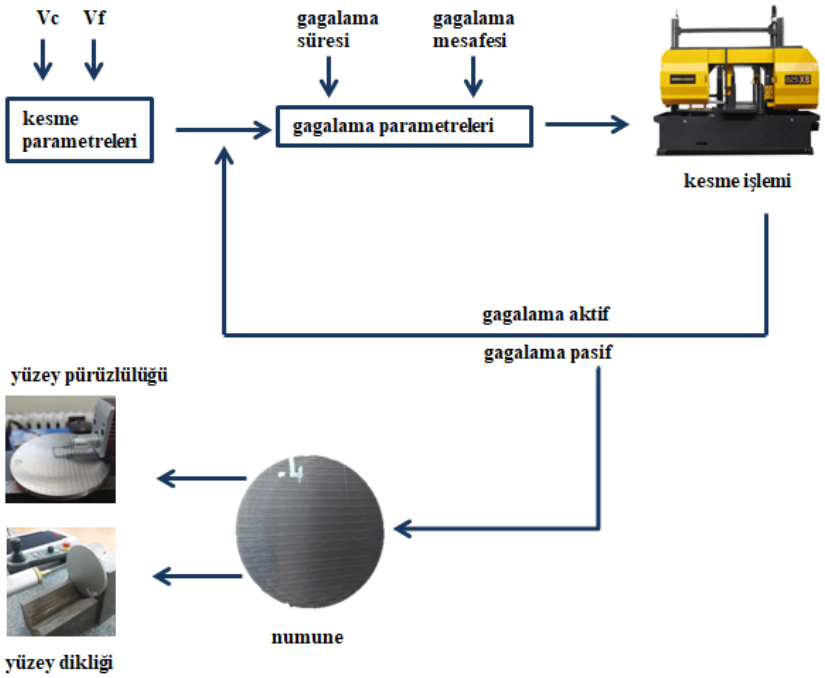
Deneyler testere tezgâhına opsiyon olarak eklenen kesme hızında değişiklik olmadan ilerleme oranının kesintiye uğratılarak talaş tahliyesini kolaylaştıran gagalama fonksiyonu ile taşma soğutma koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Gagalama fonksiyonu özellikle işlenmesi zor malzemeler üzerindeki delik delme işlemlerinde sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. İlerleme oranının kesintiye uğratılması ile talaş tahliyesi ve kırılması kolaylaşır, talaşın kesici takım ve iş parçası yüzeyine sıvanması engellenir ve sıcaklık artışının olumsuz etkileri bu yöntem ile ortadan kalkar (Çiftçi ve Gökçe, 2019).

Kesme işlemlerinde (Şekil 3.2) kullanılan gagalama fonksiyonu testere tezgâhındaki programlanabilir kontrol cihazı (PLC) içerisinde yer alan otomasyon yazılımına her bir kesme parametresinin ayrı ayrı girilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Girilen parametrelere göre kesme işlemi sırasında kesici takımın kesme hızında değişiklik olmadan ilerleme oranında her gagalama mesafesinde bekleme gerçekleştirilmiştir. Gagalama süresi kadar beklemeden sonra ilerleme tekrar devam ettirilmiştir. Bu işlem malzeme koparılıncaya

kadar döngü şeklinde devam ettirilmiştir. Kesme işlemi akış diyagramı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

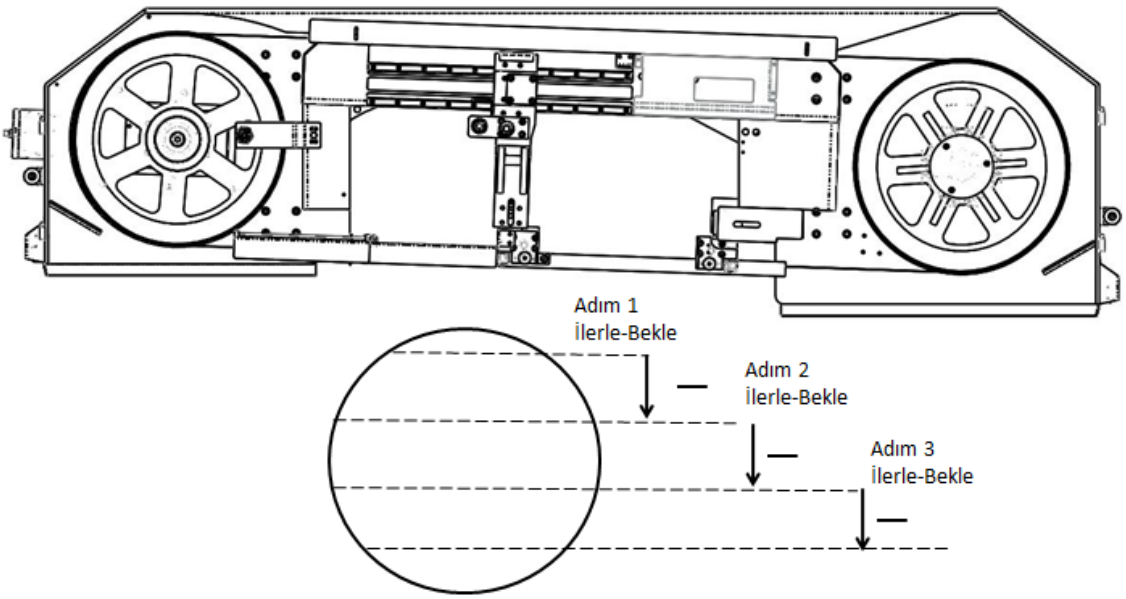


Şekil 3.2. Kesme işlemi ve deneylerde kullanılan ekipmanlar.



Şekil 3.3. Kesme işlemi akış diyagramı.

Her iki malzeme için de deney parametreleri olarak 3 seviye gagalama süresi, 4 seviye gagalama mesafesi, 2 seviye ilerleme oranı, 2 seviye kesme hızı belirlenmiştir. Kesme hızı ve ilerleme oranı kesici takım üreticisinin önermiş olduğu değerler üzerinden sonuçların belirginliğinin artması amacıyla değişiklik yapılarak seçilmiştir. Gagalama mesafesi kesici takım üzerinde bulunan dişlerin boşluk mesafesi, bu boşluğun ½ ve 2 katı olarak seçilmiştir. Gagalama süresi ilerleme oranının kesintiye uğratıldığında bir dişin malzemeden dışarıya çıkarak içeride bulunan talaşların tamamını tahliye edebilecek şekilde hesaplanması ile belirlenmiştir. Belirlenen deney parametreleri her bir numunenin kesilmesinden önce otomasyon yazılımına girilerek PLC ye gönderilmiş ve bu değerlerin PLC tarafından okunması ile servo motorun otomatik olarak ilerleme oranını kesintiye uğratması sağlanmıştır. Kesici takımın malzemeye ilk girişi yataklama etkisi yarattığı için kritik bir durumdur. Bu nedenle malzemenin giriş ve çıkış kısımlarındaki 10 mm lik ölçülerde gagalama fonksiyonu pasif bırakılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve diklik ölçümleri orta bölümde kalan 80 mm lik kısımlarda gerçekleştirilmiştir. Testere ile kesmede gagalama tekniği Şekil 3.4'te, AA 6082 malzemesi için kullanılan kesme parametreleri Çizelge 3.6'da, AISI 304 malzemesi için kullanılan kesme parametreleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Testere ile kesme işleminde gagalama tekniği.

Çizelge 3.6. AA 6082 malzemesi için kullanılan kesme parametreleri

Numune	Gagalama süresi (ms)	Gagalama mesafesi (mm)	İlerleme oranı (mm/dk)	Kesme hızı (m/dk)
L1	0	0	90	105
L2				130
L3			110	105
L4				130
L5	300	4	90	105
L6				130
L7			110	105
L8				130
L9		6	90	105
L10				130
L11			110	105
L12				130
L13		8	90	105
L14				130
L15			110	105
L16				130
L17	600	4	90	105
L18				130
L19			110	105
L20				130
L21		6	90	105
L22				130
L23			110	105
L24				130
L25		8	90	105
L26				130
L27			110	105
L28				130

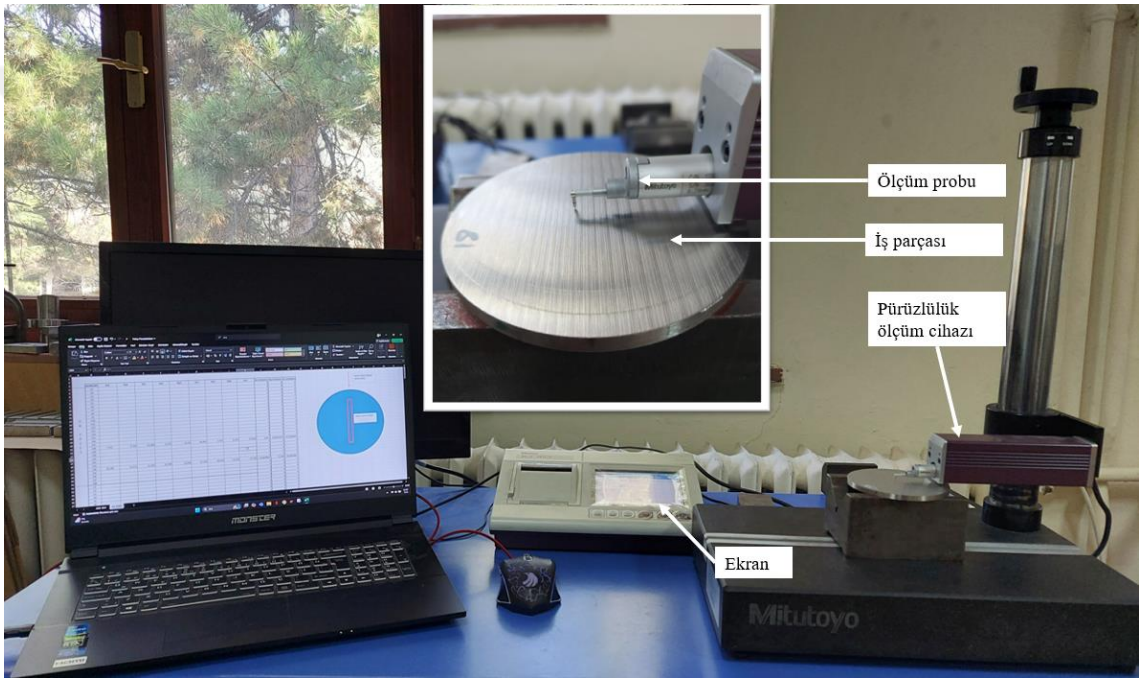
Çizelge 3.7. AISI 304 malzemesi için kullanılan kesme parametreleri

Numune	Gagalama süresi (ms)	Gagalama mesafesi (mm)	İlerleme oranı (mm/dk)	Kesme hızı (m/dk)
L1	0	0	28,1	37
L2				45
L3			36	37
L4				45
L5	300	4	28,1	37
L6				45
L7			36	37
L8				45
L9		6	28,1	37
L10				45
L11			36	37
L12				45
L13		8	28,1	37
L14				45
L15			36	37
L16				45
L17	600	4	28,1	37
L18				45
L19			36	37
L20				45
L21		6	28,1	37
L22				45
L23			36	37
L24				45
L25		8	28,1	37
L26				45
L27			36	37
L28				45

3.5 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Talaşlı imalat yöntemleri ile işlenen malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri, işlem parametrelerinin, malzeme karakteristiğinin ve yöntemin bir göstergesidir. Deney sonuçlarının kabul edilebilirliği açısından bu yöntem oldukça belirleyici bir yöntem olarak nitelendirilir (Güllü vd., 2003).

Yüzey pürüzlülükleri (Şekil 3.5) Mitutoyo SJ-410 yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler numune yüzeylerinin orta bölgelerinden kesme yönüne (kesici takım izlerine) dik olarak üç tekrarda gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde pürüzlülük ölçüm cihazı ekranından aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), maximum yüzey pürüzlülüğü (R_z) ve kuadratik ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_q) değerleri kayıt altına alınmış ve 3 tekrar sonucu değerlerin ortalaması referans alınmıştır. Ölçümler ISO 1997 standardına uygun olarak 0,5 mm/sn ölçüm hızı, λ (ölçüm uzunluğu) 8 mm toplam 24 mm uzunlukta gerçekleştirilmiştir.

