



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

**ŞERİT TESTERE İLE KESİLEN METALİK**  
**YÜZEYİN PÜRÜZLÜLÜK DEĞERİNİN**  
**PARAMETRİK OPTİMİZASYONU**

**Hakan SUMAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2025**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Hakan SUMAK

Tarih:

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS TEZİ****ŞERİT TESTERE İLE KESİLEN METALİK YÜZEYİN PÜRÜZLÜLÜK DEĞERİNİN  
PARAMETRİK OPTİMİZASYONU****Hakan SUMAK****Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ****2025, 67 Sayfa****Jüri****Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ****Doç. Dr. Nafiz YAŞAR****Doç. Dr. Rüstem BİNALİ**

Metal ve alaşım malzemelerin yarı mamul veya mamul hale getirilmesinde, şerit testere makineleri yaygın olarak tercih edilen kesme sistemlerinden biridir. Şerit testere, üretim süreçlerinin ilk aşamasında yer almakta olup, yapısal özellikleri sayesinde diğer kesme yöntemlerine kıyasla daha ekonomik çözümler sunmaktadır. Özellikle şerit bıçağının ince yapısı, malzeme israfını azaltarak ekonomik kesim imkânı sağlar. Kesme işleminin hassasiyeti, sonraki işlem basamaklarını minimize ederek işçilik maliyetlerinin düşürülmesine katkıda bulunmaktadır. Artan üretim maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda, kesilen parçaların nihai ürün olarak kullanılabilmesi, kesme kalitesi ve yüzey hassasiyetinin önemini artırmaktadır.

Bu çalışmada, imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan şerit testere tezgâhı ile üç farklı metal malzemenin, üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme değerinde kesilmesi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneysel olarak yürütülen çalışmada, deney sayısını azaltarak etkin sonuçlar elde etmek amacıyla Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Kesilen numunelerin yüzey pürüzlülüğü, yüzey ölçüm cihazları ile belirlenmiş ve elde edilen veriler varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilerek optimum kesme parametreleri ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kesme parametreleri, kesme parametrelerin optimizasyonu, şerit testere ile kesme, optimizasyon, yüzey pürüzlülüğü.

**ABSTRACT****MS THESIS****PARAMETRIC OPTIMIZATION OF ROUGHNESS VALUE OF METALLIC  
SURFACE CUT WITH BAND SAW****Hakan SUMAK****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK  
UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN MECHANICAL ENGINEERING****Advisor: Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ****2025, 67 Pages****Jury****Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ  
Assoc. Prof. Dr. Nafiz YAŞAR  
Assoc. Prof. Dr. Rüstem BİNALİ**

Band saw machines are one of the widely preferred cutting systems in the transformation of metal and alloy materials into semi-finished or finished products. Band saws are at the first stage of production processes and offer more economical solutions compared to other cutting methods thanks to their structural features. In particular, the thin structure of the band blade provides economical cutting opportunities by reducing material waste. The precision of the cutting process contributes to the reduction of labor costs by minimizing the subsequent process steps. Considering the increasing production costs, the fact that the cut parts can be used as final products increases the importance of cutting quality and surface precision. In this study, the optimization of the surface roughness values obtained as a result of cutting three different metal materials at three different cutting speeds and three different feed rates with a band saw bench widely used in the manufacturing sector was carried out. In the experimental study, the Taguchi method was applied in order to obtain effective results by reducing the number of experiments. The surface roughness of the cut samples was determined with surface measuring devices and the obtained data were evaluated with variance analysis (ANOVA) and the optimum cutting parameters were revealed.

**Keywords:** Cutting parameters, optimization of cutting parameters, band sawing, optimization, surface roughness.

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, şerit testere ile yapılan kesme işlemlerinde parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Gelişen endüstriyel üretim süreçlerinde, malzeme işleme ve yüzey kalitesinin önemi giderek artmaktadır. Bu tez, şerit testere kullanarak malzeme kesme işlemi sırasında optimizasyon çalışmalarını derinlemesine incelemekte ve yüzey pürüzlülüğünü minimize etmeye yönelik etkili parametrelerin belirlenmesine odaklanmaktadır.