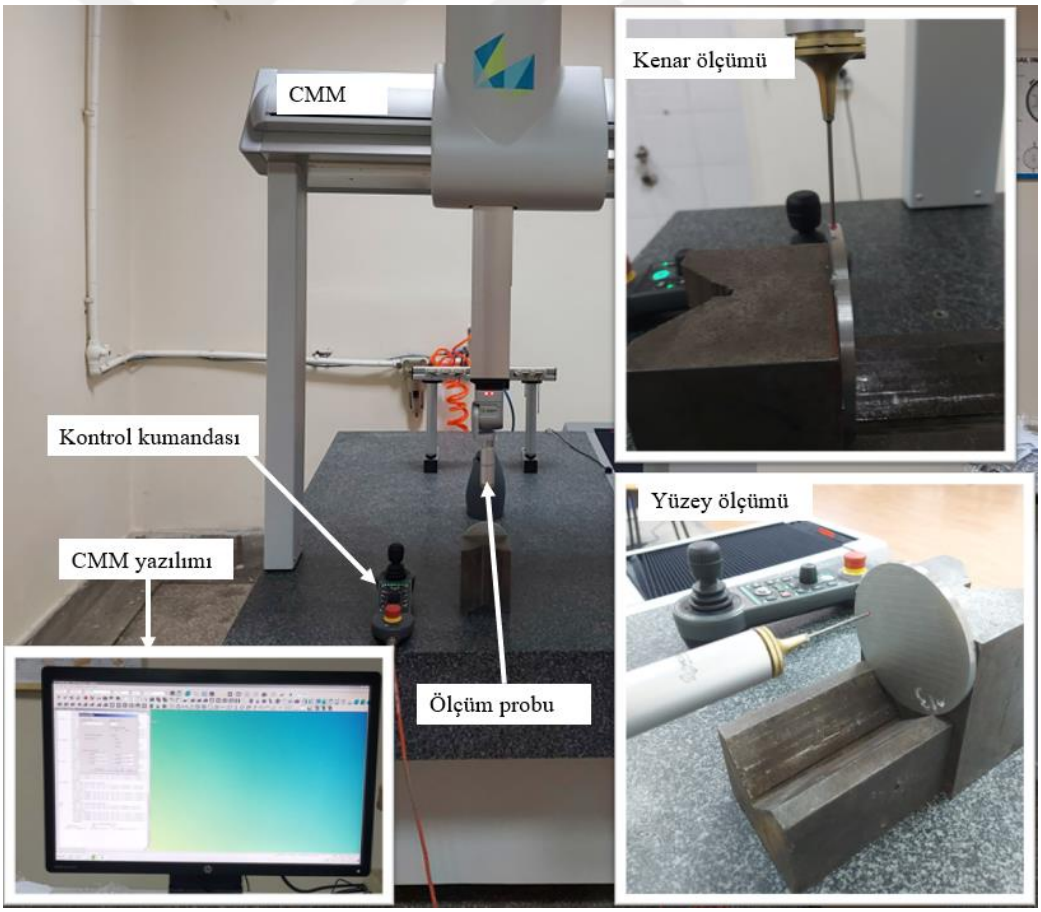


Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesine yönelik ölçüm işlemi.

3.6. Yüzey Dikliği Ölçümü

Koordinat ölçme makineleri (CMM), malzemelerin yüzeylerine veya kenarlarına prob ile temas edilerek temas bölgesindeki yüzeyin veya çizginin algılandığı modern bir ölçüm sistemidir. Farklı geometrik unsurlar endüstride kullanılan ve modern olmayan ölçüm yöntemlerine göre bu sistemde kısa sürede, müdahale gerekmeden güvenli bir biçimde ölçülebilmektedir (Esnemez ve Poyraz, 2022).

Diklik ölçümleri (Şekil 3.6) Hexagon Metrology köprülü tip CMM cihazında gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemlerinde ölçüm probu kontrol kumandası ile hassas bir şekilde numunelerin yüzey ve kenarlarına temas ettirilerek CMM yazılımının bu temasları algılaması sağlanmıştır. Prob numune kenarlarında iki farklı noktaya temas ettirilerek kenar üzerinde hayali bir çizgi, yüzeylerde dört farklı noktaya temas ettirilerek yüzey üzerinde hayali bir düzlem oluşturulmuş ve CMM yazılımına aktarılmıştır. Yazılım üzerinde CMM cihazının kendi referans Y ekseni, hayali düzlem ve çizgi arasında ilişki kurularak açı ve diklik sapmaları hesaplanmıştır. Ölçümlerde Y eksenine göre açı (CMM cihazı referans Y ekseni ile oluşturulan hayali düzlem arasındaki açı sapması), dış kenara göre açı (oluşturulan hayali çizgi ile düzlem arasındaki açı sapması) ve diklikten sapma (oluşturulan hayali çizginin iki noktası arasındaki yükseklik farkı) değerleri kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.6. Yüzey dikliğinin belirlenmesine yönelik ölçüm işlemi.

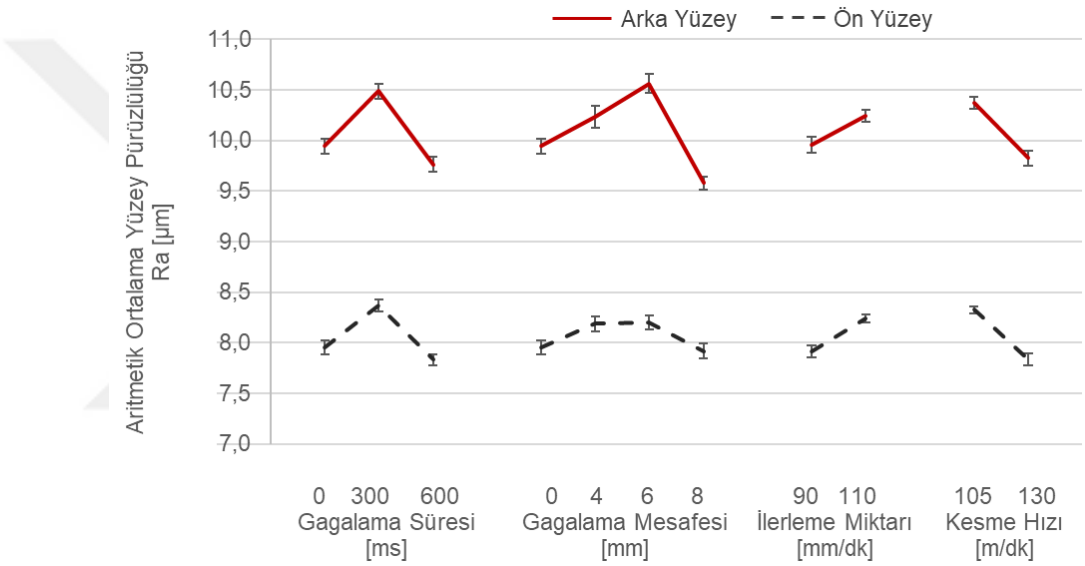
3.7 Anova (Varyans) analizi

Anova (Varyans) analizi, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen çıktıların kaynaklarına ayrıştırıldığı bağımsız değişkenlerin (faktör) bağımlı değişkenler üzerindeki etki oranının belirlenmesine yarayan ve pek çok farklı bilim dalında kullanılan istatistiki bir analiz yöntemidir. Gerçekleştirilen çalışmaya bağlı olarak birden fazla faktör ve faktör seviyesinin incelenmesi gerekebilir (Akkuş, 2010). Numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve yüzey dikliği ölçümlerinde elde edilen sonuçların anlamlılığı, kurulan modellerin güvenilirliği ve ölçme işlemlerinin doğruluğu, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey dikliği sonuçları üzerinde en etkili kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla anova analizi uygulanmıştır. Anova analizi Minitab18 programında gerçekleştirilmiştir. Anova analizinde kesme parametrelerinin sonuçlar üzerindeki etkileri incelenirken parametrelerin lineer (tekil), ikili etkileşimleri, üçlü etkileşimleri ve dörtlü etkileşimleri dikkate alınmıştır.

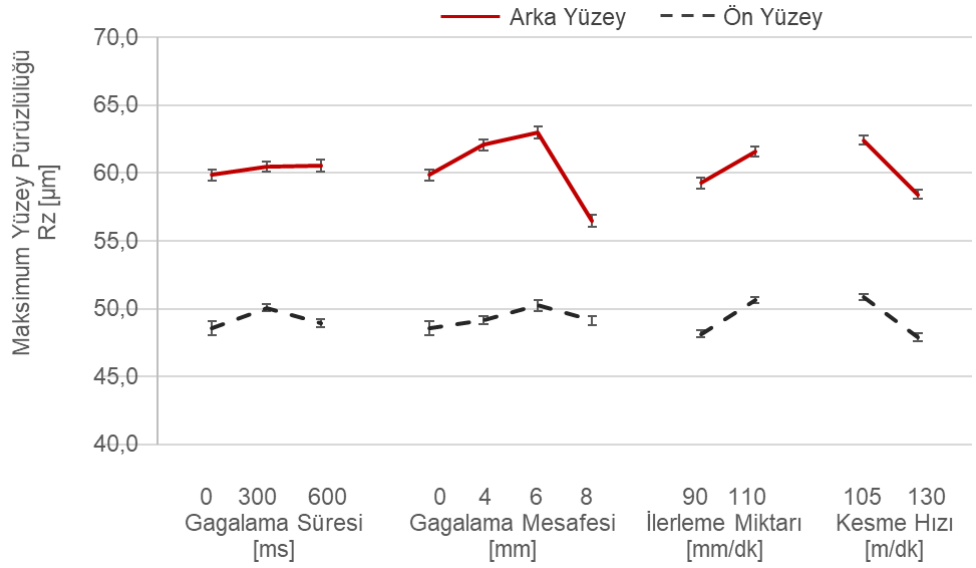
4. BULGULAR

4.1. AA 6082 Malzemesi Yüzey Pürüzlülüğü

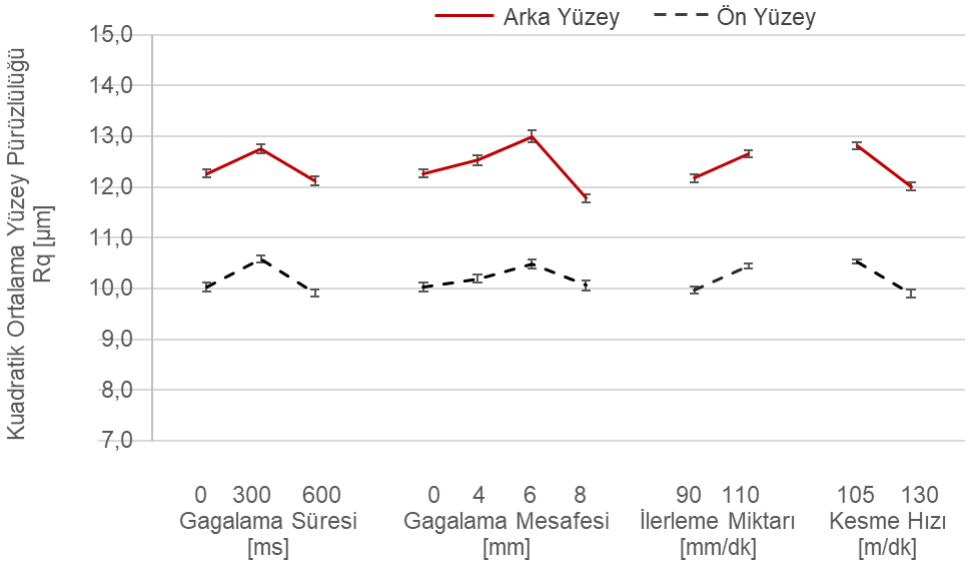
Yüzey pürüzlülük ölçümleri sonucunda hem ön hem de arka yüzeyler için elde edilen değerlerin gagalama süresi, gagalama mesafesi, ilerleme oranı ve kesme hızı parametrelerinin, ölçüm tekrar sayıları da dikkate alınarak ana etki grafikleri oluşturulmuştur. AA 6082 malzemesi R_a, R_z, R_q yüzey pürüzlülüğü ana etki grafikleri sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.1. AA 6082 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği.



Şekil 4.2. AA 6082 malzemesi R_z yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği.



Şekil 4.3. AA 6082 malzemesi R_q yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği.

Numunelerin R_a, R_z ve R_q yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde, AA 6082 malzemesi arka yüzey R_a pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 2. seviyesinde %5,46 artış ile 10.487 µm, gagalama mesafesinin 3. seviyesinde %6,2 artış ile 10,561 µm, arka yüzey R_z pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 3. seviyesinde %1,8 artış ile 60,563 µm, gagalama mesafesinin 4. seviyesinde %5,64 iyileşme ile 56,493 µm, arka yüzey R_q pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 2. seviyesinde %3,79 artış ile 12,749 µm, gagalama mesafesinin 4. seviyesinde %3,99 iyileşme ile 11,777 µm, ön yüzey R_a pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 3. seviyesinde %0,9 iyileşme ile 7,882 µm, gagalama mesafesinin 3. seviyesinde %3,05 artış ile 8,201 µm, ön yüzey R_z pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 2. seviyesinde %3,02 artış ile 50,076 µm, gagalama mesafesinin 3. seviyesinde %3,36 artış ile 50,253 µm, ön yüzey R_q pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 3. seviyesinde %1,16 iyileşme ile 9,909 µm, gagalama mesafesinin 3. seviyesinde %2,8 artış ile 10,48 µm sonuçları elde edilmiştir.

4.2. AA 6082 Malzemesi Yüzey Pürüzlülüğü Anova Analizi

Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülükleri üzerindeki etkisi ve kurulan modelin doğruluğunun belirlenmesi adına anova analizi gerçekleştirilmiştir. Lineer (tekil) etkileşimlerle birlikte ikili, üçlü ve dörtlü etkileşimlerde belirlenmiştir. AA 6082 malzemesi R_a, R_z ve R_q yüzey pürüzlülükleri için anova analizi sonuçları sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te gösterilmektedir. Çizelgelerde A gagalama süresini, B gagalama mesafesini, C ilerleme oranını, D kesme hızını temsil etmektedir.

Çizelge 4.1. AA 6082 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	25	65,4716	2,6189	56,62	0	96,85	34,5	1,4	33	0	94,72
Blok	2	0,0426	0,0213	0,46	0,634	0,06	0,7	0,4	8,92	0,001	2,05
Lineer	5	32,5897	6,5179	140,92	0	48,21	12,2	2,4	58,12	0	33,36
A	1	9,4584	9,4584	204,5	0	13,99	5,3	5,3	125,63	0	14,42
B	2	11,9359	5,9679	129,03	0	17,66	1,2	0,6	14,58	0	3,35
C	1	0,9108	0,9108	19,69	0	1,35	1,8	1,8	42,16	0	4,84
D	1	10,2846	10,2846	222,36	0	15,21	3,9	3,9	93,66	0	10,75
İkili Etkileşimler	9	27,2323	3,0258	65,42	0	40,28	13,3	1,5	35,34	0	36,51
A*B	2	1,7199	0,86	18,59	0	2,54	0,2	0,1	2,13	0,13	0,49
A*C	1	1,7703	1,7703	38,28	0	2,62	1,0	1,0	23,87	0	2,74
A*D	1	3,4954	3,4954	75,57	0	5,17	1,0	1,0	23,26	0	2,67
B*C	2	9,7514	4,8757	105,42	0	14,43	7,2	3,6	85,62	0	19,66
B*D	2	1,1972	0,5986	12,94	0	1,77	0,6	0,3	7,67	0,001	1,76
C*D	1	9,2981	9,2981	201,03	0	13,75	3,3	3,3	80,07	0	9,19
Üçlü Etkileşimler	7	3,0293	0,4328	9,36	0	4,48	7,9	1,1	27,14	0	21,81
A*B*C	2	2,444	1,222	26,42	0	3,62	4,5	2,3	54,28	0	12,46
A*B*D	2	0,117	0,0585	1,27	0,292	0,17	2,0	1,0	23,76	0	5,46
A*C*D	1	0,3019	0,3019	6,53	0,014	0,45	0,1	0,1	1,62	0,209	0,19
B*C*D	2	0,1663	0,0832	1,8	0,177	0,25	1,4	0,7	16,16	0	3,71
Dörtlü Etkileşimler	2	2,5778	1,2889	27,87	0	3,81	0,4	0,2	4,28	0,02	0,98
A*B*C*D	2	2,5778	1,2889	27,87	0	3,81	0,4	0,2	4,28	0,02	0,98
Hata	46	2,1276	0,0463			3,15	1,9	0,0			5,28
Toplam	71	67,5992				100	36,4				100

Çizelge 4.2. AA 6082 malzemesi R_z yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	25	1724,2	69,0	19,71	0	91,46	746,4	29,9	14,46	0	88,71
Blok	2	7,7	3,9	1,1	0,341	0,41	57,3	28,7	13,89	0	6,81
Lineer	5	1159,7	231,9	66,27	0	61,52	279,7	55,9	27,1	0	33,24
A	1	0,1	0,1	0,04	0,844	0,01	22,2	22,2	10,73	0,002	2,63
B	2	593,8	296,9	84,83	0	31,50	19,3	9,7	4,68	0,014	2,30
C	1	85,9	85,9	24,54	0	4,56	115,9	115,9	56,14	0	13,77
D	1	479,9	479,9	137,11	0	25,45	122,3	122,3	59,27	0	14,54
İkili Etkileşimler	9	376,1	41,8	11,94	0	19,95	154,9	17,2	8,34	0	18,41
A*B	2	34,7	17,4	4,96	0,011	1,84	8,5	4,2	2,05	0,14	1,01
A*C	1	19,4	19,4	5,53	0,023	1,03	2,9	2,9	1,42	0,239	0,35
A*D	1	72,9	72,9	20,84	0	3,87	9,7	9,7	4,71	0,035	1,15
B*C	2	57,4	28,7	8,2	0,001	3,04	50,8	25,4	12,31	0	6,04
B*D	2	3,3	1,6	0,47	0,63	0,17	0,3	0,1	0,06	0,94	0,03
C*D	1	188,4	188,4	53,83	0	9,99	82,7	82,7	40,05	0	9,83
Üçlü Etkileşimler	7	171,7	24,5	7,01	0	9,11	249,7	35,7	17,28	0	29,68
A*B*C	2	73,5	36,8	10,5	0	3,90	89,5	44,7	21,67	0	10,64
A*B*D	2	8,3	4,2	1,19	0,313	0,44	85,6	42,8	20,74	0	10,18
A*C*D	1	52,2	52,2	14,91	0	2,77	8,8	8,8	4,24	0,045	1,04
B*C*D	2	37,7	18,8	5,38	0,008	2,00	65,8	32,9	15,95	0	7,82
Dörtlü Etkileşimler	2	9,0	4,5	1,28	0,287	0,48	4,8	2,4	1,16	0,322	0,57
A*B*C*D	2	9,0	4,5	1,28	0,287	0,48	4,8	2,4	1,16	0,322	0,57
Hata	46	161,0	3,5			8,54	95,0	2,1			11,29
Toplam	71	1885,2				100	841,3				100

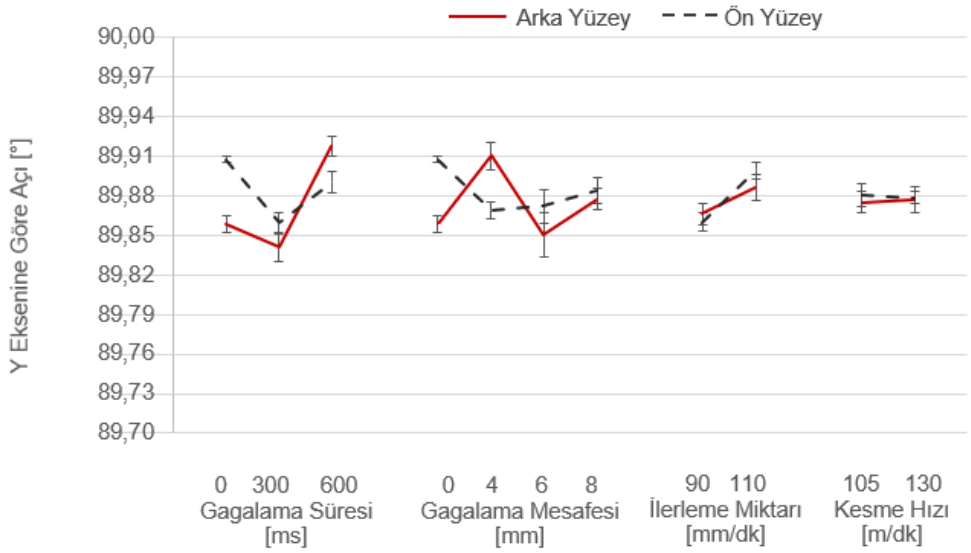
Çizelge 4.3. AA 6082 malzemesi R_q yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	25	78,8	3,2	51,12	0	96,53	52,0	2,1	28,78	0	93,99
Blok	2	0,0	0,0	0,36	0,703	0,05	2,1	1,0	14,51	0	3,79
Lineer	5	47,1	9,4	152,98	0	57,77	20,4	4,1	56,39	0	36,83
A	1	7,2	7,2	116,9	0	8,83	7,9	7,9	109,68	0	14,33
B	2	18,1	9,1	147,15	0	22,23	2,2	1,1	15,53	0	4,06
C	1	3,1	3,1	49,55	0	3,74	4,0	4,0	54,67	0	7,14
D	1	18,7	18,7	304,12	0	22,97	6,3	6,3	86,54	0	11,30
İkili Etkileşimler	9	25,0	2,8	45,15	0	30,69	16,1	1,8	24,75	0	29,10
A*B	2	0,7	0,4	5,99	0,005	0,91	0,0	0,0	0,04	0,957	0,01
A*C	1	1,2	1,2	19,04	0	1,44	0,5	0,5	6,97	0,011	0,91
A*D	1	3,2	3,2	52,27	0	3,95	1,6	1,6	22,51	0	2,94
B*C	2	8,8	4,4	71,3	0	10,77	7,2	3,6	49,86	0	13,03
B*D	2	1,1	0,6	9,21	0	1,39	0,2	0,1	1,59	0,214	0,42
C*D	1	10,0	10,0	162,03	0	12,24	6,5	6,5	90,26	0	11,79
Üçlü Etkileşimler	7	3,7	0,5	8,67	0	4,58	13,1	1,9	25,85	0	23,64
A*B*C	2	2,5	1,2	20	0	3,02	6,2	3,1	42,93	0	11,22
A*B*D	2	0,1	0,0	0,43	0,65	0,07	3,5	1,7	23,99	0	6,27
A*C*D	1	0,4	0,4	7,02	0,011	0,53	0,0	0,0	0,01	0,943	0,00
B*C*D	2	0,8	0,4	6,4	0,004	0,97	3,4	1,7	23,56	0	6,15
Dörtlü Etkileşimler	2	2,8	1,4	22,72	0	3,43	0,3	0,2	2,41	0,101	0,63
A*B*C*D	2	2,8	1,4	22,72	0	3,43	0,3	0,2	2,41	0,101	0,63
Hata	46	2,8	0,1			3,47	3,3	0,1			6,01
Toplam	71	81,6				100	55,4				100

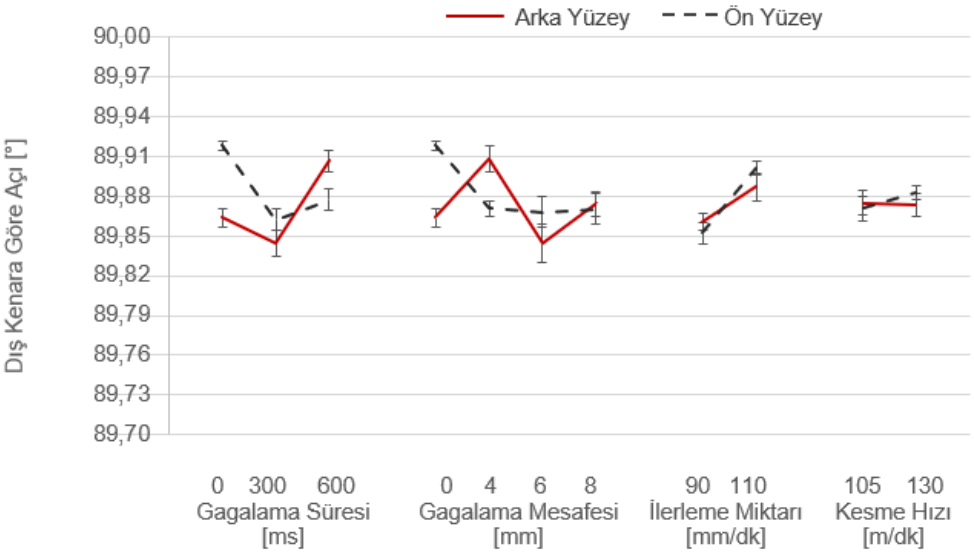
Numunelerin yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları incelendiğinde AA 6082 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğünde modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %96,85 iken ön yüzey için %94,72 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %48,21 ile lineer iken ön yüzeyde %36,51 ile ikili etkileşimler olmuştur. R_z yüzey pürüzlülüğünde modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %91,46 iken ön yüzey için %88,71 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %61,52 ile lineer iken ön yüzeyde de %33,24 ile lineer etki olmuştur. R_q yüzey pürüzlülüğünde modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %96,53 iken ön yüzey için %93,99 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %57,77 ile lineer iken ön yüzeyde de %36,83 ile lineer etki olmuştur.