Çalışma kapsamında, Taguchi yöntemi ve regresyon analizi kullanılarak deneysel veriler toplanmış ve MINITAB 22 yazılımı ile detaylı analizler yapılmıştır. Elde edilen bulgular, kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini en belirgin şekilde ortaya koymuş ve bu parametrelerin üretim süreçlerinde nasıl optimize edilebileceği konusunda önemli bir katkı sağlamıştır. Ayrıca, elde edilen regresyon modeli, yüzey kalitesini tahmin etme konusunda yüksek doğrulukla sonuçlar sunarak, uygulamalı endüstriyel kullanım için rehberlik etmektedir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Süleyman NEŞELİ'ye ve tez aşamasında destek veren Doç. Dr. Rüstem BİNALİ'ye, araştırmalarım sırasında değerli önerileriyle beni yönlendiren Raşit ERTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tezimin deneysel çalışmalarını gerçekleştirmeme olanak sağlayan Topçular Endüstriyel Firması'na, sağladıkları ekipman ve laboratuvar imkânları için minnettarım.

Tezimin yazılmasında ve deneysel aşamalarda desteğini esirgemeyen bana moral kaynağı olan ve motivasyon veren aileme, özellikle eşime, 3 evladıma, anneme ve babama ayrıca teşekkür ederim.

Bu tez, hem bilimsel hem de endüstriyel alanda önemli katkılar sağlama amacını gütmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler, şerit testere ile yapılan kesme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünü minimize etmeye yönelik stratejiler geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

Hakan SUMAK  
KONYA-2025

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı .....	2
1.2. Literatüre Katkısı .....	2
1.3. Tezin Organizasyonu .....	3
<b>2. ŞERİT TESTERE ve TEZGÂHI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Şerit Testere Tezgâhı Özellikleri .....	5
2.2. Şerit Testere Tezgahı Bileşenleri .....	6
2.3. Şerit Testere Tezgahı Kullanım Biçimleri .....	8
2.4. Şerit Testere Tezgahı Kullanım Alanları .....	8
2.5. Şerit Testere Tezgahı Çeşitleri .....	10
2.6. Şerit Testere Çeşitleri .....	13
2.7. Şerit Testere ile Kesme İşlemenin Avantajları .....	15
2.8. Şerit Testere ile Kesmenin Sınırlamaları Dezavantajları .....	15
2.9. Şerit Testere Rijitliği ve Kesme Kapasitesi İlişkisi .....	16
2.10. Şerit Testere ile Kesme Hassasiyeti ve Yüzey Pürüzlülüğü .....	17
2.11. Şerit Testere Seçiminde Dikkate Alınması Gereken Faktörler .....	17
2.12. Şerit Testerenin kısımları .....	18
2.12.1. Şerit Testere Kısımları ile İlgili Terimler: .....	18
2.12.2. Şerit Testere Dişlerin Özelliklerine Dair Terimler: .....	19
2.13. Şerit Testere Diş Geometrilere .....	20
2.14. Şerit Testere Seçim Kriteri .....	21
2.15. Şerit Testere Diş Yerleşim Tipleri .....	22
<b>3. TAGUCHI METODU</b> .....	<b>24</b>
3.1. Sistem Tasarımı .....	24
3.2. Parametre Tasarımı .....	24
3.3. Tolerans Tasarımı .....	25
3.4. Optimize Edilecek Kalite Karakteristiğinin Belirlenmesi .....	27
3.5. Gürültü Faktörleri ve Deney Koşullarının Tanımlanması .....	27