4.3. AA 6082 Malzemesi Yüzey Dikliği

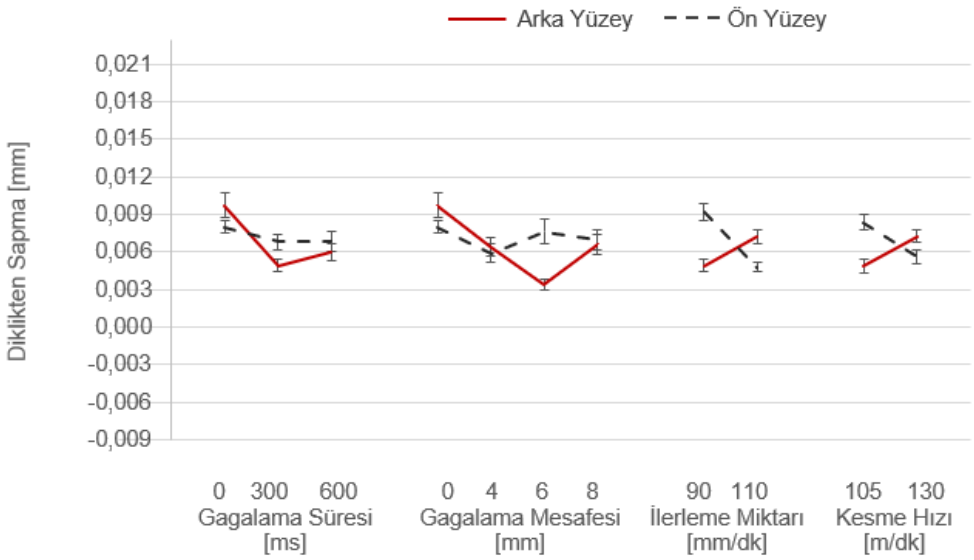
Diklik ölçümleri sonucunda hem ön hem de arka yüzeyler için elde edilen değerlerin gagalama süresi, gagalama mesafesi, ilerleme oranı ve kesme hızı parametrelerinin, ölçüm tekrar sayıları da dikkate alınarak ana etki grafikleri oluşturulmuştur. AA 6082 malzemesi Y eksenine göre açı, dış kenara göre açı ve diklikten sapma ana etki grafikeri sırasıyla Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



Şekil 4.4. AA 6082 malzemesi Y eksenine göre açı ana etki grafiği.



Şekil 4.5. AA 6082 malzemesi dış kenara göre açı ana etki grafiği.



Şekil 4.6. AA 6082 malzemesi diklikten sapma ana etki grafiği.

Numunelerin yüzey dikliği grafikleri incelendiğinde kesme parametrelerindeki seviye farklarına göre Y eksenine göre açı, dış kenara göre açı ve diklikten sapma değerlerinde değişiklik olduğu ancak değer aralıkları dikkate alındığında anlamlı bir değişiklik olmadığı bulguları elde edilmiştir.

4.4. AA 6082 Malzemesi Yüzey Dikliği Anova Analizi

AA 6082 malzemesi Y eksenine göre açı, dış kenara göre açı ve diklikten sapma anova analizi sonuçları sırasıyla Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da gösterilmektedir. Çizelgelerde A gagalama süresini, B gagalama mesafesini, C ilerleme oranını, D kesme hızını temsil etmektedir.

Çizelge 4.4. AA 6082 malzemesi Y eksenine göre açı anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	21	0,130248	0,006202	954,2	0,001	99,99	0,063646	0,003031	0,57	0,8	85,78
Lineer	5	0,055145	0,011029	1696,76	0,001	42,33	0,019296	0,003859	0,73	0,664	26,01
A	1	0,034884	0,034884	5366,83	0	26,78	0,00543	0,00543	1,03	0,417	7,32
B	2	0,014433	0,007217	1110,26	0,001	11,08	0,000938	0,000469	0,09	0,918	1,26
C	1	0,005735	0,005735	882,31	0,001	4,40	0,012927	0,012927	2,45	0,258	17,42
D	1	0,000092	0,000092	14,16	0,064	0,07	0,000001	0,000001	0	0,99	0,00
İkili Etkileşimler	9	0,038591	0,004288	659,67	0,002	29,63	0,010001	0,001111	0,21	0,961	13,48
A*B	2	0,029068	0,014534	2236	0	22,32	0,000524	0,000262	0,05	0,953	0,71
A*C	1	0,000477	0,000477	73,39	0,013	0,37	0,005985	0,005985	1,13	0,398	8,07
A*D	1	0,00033	0,00033	50,78	0,019	0,25	0,0009	0,0009	0,17	0,72	1,21
B*C	2	0,003562	0,001781	274,03	0,004	2,73	0,00062	0,00031	0,06	0,944	0,84
B*D	2	0,003696	0,001848	284,33	0,004	2,84	0,000918	0,000459	0,09	0,92	1,24
C*D	1	0,001457	0,001457	224,16	0,004	1,12	0,001053	0,001053	0,2	0,699	1,42
Üçlü Etkileşimler	7	0,036512	0,005216	802,47	0,001	28,03	0,03435	0,004907	0,93	0,608	46,30
A*B*C	2	0,00373	0,001865	286,95	0,003	2,86	0,023107	0,011553	2,19	0,313	31,14
A*B*D	2	0,021674	0,010837	1667,26	0,001	16,64	0,010072	0,005036	0,95	0,512	13,57
A*C*D	1	0,001305	0,001305	200,83	0,005	1,00	0,000015	0,000015	0	0,962	0,02
B*C*D	2	0,009802	0,004901	754,03	0,001	7,52	0,001157	0,000578	0,11	0,901	1,56
Hata	2	0,000013	0,000006			0,01	0,010552	0,005276			14,22
Toplam	23	0,130261				100,00	0,074198				100,00

Çizelge 4.5. AA 6082 malzemesi dış kenara göre açı anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	21	0,117708	0,005605	41,89	0,024	99,77	0,065337	0,003111	0,44	0,873	82,19
Lineer	5	0,048528	0,009706	72,54	0,014	41,13	0,020252	0,00405	0,57	0,734	25,47
A	1	0,023126	0,023126	172,85	0,006	19,60	0,001365	0,001365	0,19	0,703	1,72
B	2	0,016468	0,008234	61,54	0,016	13,96	0,000032	0,000016	0	0,998	0,04
C	1	0,008932	0,008932	66,76	0,015	7,57	0,017334	0,017334	2,45	0,258	21,80
D	1	0,000002	0,000002	0,02	0,913	0,00	0,00152	0,00152	0,21	0,689	1,91
İkili Etkileşimler	9	0,035606	0,003956	29,57	0,033	30,18	0,012593	0,001399	0,2	0,966	15,84
A*B	2	0,023757	0,011878	88,78	0,011	20,14	0,003444	0,001722	0,24	0,804	4,33
A*C	1	0,000376	0,000376	2,81	0,236	0,32	0,003337	0,003337	0,47	0,563	4,20
A*D	1	0,000477	0,000477	3,57	0,2	0,40	0,000782	0,000782	0,11	0,771	0,98
B*C	2	0,005766	0,002883	21,55	0,044	4,89	0,000432	0,000216	0,03	0,97	0,54
B*D	2	0,002969	0,001484	11,09	0,083	2,52	0,003491	0,001746	0,25	0,802	4,39
C*D	1	0,002262	0,002262	16,91	0,054	1,92	0,001107	0,001107	0,16	0,731	1,39
Üçlü Etkileşimler	7	0,033574	0,004796	35,85	0,027	28,46	0,032492	0,004642	0,66	0,718	40,87
A*B*C	2	0,008193	0,004097	30,62	0,032	6,94	0,011721	0,00586	0,83	0,547	14,74
A*B*D	2	0,012953	0,006477	48,41	0,02	10,98	0,00846	0,00423	0,6	0,626	10,64
A*C*D	1	0,00061	0,00061	4,56	0,166	0,52	0,001926	0,001926	0,27	0,654	2,42
B*C*D	2	0,011818	0,005909	44,17	0,022	10,02	0,010385	0,005193	0,73	0,577	13,06
Hata	2	0,000268	0,000134			0,23	0,014161	0,007081			17,81
Toplam	23	0,117976				100,00	0,079498				100,00

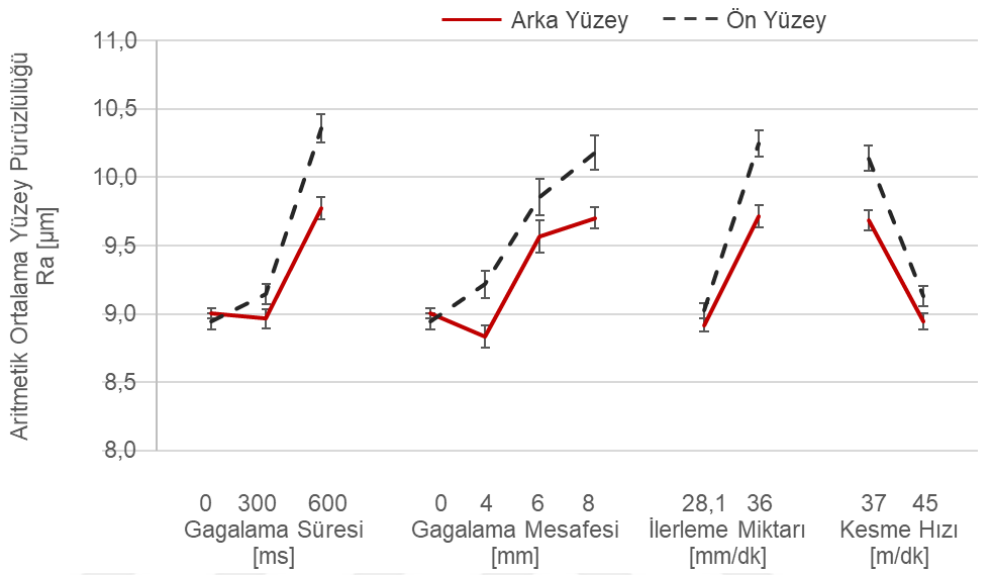
Çizelge 4.6. AA 6082 malzemesi diklikten sapma anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	21	0,117708	0,005605	41,89	0,024	99,77	0,065337	0,003111	0,44	0,873	82,19
Lineer	5	0,048528	0,009706	72,54	0,014	41,13	0,020252	0,00405	0,57	0,734	25,47
A	1	0,023126	0,023126	172,85	0,006	19,60	0,001365	0,001365	0,19	0,703	1,72
B	2	0,016468	0,008234	61,54	0,016	13,96	0,000032	0,000016	0	0,998	0,04
C	1	0,008932	0,008932	66,76	0,015	7,57	0,017334	0,017334	2,45	0,258	21,80
D	1	0,000002	0,000002	0,02	0,913	0,00	0,00152	0,00152	0,21	0,689	1,91
İkili Etkileşimler	9	0,035606	0,003956	29,57	0,033	30,18	0,012593	0,001399	0,2	0,966	15,84
A*B	2	0,023757	0,011878	88,78	0,011	20,14	0,003444	0,001722	0,24	0,804	4,33
A*C	1	0,000376	0,000376	2,81	0,236	0,32	0,003337	0,003337	0,47	0,563	4,20
A*D	1	0,000477	0,000477	3,57	0,2	0,40	0,000782	0,000782	0,11	0,771	0,98
B*C	2	0,005766	0,002883	21,55	0,044	4,89	0,000432	0,000216	0,03	0,97	0,54
B*D	2	0,002969	0,001484	11,09	0,083	2,52	0,003491	0,001746	0,25	0,802	4,39
C*D	1	0,002262	0,002262	16,91	0,054	1,92	0,001107	0,001107	0,16	0,731	1,39
Üçlü Etkileşimler	7	0,033574	0,004796	35,85	0,027	28,46	0,032492	0,004642	0,66	0,718	40,87
A*B*C	2	0,008193	0,004097	30,62	0,032	6,94	0,011721	0,00586	0,83	0,547	14,74
A*B*D	2	0,012953	0,006477	48,41	0,02	10,98	0,00846	0,00423	0,6	0,626	10,64
A*C*D	1	0,00061	0,00061	4,56	0,166	0,52	0,001926	0,001926	0,27	0,654	2,42
B*C*D	2	0,011818	0,005909	44,17	0,022	10,02	0,010385	0,005193	0,73	0,577	13,06
Hata	2	0,000268	0,000134			0,23	0,014161	0,007081			17,81
Toplam	23	0,117976				100,00	0,079498				100,00

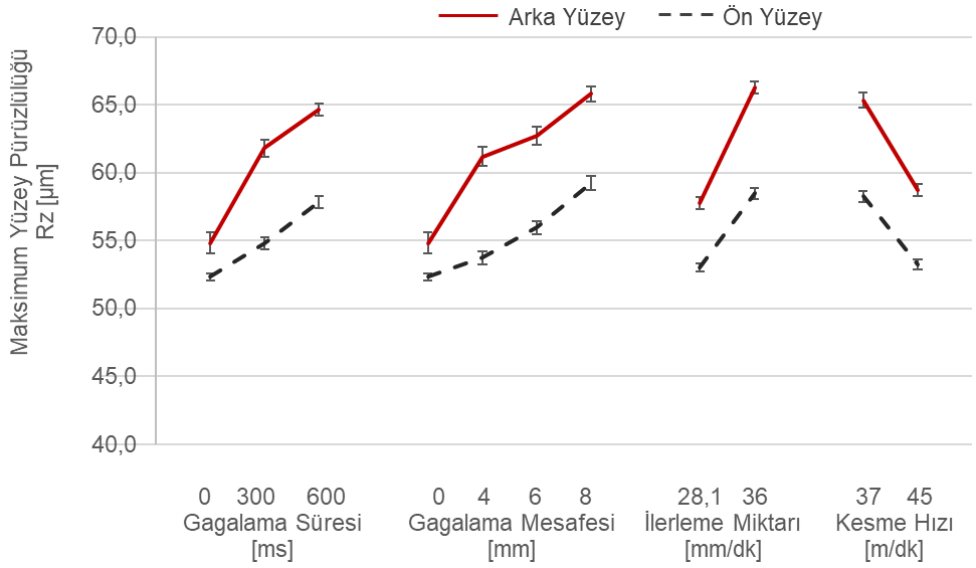
Numunelerin yüzey dikliği anova analizi sonuçları incelendiğinde AA 6082 malzemesi Y eksenine göre açıda modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %99,99 iken ön yüzey için %85,78 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %42,33 ile lineer iken ön yüzeyde %46,30 ile üçlü etkileşimler olmuştur. Dış kenara göre açıda modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %99,77 iken ön yüzey için %82,19 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %41,13 ile lineer iken ön yüzeyde %40,87 ile üçlü etkileşimler olmuştur. Diklikten sapmada modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %93,49 iken ön yüzey için %98,04 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %43,49 ile ikili etkileşimler iken ön yüzeyde de %35,65 ile ikili etkileşimler olmuştur.

4.5. AISI 304 Malzemesi Yüzey Pürüzlülüğü

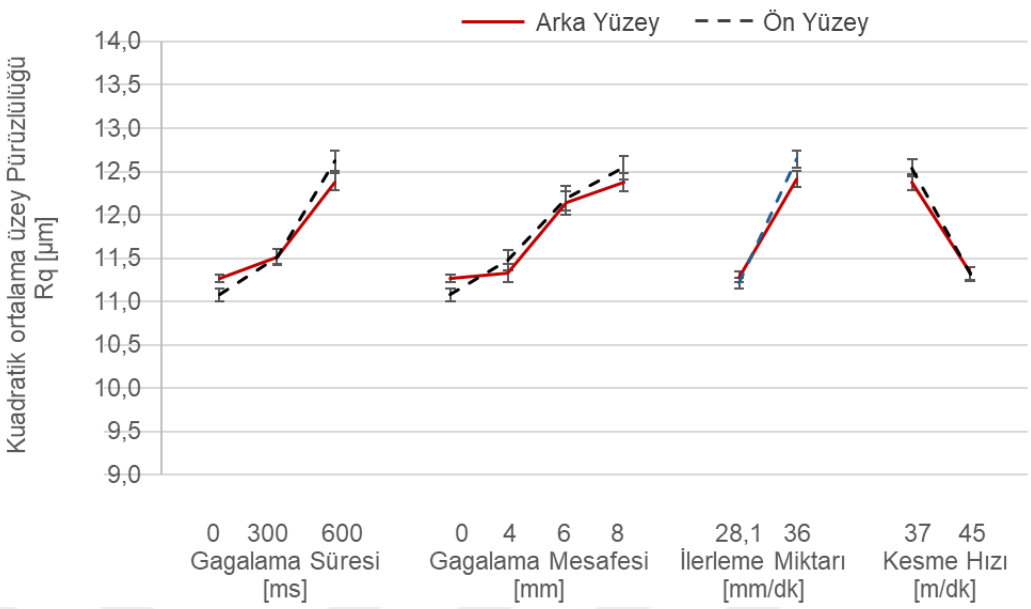
AISI 304 malzemesi R_a, R_z, R_q yüzey pürüzlülüğü ana etki grafikleri sırasıyla Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.7. AISI 304 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği.



Şekil 4.8. AISI 304 malzemesi R_z yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği.



Şekil 4.9. AISI 304 malzemesi R_q yüzey pürüzlülüğü ana etki grafiği.

Numunelerin R_a, R_z ve R_q yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde AISI 304 malzemesi arka yüzey R_a pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 3. seviyesinde %7,89 artış ile 9,771 µm, gagalama mesafesinin 2. seviyesinde %1,88 iyileşme ile 8,83 µm, arka yüzey R_z pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 3. seviyesinde %15,17 artış ile 64,646 µm, gagalama mesafesinin 4. seviyesinde %14,76 artış ile 65,793 µm, arka yüzey R_q pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 2. seviyesinde %2,16 artış ile 11,516 µm, gagalama mesafesinin 4. seviyesinde %8,91 artış ile 12,38 µm, ön yüzey R_a pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 3. seviyesinde %13,64 artış ile 10,355µm, gagalama mesafesinin 4. seviyesinde %12,02 artış ile 10,181 µm, ön yüzey R_z pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 3. seviyesinde %9,54 artış ile 57,857 µm, gagalama mesafesinin 4. seviyesinde %11,65 artış ile 59,231 µm, ön yüzey R_q pürüzlülük değerinde gagalama süresinin 3. seviyesinde %12,26 artış ile 12,626 µm, gagalama mesafesinin 4. seviyesinde %11,72 artış ile 12,545 µm sonuçları elde edilmiştir.

4.6. AISI 304 Malzemesi Yüzey Pürüzlülüğü Anova Analizi

AISI 304 malzemesi R_a, R_z ve R_q yüzey pürüzlülüğü değerleri için anova analizi sonuçları sırasıyla Çizelge 4.7, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. AISI 304 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	25	71,2	2,8	157,9	0	98,85	110,6	4,4	616,4	0	99,70
Blok	2	1,0	0,5	27,1	0	1,36	0,0	0,0	0,1	0,892	0,00
Lineer	5	50,9	10,2	564,3	0	70,67	92,4	18,5	2575,8	0	83,33
A	1	11,7	11,7	649,8	0	16,28	26,3	26,3	3659,5	0	23,68
B	2	10,6	5,3	292,6	0	14,66	11,6	5,8	805,5	0	10,42
C	1	16,8	16,8	933,8	0	23,39	34,6	34,6	4820,8	0	31,19
D	1	11,8	11,8	652,6	0	16,35	20,0	20,0	2787,7	0	18,04
İkili Etkileşimler	9	7,1	0,8	43,7	0	9,85	7,1	0,8	110,6	0	6,44
A*B	2	0,4	0,2	11,7	0	0,59	1,3	0,7	93,5	0	1,21
A*C	1	0,5	0,5	25,2	0	0,63	2,1	2,1	288,8	0	1,87
A*D	1	0,0	0,0	0,4	0,54	0,01	0,2	0,2	28,9	0	0,19
B*C	2	3,5	1,8	97,8	0	4,90	0,4	0,2	24,4	0	0,32
B*D	2	0,3	0,1	7,5	0,001	0,38	0,1	0,1	10,0	0	0,13
C*D	1	2,4	2,4	133,8	0	3,35	3,0	3,0	422,1	0	2,73
Üçlü Etkileşimler	7	12,2	1,7	96,3	0	16,88	10,5	1,5	209,7	0	9,50
A*B*C	2	9,9	4,9	274,4	0	13,75	7,4	3,7	516,1	0	6,68
A*B*D	2	0,1	0,0	2,5	0,09	0,13	0,5	0,2	32,4	0	0,42
A*C*D	1	0,1	0,1	4,5	0,04	0,11	0,0	0,0	2,3	0,137	0,01
B*C*D	2	2,1	1,0	57,7	0	2,89	2,6	1,3	184,2	0	2,38
Dörtlü Etkileşimler	2	0,1	0,0	1,8	0,184	0,09	0,5	0,2	33,4	0	0,43
A*B*C*D	2	0,1	0,0	1,8	0,184	0,09	0,5	0,2	33,4	0	0,43
Hata	46	0,8	0,0			1,15	0,3	0,0			0,30
Toplam	71	72,0				100	110,9				100

Çizelge 4.8. AISI 304 malzemesi R_z yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	25	3089,0	123,6	116,0	0	98,44	2082,6	83,3	69,7	0	97,43
Blok	2	49,5	24,8	23,2	0	1,58	63,8	31,9	26,7	0	2,99
Lineer	5	2602,0	520,4	488,7	0	82,92	1772,7	354,5	296,7	0	82,93
A	1	145,1	145,1	136,2	0	4,62	171,0	171,0	143,1	0	8,00
B	2	265,9	132,9	124,8	0	8,47	365,8	182,9	153,1	0	17,11
C	1	1210,3	1210,3	1136,6	0	38,57	692,9	692,9	579,8	0	32,42
D	1	980,8	980,8	921,0	0	31,25	542,9	542,9	454,3	0	25,40
İkili Etkileşimler	9	268,0	29,8	28,0	0	8,54	112,4	12,5	10,5	0	5,26
A*B	2	132,5	66,2	62,2	0	4,22	9,1	4,6	3,8	0,029	0,43
A*C	1	63,3	63,3	59,4	0	2,02	2,1	2,1	1,8	0,191	0,10
A*D	1	6,7	6,7	6,3	0,016	0,21	0,2	0,2	0,2	0,656	0,01
B*C	2	18,9	9,4	8,9	0,001	0,60	46,4	23,2	19,4	0	2,17
B*D	2	12,2	6,1	5,7	0,006	0,39	34,0	17,0	14,2	0	1,59
C*D	1	34,5	34,5	32,4	0	1,10	20,5	20,5	17,1	0	0,96
Üçlü Etkileşimler	7	165,6	23,7	22,2	0	5,28	83,4	11,9	10,0	0	3,90
A*B*C	2	66,6	33,3	31,3	0	2,12	47,7	23,8	19,9	0	2,23
A*B*D	2	5,8	2,9	2,7	0,078	0,18	1,3	0,6	0,5	0,587	0,06
A*C*D	1	0,0	0,0	0,0	0,873	0,00	14,6	14,6	12,2	0,001	0,68
B*C*D	2	93,2	46,6	43,8	0	2,97	19,9	9,9	8,3	0,001	0,93
Dörtlü Etkileşimler	2	4,0	2,0	1,9	0,165	0,13	50,3	25,1	21,0	0	2,35
A*B*C*D	2	4,0	2,0	1,9	0,165	0,13	50,3	25,1	21,0	0	2,35
Hata	46	49,0	1,1			1,56	55,0	1,2			2,57
Toplam	71	3138,0				100	2137,5				100

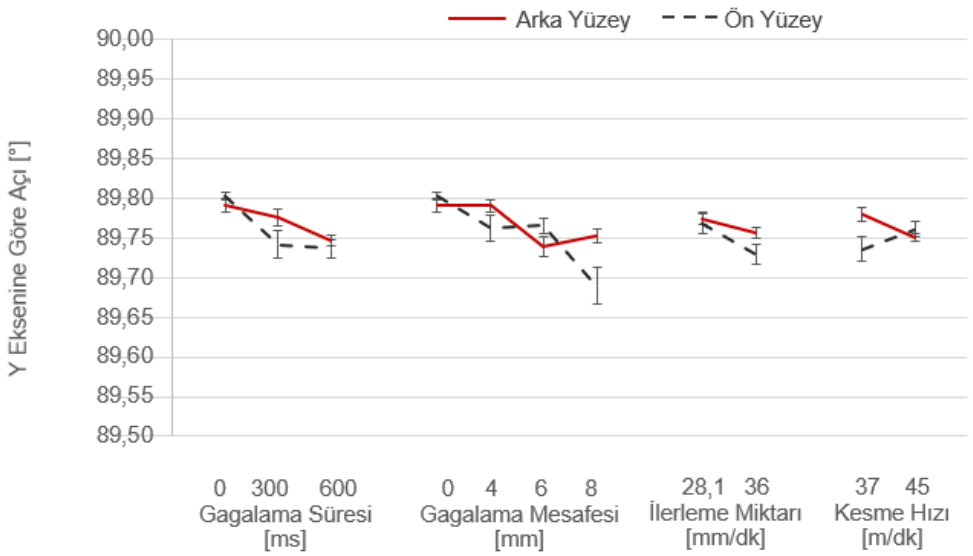
Çizelge 4.9. AISI 304 malzemesi R_q yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	25	109,8	4,4	199,7	0	99,09	132,5	5,3	530,6	0	99,65
Blok	2	1,1	0,5	24,7	0	0,98	0,2	0,1	10,4	0	0,16
Lineer	5	83,3	16,7	758,1	0	75,23	112,2	22,4	2245,0	0	84,33
A	1	13,4	13,4	611,1	0	12,13	22,1	22,1	2213,8	0	16,63
B	2	14,5	7,3	330,1	0	13,10	14,2	7,1	710,0	0	10,67
C	1	31,2	31,2	1417,0	0	28,12	46,3	46,3	4631,6	0	34,80
D	1	24,2	24,2	1102,4	0	21,88	29,6	29,6	2959,7	0	22,23
İkili Etkileşimler	9	6,4	0,7	32,5	0	5,80	8,0	0,9	88,8	0	6,01
A*B	2	0,7	0,3	15,0	0	0,59	1,2	0,6	60,4	0	0,91
A*C	1	0,1	0,1	2,6	0,112	0,05	2,1	2,1	208,4	0	1,57
A*D	1	0,0	0,0	0,6	0,441	0,01	0,1	0,1	9,9	0,003	0,07
B*C	2	3,2	1,6	71,9	0	2,85	0,5	0,2	23,4	0	0,35
B*D	2	0,4	0,2	8,8	0,001	0,35	0,6	0,3	29,1	0	0,44
C*D	1	2,1	2,1	97,6	0	1,94	3,5	3,5	355,2	0	2,67
Üçlü Etkileşimler	7	18,9	2,7	122,7	0	17,04	11,5	1,6	164,0	0	8,62
A*B*C	2	15,0	7,5	341,5	0	13,55	8,7	4,4	435,4	0	6,54
A*B*D	2	0,3	0,2	7,6	0,001	0,30	0,2	0,1	9,8	0	0,15
A*C*D	1	0,0	0,0	1,9	0,174	0,04	0,1	0,1	5,5	0,023	0,04
B*C*D	2	3,5	1,7	79,2	0	3,14	2,5	1,3	125,9	0	1,89
Dörtlü Etkileşimler	2	0,0	0,0	1,0	0,389	0,04	0,7	0,4	36,1	0	0,54
A*B*C*D	2	0,0	0,0	1,0	0,389	0,04	0,7	0,4	36,1	0	0,54
Hata	46	1,0	0,0			0,91	0,5	0,0			0,35
Toplam	71	110,8				100	133,0				100

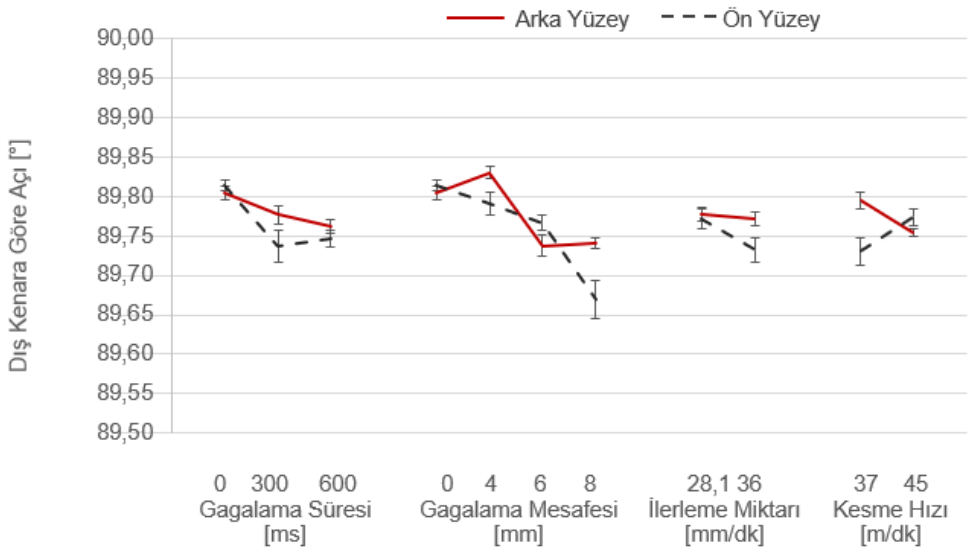
Numunelerin yüzey pürüzlülüğü anova analizi sonuçları incelendiğinde AISI 304 malzemesi R_a yüzey pürüzlülüğünde modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %98,85 iken ön yüzey için %99,70 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %70,67 ile lineer iken ön yüzeyde de %83,33 ile lineer etki olmuştur. R_z yüzey pürüzlülüğünde modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %98,44 iken ön yüzey için %97,43 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %82,92 ile lineer iken ön yüzeyde de %82,93 ile lineer etki olmuştur. R_q yüzey pürüzlülüğünde modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %99,09 iken ön yüzey için %99,65 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %75,23 ile lineer iken ön yüzeyde de %84,33 ile lineer etki olmuştur.

4.7. AISI 304 Malzemesi Yüzey Dikliği

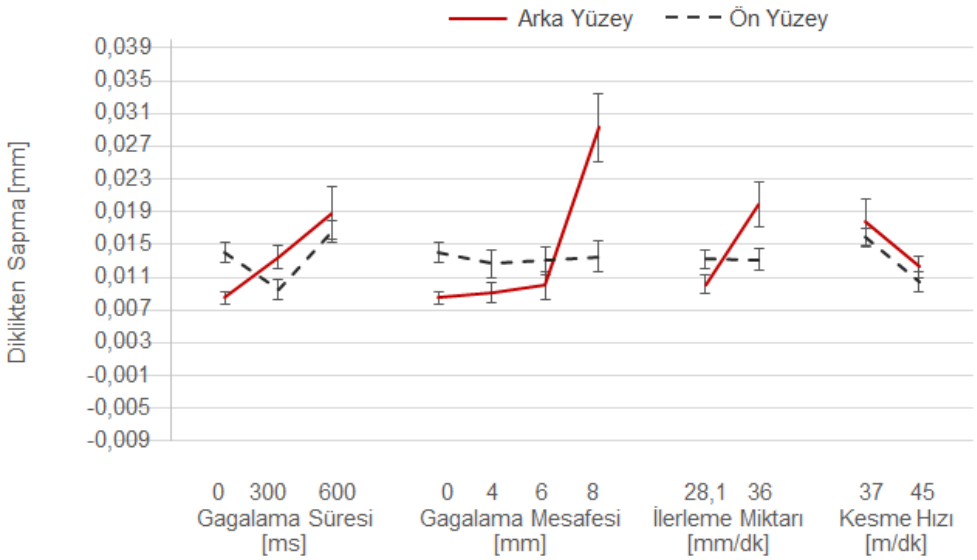
AISI 304 malzemesi Y eksenine göre açı, dış kenara göre açı ve diklikten sapma ana etki grafikleri sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



Şekil 4.10. AISI 304 malzemesi Y eksenine göre açı ana etki grafiği.



Şekil 4.11. AISI 304 malzemesi dış kenar göre açı ana etki grafiği.



Şekil 4.12. AISI 304 malzemesi diklikten sapma ana etki grafiği.

Numunelerin yüzey dikliği grafikleri incelendiğinde kesme parametrelerindeki seviye farklarına göre Y eksenine göre açı, dış kenara göre açı ve diklikten sapma değerlerinde değişiklik olduğu ancak değer aralıkları dikkate alındığında anlamlı bir değişiklik olmadığı bulguları elde edilmiştir.

4.8. AISI 304 Malzemesi Yüzey Dikliği Anova Analizi

AISI 304 malzemesi Y eksenine göre açı, dış kenara göre açı ve diklikten sapma anova analizi sonuçları sırasıyla Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.10. AISI 304 malzemesi Y eksenine göre açı anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	21	0,063473	0,003023	0,31	0,938	76,76	0,244824	0,011658	6,53	0,141	98,56
Lineer	5	0,022863	0,004573	0,48	0,782	27,65	0,049717	0,009943	5,57	0,159	20,02
A	1	0,005133	0,005133	0,53	0,541	6,21	0,00016	0,00016	0,09	0,793	0,06
B	2	0,011345	0,005673	0,59	0,629	13,72	0,029324	0,014662	8,21	0,109	11,81
C	1	0,002709	0,002709	0,28	0,649	3,28	0,015302	0,015302	8,57	0,1	6,16
D	1	0,003675	0,003675	0,38	0,599	4,44	0,004931	0,004931	2,76	0,238	1,99
İkili Etkileşimler	9	0,025906	0,002878	0,3	0,918	31,33	0,115527	0,012836	7,19	0,128	46,51
A*B	2	0,005637	0,002819	0,29	0,773	6,82	0,046921	0,023461	13,14	0,071	18,89
A*C	1	0,003528	0,003528	0,37	0,606	4,27	0,000726	0,000726	0,41	0,589	0,29
A*D	1	0,00007	0,00007	0,01	0,94	0,08	0,008588	0,008588	4,81	0,16	3,46
B*C	2	0,013888	0,006944	0,72	0,581	16,79	0,018064	0,009032	5,06	0,165	7,27
B*D	2	0,001387	0,000694	0,07	0,933	1,68	0,018534	0,009267	5,19	0,162	7,46
C*D	1	0,001395	0,001395	0,15	0,74	1,69	0,022693	0,022693	12,71	0,07	9,14
Üçlü Etkileşimler	7	0,014703	0,0021	0,22	0,946	17,78	0,07958	0,011369	6,37	0,142	32,04
A*B*C	2	0,000961	0,000481	0,05	0,952	1,16	0,012369	0,006184	3,46	0,224	4,98
A*B*D	2	0,000756	0,000378	0,04	0,962	0,91	0,053594	0,026797	15,01	0,062	21,58
A*C*D	1	0,002185	0,002185	0,23	0,681	2,64	0,00015	0,00015	0,08	0,799	0,06
B*C*D	2	0,010801	0,005401	0,56	0,64	13,06	0,013467	0,006733	3,77	0,21	5,42
Hata	2	0,019222	0,009611			23,24	0,003571	0,001786			1,44
Toplam	23	0,082695				100,00	0,248395				100,00

Çizelge 4.11. AISI 304 malzemesi dış kenara göre açı anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	21	0,103097	0,004909	0,58	0,796	85,96	0,293102	0,013957	5,34	0,169	98,25
Lineer	5	0,053693	0,010739	1,28	0,494	44,77	0,097816	0,019563	7,48	0,122	32,79
A	1	0,001162	0,001162	0,14	0,746	0,97	0,000556	0,000556	0,21	0,69	0,19
B	2	0,044387	0,022193	2,64	0,275	37,01	0,065598	0,032799	12,54	0,074	21,99
C	1	0,000187	0,000187	0,02	0,895	0,16	0,017958	0,017958	6,87	0,12	6,02
D	1	0,007957	0,007957	0,95	0,433	6,63	0,013704	0,013704	5,24	0,149	4,59
İkili Etkileşimler	9	0,033477	0,00372	0,44	0,84	27,91	0,094729	0,010525	4,02	0,215	31,75
A*B	2	0,002734	0,001367	0,16	0,86	2,28	0,037934	0,018967	7,25	0,121	12,72
A*C	1	0,007038	0,007038	0,84	0,457	5,87	0,006419	0,006419	2,45	0,258	2,15
A*D	1	0,000155	0,000155	0,02	0,904	0,13	0,00783	0,00783	2,99	0,226	2,62
B*C	2	0,019424	0,009712	1,15	0,464	16,20	0,006694	0,003347	1,28	0,439	2,24
B*D	2	0,004123	0,002062	0,24	0,803	3,44	0,022338	0,011169	4,27	0,19	7,49
C*D	1	0,000002	0,000002	0	0,989	0,00	0,013514	0,013514	5,17	0,151	4,53
Üçlü Etkileşimler	7	0,015928	0,002275	0,27	0,92	13,28	0,100557	0,014365	5,49	0,163	33,71
A*B*C	2	0,000488	0,000244	0,03	0,972	0,41	0,012328	0,006164	2,36	0,298	4,13
A*B*D	2	0,001341	0,00067	0,08	0,926	1,12	0,06825	0,034125	13,05	0,071	22,88
A*C*D	1	0,007668	0,007668	0,91	0,441	6,39	0,000364	0,000364	0,14	0,745	0,12
B*C*D	2	0,006431	0,003215	0,38	0,724	5,36	0,019615	0,009807	3,75	0,211	6,57
Hata	2	0,016835	0,008417			14,04	0,00523	0,002615			1,75
Toplam	23	0,119932				100,00	0,298332				100,00

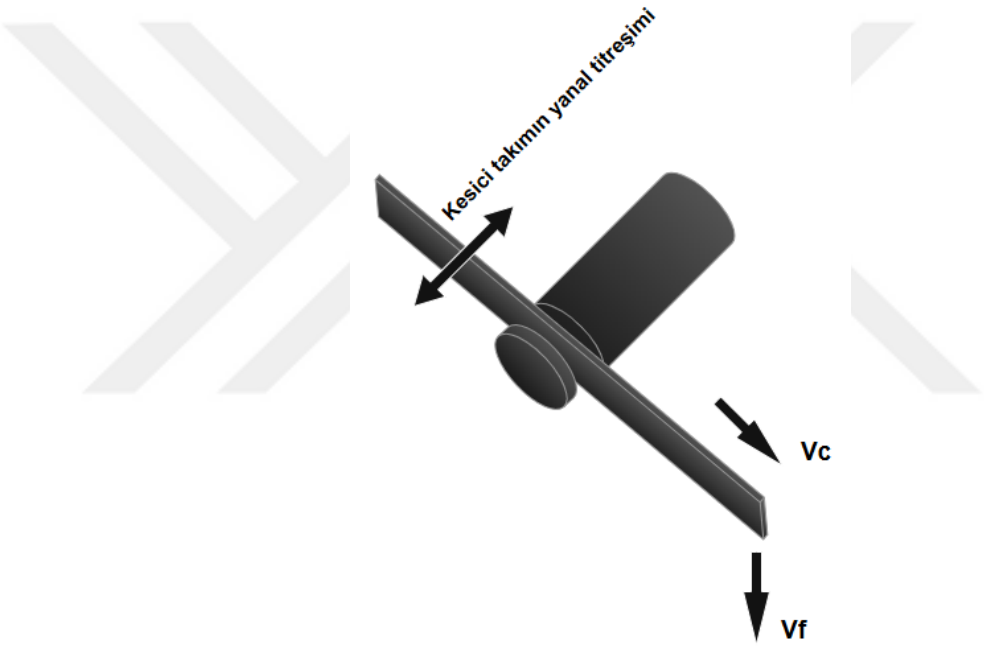
Çizelge 4.12. AISI 304 malzemesi diklikten sapma anova analizi sonuçları

		Arka Yüzey					Ön Yüzey				
Faktör	SD	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki	KT	KO	F-Değeri	P-Değeri	%Etki
Model	21	0,00677	0,00032	0,9	0,644	90,62	0,0023	0,00011	2,77	0,299	96,68
Lineer	5	0,00342	0,00068	2,0	0,372	45,76	0,000592	0,000118	2,99	0,269	24,88
A	1	0,00018	0,00018	0,5	0,552	2,36	0,000301	0,000301	7,61	0,11	12,65
B	2	0,00207	0,00104	3,0	0,253	27,70	0,000003	0,000002	0,04	0,962	0,13
C	1	0,00090	0,00090	2,6	0,25	12,04	0	0	0,01	0,931	0,00
D	1	0,00027	0,00027	0,8	0,47	3,65	0,000287	0,000287	7,26	0,115	12,06
İkili Etkileşimler	9	0,00169	0,00019	0,5	0,79	22,59	0,001357	0,000151	3,81	0,225	57,04
A*B	2	0,00071	0,00036	1,0	0,497	9,51	0,000456	0,000228	5,77	0,148	19,17
A*C	1	0,00000	0,00000	0,0	0,961	0,01	0,00007	0,00007	1,77	0,315	2,94
A*D	1	0,00017	0,00017	0,5	0,563	2,21	0,00007	0,00007	1,77	0,315	2,94
B*C	2	0,00012	0,00006	0,2	0,858	1,55	0,000226	0,000113	2,85	0,259	9,50
B*D	2	0,00047	0,00024	0,7	0,597	6,33	0,000495	0,000248	6,26	0,138	20,81
C*D	1	0,00022	0,00022	0,6	0,509	2,97	0,00004	0,00004	1,01	0,42	1,68
Üçlü Etkileşimler	7	0,00166	0,00024	0,7	0,708	22,27	0,000351	0,00005	1,27	0,509	14,75
A*B*C	2	0,00026	0,00013	0,4	0,729	3,49	0,000053	0,000027	0,67	0,598	2,23
A*B*D	2	0,00045	0,00023	0,7	0,607	6,06	0,000035	0,000018	0,44	0,693	1,47
A*C*D	1	0,00041	0,00041	1,2	0,393	5,46	0,000005	0,000005	0,13	0,755	0,21
B*C*D	2	0,00054	0,00027	0,8	0,564	7,24	0,000258	0,000129	3,26	0,235	10,84
Hata	2	0,00070	0,00035			9,38	0,000079	0,00004			3,32
Toplam	23	0,00747				100,00	0,002379				100

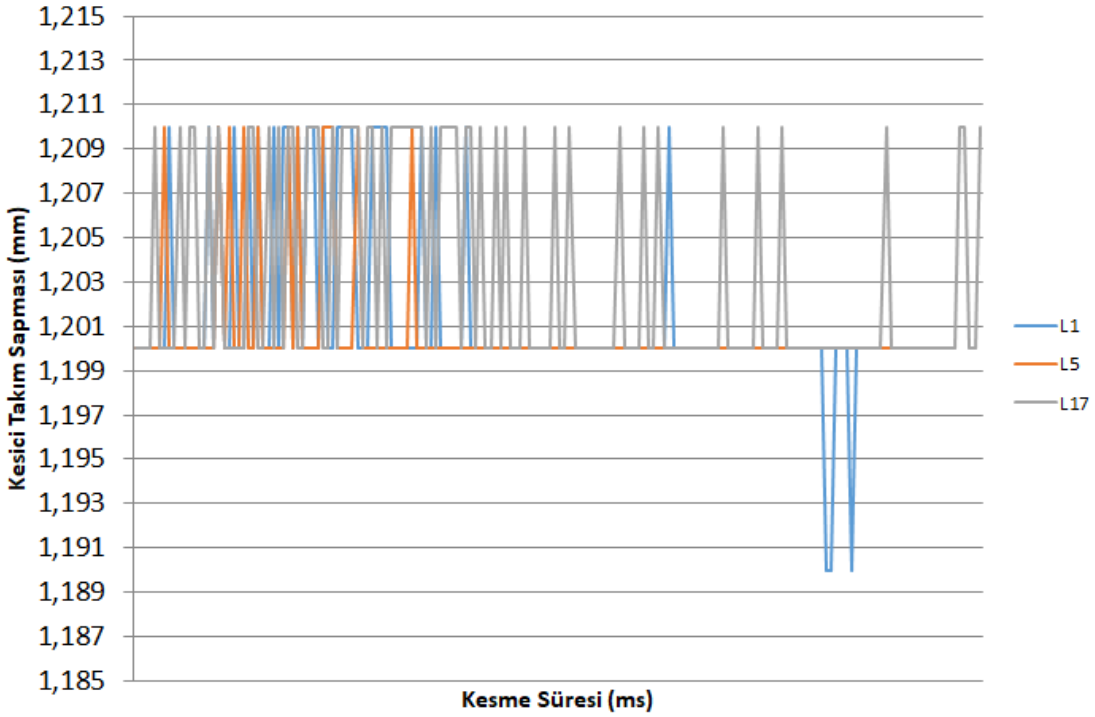
Numunelerin yüzey dikliği anova analizi sonuçları incelendiğinde AISI 304 malzemesi Y eksenine göre açıda modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %76,76 iken ön yüzey için %98,56 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %31,33 ile ikili etkileşimler iken ön yüzeyde de %46,51 ile ikili etkileşimler olmuştur. Dış kenara göre açıda modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %85,96 iken ön yüzey için %98,25 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %44,77 ile lineer iken ön yüzeyde %33,71 ile üçlü etkileşimler olmuştur. Diklikten sapmada modelin güvenilirlik değeri olan R^2 arka yüzey için %90,62 iken ön yüzey için %96,68 olarak elde edilmiştir. Arka yüzeyde en yüksek etki %45,75 ile lineer iken ön yüzeyde de %57,04 ile ikili etkileşimler olmuştur.

4.9. Kesici Takımda Meydana Gelen Yanal Titreşimler

Malzemelerin kesilmesi sırasında kesici takımın numunelerin kesilen yüzeylerine dik doğrultuda yanal titreşim hareketi sergileyebileceği (Şekil 4.13) deney tasarımının başında düşünülmüş ve olası titreşim hareketinin varlığının saptanabilmesi amacıyla testere tezgâhı üzerinde opsiyon olarak bulunan endüktif sapma (yakınlık-uzaklık) sensörü verileri kesme işlemi boyunca kayıt altına alınmıştır. Kesici takımda meydana gelen yanal titreşimlerin gösterilmesi adına AA 6082 malzemesinin L1, L5 ve L17 numunelerine ait sapma sensörü verileri Şekil 4.14'te grafik haline getirilmiştir.



Şekil 4.13. Kesme işlemi boyunca kesici takımda meydana gelen yanal titreşimlerin şematik görüntüsü.



Şekil 4.14. Kesici takımda meydana gelen sapmalar.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

AISI 304 ve AA 6082 malzemelerinin şerit testere tezgâhında kesilmesinde gagalama fonksiyonunun kesme performansına etkisinin incelendiği bu çalışmada gagalama süresi, gagalama mesafesi, ilerleme oranı ve kesme hızı parametrelerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen numunelerin ön ve arka yüzey pürüzlülükleri ile yüzey diklikleri ölçülmüş ve ölçüm sonuçları anova analizi ile karakterize edilmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar ve sonuçlara yönelik yorumlar aşağıda özetlenmiştir:

- Testere ile kesme işlemlerinde gagalama fonksiyonunun her iki malzeme üzerinde olumsuz etki yarattığı, bazı pürüzlülük ve diklik değerlerinde iyileşmeler gözlemlense de genel olarak yüzey kalitesi ve diklik değerlerinin gagalama fonksiyonu ile bozulduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma Şekil 4.13'te gösterilen kesme işlemi boyunca kesici takımda meydana gelen, kesme yüzeylerine dik olan yanal titreşimlerin neden olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.14'te kesici takımın sapma değerlerine bir örnek gösterilmiştir. Şekil 4.14'ten de anlaşılacağı üzere kesme işlemi sırasında kesici takım yanal konumunu koruyamayarak titreşim hareketi sergilemektedir. Bu titreşim kesme işlemi boyunca kesici takım dişlerinin kesilen numune yüzeylerine temas etmesine neden olmaktadır. Gagalama fonksiyonunda ilerleme oranının kesintiye uğratılması kesme süresini uzatmakta ve dolayısı ile gagalama fonksiyonu ile kesilen numuneler kesici takımın yanal titreşimine daha fazla maruz kalmaktadır. Bu durum gagalamanın yüzey pürüzlülüğü ve diklik üzerindeki olumsuz etkisini açıklar niteliktedir.

- Literatürde gagalama metodu ile delik delme yöntemlerinin delme performansına ve delik kalitesine olumlu etki ettiği pek çok çalışma yer alsa da gagalamanın olumsuz etkisi olduğu sonuçlarına varılan çalışmalar da mevcuttur (Eltaggazi ve Deiab, 2019; Özsoy ve Özsoy, 2019).

- Yüzey pürüzlülüğü ve diklik ölçümleri iş Şekil 4.13'de görüldüğü üzere numunelerin hem ön hem de arka yüzeyleri incelenerek gerçekleştirilmiştir. Arka yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerlerinin ön yüzeylerinkinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Hacimsel olarak kıyaslama yapıldığında arka yüzeyin bulunduğu malzemenin rijitliği kesilen numune rijitliğinden çok daha yüksektir. Kesici takımın yanal titreşimi ile rijitliği düşük olan ön (kesilen numune) parça kesici takımdan uzaklaşma eğilimindedir. Bu durumun arka yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ön yüzeylerden yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.14'te yer alan sapma değerlerinin 1,2 mm üzerindekileri kesici takımın rijit olan arka yüzeylere doğru saptığını göstermektedir. Sapma değerlerinin neredeyse tamamı arka yüzeylere doğru olmuştur. Bu durum arka yüzey pürüzlülük değerlerinin ön yüzeylerden daha yüksek olmasını destekler niteliktedir.

- Anova analizi sonuçları incelendiğinde modellerin güvenilirliği olan R^2 değerlerinin genel olarak yüksek olması deney tasarımı, kurulan modelin ve ölçüm yöntemlerinin sağlıklı olduğu söylenebilir.

- Grafiklerdeki standart hatalar incelendiğinde hata çubuklarında bazı kesişen parametreler olsa da genel olarak hata çubuklarının birbirleri ile kesişmediği gözlemlenmiştir. Hata çubuklarının birbirleri ile kesişmemesi, her bir deney parametresindeki seviyelerde elde edilen sonuçlardaki değişimin anlamlı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

- AA 6082 ve AISI 304 malzemelerinin deney sonuçlarından yüzey pürüzlülükleri incelendiğinde her iki malzeme içinde ilerleme oranının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinde artış, kesme hızının artması ile düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum talaşlı imalat yönteminde beklenen bir durum olması ile literatürde de konu ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur.

- Diklik sonuçları incelendiğinde Y eksenine göre açı, dış kenara göre açı ve diklikten sapma değerlerindeki hata çubukları genel olarak birbirleri ile

kesişmediğinden değişin anlamlı olduğunu söylemek mümkündür. Ancak değerler sayısal olarak incelendiğinde dikkate değer değişimlerin olmadığı, gagalama fonksiyonunun Ø 100 mm ebatındaki her iki malzemenin kesilmesinde olumlu ya da olumsuz bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Ø 100 mm ebatındaki malzemeler için bu değerler endüstride istenilen tolerans değerlerindedir.

- Tüm sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde sonuçlar anlamlı olsa da çalışma kapsamında kullanılan deney parametreleri ile gagalama fonksiyonunun Ø 100 mm ebatındaki AISI 304 ve AA 6082 malzemelerin için uygun olmadığı gözlemlenmiştir. AA 6082 malzemesinin yüzey kalitesinde gagalama süresi ve gagalama mesafesindeki yüksek seviyelerinde iyileşme göze çarpmaktadır. Bu durum dikkate alındığında deney parametrelerinin belirli seviyelerinde kırılımlar olabileceği düşünülmektedir. Hem bu kırılım hem de AISI 304 ve AA 6082 malzemesinin pürüzlülük değeri yönelimlerinin aynı olmaması deney malzemesinin kimyasal kompozisyonunun da gagalama ile kesmede kesme performansına etkisi olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle farklı kalitedeki malzemeler ile yüksek fark seviyeli deney parametreleri kullanılarak gagalama fonksiyonu için optimum parametreler ve uygun malzemelerin tespit edilmesi önerilmektedir.

- Diklik sonuçları her ne kadar Ø 100 mm ebatındaki malzemelerde kabul edilebilir olsa da malzeme çapı büyüdükçe açıdaki sapmalar mm cinsinden tolerans sınırlarının dışına çıkabilir. Bu nedenle farklı çaplarda deneyler gerçekleştirilmesi ve gagalama fonksiyonunun uygulanabileceği çap sınırlarının belirlenmesi önerilmektedir.

- Kesme işlemlerinde ilerleme oranı işleme süresini doğrudan etkileyen bir parametredir. Gagalama ile ilerleme oranı kesintiye uğratılırken gagalama süresine ve mesafesine bağlı olarak toplam kesme süresi uzamaktadır. Bu nedenle gagalamanın kesme süresini uzattığı da göz önünde bulundurularak optimizasyon çalışması gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Ahmed, M. (2022). *Şerit testere ile kesme işleminde kesme parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Asiltürk, İ. (2007). *Testere ile kesme işleminde yapay zekâ tabanlı adaptif kontrol uygulaması* [Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Aized, T., & Amjad, M. (2013). Quality improvement of deep-hole drilling process of AISI D2. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 69*(5–8), 2493–2503. https://doi.org/10.1007/s00170-013-5178-4

Aykut, E. (2020). *AA 6082 alüminyum alaşımlarında kesme parametrelerinin işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması* [Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Attanasio, A. (2017). Micro drilling of hard to cut materials: An experimental analysis. *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems, 10*(4), 299–320. https://doi.org/10.1504/IJMMS.2017.088927

Batman, Ö. (2019). *2011-T6 alüminyum alaşımının delik delme işleminde kesme parametrelerinin delik kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Bican, O., & Pul, M. (2021). Farklı alüminyum alaşımlarının tornalanmasında alaşım cinsinin kesici takım davranışı, talaş biçimi ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Balkan Journal of Engineering and Science Research, 1*(1), 1–10. https://doi.org/10.46387/bjesr.787725

Bilgin, M. B. (2015). Investigating the effects of cutting parameters on the built-up-layer and built-up-edge formation during the machining of AISI 310 austenitic stainless steels. *Materiali in Tehnologije, 49*(5), 779–784.

Boz, H. (2025). *Alüminyum 7075 alaşımının talaşlı imalatı için karbür parmak freze geliştirilmesi ve optimizasyonu* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Bozkurt, S. (2019). *AA7075 T651 alüminyum alaşımının tornada işlenmesinde kesme parametrelerinin geometrik toleranslara ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Gülşah, B. (2025). *AISI 316L paslanmaz çeliklerin delinmesinde çoklu işlenebilirlik parametrelerinin araştırılması* [Yüksek lisans tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Çakır, A., Yıldırım, F., & Şeker, U. (2014). *AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde farklı soğutma şartları ve kesme parametrelerinin yüzey kalitesine etkisinin deneysel olarak incelenmesi*. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, Bursa.

Çakır, M. C. (2018). *Modern talaşlı imalatın esasları*. Dora Yayıncılık.

Çiftçi, İ. (2005). Östenitik paslanmaz çeliklerin işlenmesinde kesici takım kaplamasının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20*(2). https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6664/88902

Çiftçi, İ., & Gökçe, H. (2019). Ti6Al4V titanyum alaşımının delinmesinde delme yönteminin aşınmaya etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi, 22*(3), 627–631. https://doi.org/10.2339/politeknik.450289

Erol, E. (2023). *Dairesel testere ile profil kesme işleminde minimum miktar yağlama performansının incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Karabük Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Eltaggaz, A., & Deiab, I. (2019). Comparison of direct and peck drilling for large aspect ratio in Ti-6Al-4V alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 102*, Article 12345. https://doi.org/10.1007/s00170-019-03314-z

Esnemez, M., & Poyraz, Ö. (2022). Hassas mekanik unsurların temassız ölçüm yöntemleri ile doğrulanması ve koordinat ölçme yöntemi ile karşılaştırılması. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences, (17),* 71–80. https://dergipark.org.tr/en/pub/jrens/issue/72458/1210913

Güldibi, A. S., Elitaş, M., & Köle, E. (2018). AA 6082 alüminyum alaşımının işlenmesinde kroyojenik ve bor yağı soğutma prosedürünün talaş morfolojisine etkisi. *1st International Symposium on Light Alloys and Composite Materials*, Karabük.

Güllü, A. K., Özdemir, A. H., & Demir, H. (2003). Yüzey pürüzlülüğü ölçme yöntemleri ve mukayesesi. *Teknoloji, 6*(1–2). https://avesis.gazi.edu.tr/yayin/97a8bb2b-7c13-4c16-aac2-b416c8bfd242/yuzey-puruzlulugu-olcme-yontemleri-ve-mukayesesi

Harun, A. (2010). *Tornalama işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün istatistiksel ve yapay zeka yöntemleriyle tahmin edilmesi* [Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Khan, F. N., Daadbin, A., Persson, M., & Haider, J. (2014). Machining characteristics of Inconel with carbide tipped bandsaw. *Proceedings of the 12th International Conference on Manufacturing Research (ICMR2014),* Southampton, Birleşik Krallık. https://e-space.mmu.ac.uk/622527/

Kang, J., Zhang, H., Zhang, J., Bai, T., Zhang, Z., Guo, J., ... & Niu, P. (2025). Wear analysis of teeth for roughing and finishing in the high-efficiency machining of hard alloys using carbide circular saw blades. *Engineering Failure Analysis, 167*, 108983. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108983

Kang, J., Zhang, H., Zhang, J., Wang, K., & Bai, T. (2024). Dynamic response of circular saw blade based on dynamic sawing force model in machining hard aluminum alloys. *Measurement, 231*, 114616. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114616

Kim, D. W., Lee, Y. S., Park, M. S., & Chu, C. N. (2009). Tool life improvement by peck drilling and thrust force monitoring during deep micro hole drilling of steel. *International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49*(3–4), 246–255. https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.11.005

Mesut, H. (2008). *7075 alüminyum alaşımının freze ile işlenmesinde minimum soğutma sıvısı kullanımının performans karakteristiklerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Ni, P., Wang, Y., Tan, D., Zhang, Y., Chen, Z., Wang, Z., ... & Lu, Y. (2023). Research on optimization method of stainless steel sawing process parameters based on multi-tooth sawing force prediction model. *The International Journal of Advanced*

Manufacturing Technology, 128(9), 4513–4533. https://doi.org/10.1007/s00170-023-12051-3

Özay, Ç., Ballıkaya, H., & Savaş, V. (2011). 304 östenitik paslanmaz çeliğinin teğetsel tornalama-frezeleme yöntemi ile işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün araştırılması. Paper presented at the *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey.

Özbek, N. A., Çiçek, A., Gülesin, M., & Özbek, O. (2017). AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, *20*(1), 43–49. https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/36869/420493

Özsoy, M., & Özsoy, N. (2020). AISI 1040 çeliğinin kuru ve ıslak koşullarda delinmesinin deneysel ve istatistiksel incelenmesi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *8*(2), 384–391. https://doi.org/10.36306/konjes.640786

Pervaiz, S., Deiab, I., & Kishawy, H. (2012). Experimental study of conventional and peck drilling operations. In *Proceedings of the 40th Annual North American Manufacturing Research Conference (NAMRC 40)*.

Pul, M., & Şeker, U. (2014). Metal matrisli kompozitlerin tornalanmasında ilerleme oranının kesici takım aşınma davranışlarına etkisi. *Politeknik Dergisi*, *17*(3), 99–106. https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/33071/368013

Prashanth, P., & Hiremath, S. S. (2022). Mechanical peck drilling of Inconel 625: Parametric analysis and grey fuzzy logic based multi response optimization. *Journal of Micromanufacturing*, 1–16. https://doi.org/10.1177/25165984221135713

Rangasamy, N., Kirwin, R., & Rakurty, C. S. (2022). A comparative sustainability assessment of cutting fluids usage in band sawing. In *Global Conference on Sustainable Manufacturing* (pp. 21–29). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28839-5_3

Sarıaslan, E. (2016). *Elektrik akımı kullanarak ısıtma ile testerede kesmede kesme parametrelerinin kesmeye etkilerinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Sarwar, M., Persson, M., Hellbergh, H., & Haider, J. (2009). Measurement of specific cutting energy for evaluating the efficiency of bandsawing different workpiece materials. *International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49*(12–13), 958–965. https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2009.06.008

Seid Ahmed, Y., Fox-Rabinovich, G., Paiva, J. M., Wagg, T., & Veldhuis, S. C. (2017). Effect of built-up edge formation during stable state of wear in AISI 304 stainless steel on machining performance and surface integrity of the machined part. *Materials*, *10*(11), 1230. https://doi.org/10.3390/ma10111230

Sekmen, M., Günay, M., & Şeker, U. (2015). Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, *18*(3), 141–148. https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/33075/368048

Sun, P., Jiao, A., Li, L., Zhang, Y., & Yuan, J. (2024). Experimental study of micro-hole pecking drilling in high volume fraction SiCp/Al7075 composites with variable step size. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, *25*(6), 1195–1207. https://doi.org/10.1007/s12541-024-00992-y

Tekaslan, Ö., Gezer, N., & Şeker, U. (2008). CNC torna tezgahında AISI 304 çeliklerin işlenmesinde optimum yüzey pürüzlülüğünü sağlayacak kesme parametrelerinin tespiti. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University, (16)*, 97–104. https://dergipark.org.tr/en/pub/dpufbed/issue/36104/407024

Thaler, T., Bric, I., Bric, R., Potocnik, P., Muzic, P., & Govekar, E. (2012). Characterization of band sawing based on cutting forces. *Journal of Machine Engineering, 12*(1), 41–54.

Tsai, P. C., Jeng, Y. R., & Tseng, C. W. (2022). A robust embedded load cell sensor for tool life prognosis and smart sawing of medium carbon steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 121*(1), 1353–1364. https://doi.org/10.1007/s00170-022-09377-9

Yıldız, S. (2022). AISI 1040 malzemesinin yüksek performanslı otonom daire testere makinesi ile kesiminde kesme parametrelerinin talaş sıcaklığına etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22*(5), 1225–1237. https://doi.org/10.35414/akufemubid.1108677

Yıldız, S., Özsoy, M., Özsoy, Ö. Ü. N., & Doğan, S. (2021). AISI 1040 malzemesinin şerit testere ile kesiminde işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin Taguchi metoduyla incelenmesi. In *2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi Bildiriler Kitabı* (ss. 84–94).

Yıldız, T. (2019). *Paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde minimum miktarda yağlama etkisinin istatistiksel olarak araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/

Wolters, K., Abdullah, M. S. B., Rangasamy, N., Caudill, J., Rakurty, C. S., & Jawahir, I. S. (2023). Sustainable cutting fluid usage in bandsawing of additively manufactured 316L stainless steel: Surface integrity evaluation. In *Global Conference on Sustainable Manufacturing* (pp. 606–614). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-77429-4_67

Wong, F. R., Sharif, S., Kamdani, K., & Rahim, E. A. (2008). The effect of drill point geometry and drilling technique on tool life when drilling titanium alloy, Ti-6Al-4V. In *Proceedings of the International Conference on Mechanical & Manufacturing Engineering (ICME2008)* (Vol. 21, p. 23).