3.6. Kontrol Faktörlerinin ve Seviyelerinin Seçilmesi .....	27
3.7. Deneysel Matrisin Oluşturulması ve Analiz Yönteminin Belirlenmesi .....	27
3.8. Matris Deneyinin Uygulanması.....	28
3.9. Verilerin Değerlendirilmesi ve Optimum Parametre Seviyelerin Belirlenmesi	28
3.10. Tahmini Performansın Doğrulanması .....	28
<b>4. ŞERİT TESTERE MEKANİĞİ ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>29</b>
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>35</b>
<b>6. BULGULAR ve TARTIŞMA.....</b>	<b>40</b>
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>51</b>
<b>8. KAYNAKÇA .....</b>	<b>xvi</b>
<b>9. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>xix</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Şerit testere makineleri .....	5
Şekil 2.2. Şerit testere tezgâhı kısımları .....	7
Şekil 2.3. Ahşap şerit testere tezgâhı (Detroitbandsaw, 2025).....	8
Şekil 2.4. Metal şerit testere tezgâhı (Factorneed, 2025) .....	9
Şekil 2.5. Özel parçaların kesimi (Hnmagazine, 2025).....	9
Şekil 2.6. Sanatsal ve karmaşık şekillerin kesimi (İstockphoto, 2025) .....	10
Şekil 2.7. Yapı profilleri kesiminde şerit testere (İstockphoto, 2025).....	10
Şekil 2.8. Dikey şerit testere tezgâhı (Takimmarket, 2025) .....	11
Şekil 2.9. Yatay şerit testere tezgâhı (Chenlongbandsaw, 2025) .....	11
Şekil 2.10. Mobil, taşınabilir şerit testere tezgâhı (Ozcomakina, 2025) .....	12
Şekil 2.11. Çift kolonlu şerit testere tezgâhı (Boruimc, 2025).....	12
Şekil 2.12. Tam otomatik şerit testere tezgâhı (ozcomakina, 2025) .....	13
Şekil 2.13. Şerit testere kesme kapasitesi .....	17
Şekil 2.14. Şerit testereler ile ilgili olarak kullanılan terimler (TS 6851). .....	18
Şekil 2.15. Bir şerit testerede talaş yüzeyi, kesici kenar, diş dibi kavisi, diş sırtı, talaş boşluğu, derinlik ve kama açılırları (TS 6851). .....	20
Şekil 2.16. Şerit testerede normal veya standart diş (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005). ....	20
Şekil 2.17. Şerit testerede seyrek diş (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005). .....	21
Şekil 2.18. Şerit testerede kanca diş (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005). .....	21
Şekil 2.19. Çaprazlama ve toplam çaprazlama (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005). .....	22
Şekil 2.20. Aralıklı Ardışık Çaprazlama (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005). .....	23
Şekil 2.21. Dalgalandırma (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005). .....	23
Şekil 2.22. Ardışık Çaprazlama (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005). .....	23
Şekil 3.1. Taguchi metodu akış şeması .....	27
Şekil 4.1. Hızın etkisi (Ahmad vd.1988).....	30
Şekil 4.2. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki. ....	32
Şekil 4.3. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametreleri ile güç tüketimi arasındaki ilişki.....	32
Şekil 5.1. OZCO TA300 Mafsallı şerit testere tezgâhı (ozcomakina, 2025) .....	35
Şekil 5.2. Kesimi yapılacak numune ölçüleri .....	36
Şekil 5.3. Şerit testere .....	37
Şekil 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	39
Şekil 6.1. Deney numunesinin kesim esnasındaki görüntüsü.....	41
Şekil 6.2. Deney numunelerinin yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçümü.....	41
Şekil 6.3. S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği .....	43
Şekil 6.4. Ortalamalar için ana etkiler grafiği .....	44
Şekil 6.5. Normal olasılık grafiği .....	46
Şekil 6.6. Tahmini deneysel sonuçların karşılaştırıldığı regresyon modeli.....	48
Şekil 6.7. AISI/SAE 1040 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri .....	49
Şekil 6.8. AISI/SAE 4140 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri .....	49
Şekil 6.9. AISI/SAE 5120 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri .....	50

## TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Şerit Testere çeşitleri.....	14
Tablo 2.2. Farklı kalınlıktaki malzemeleri şerit testre ile kesmek için genel hatve tavsiyeleri (TS 6851). .....	22
Tablo 5.1. OZCO TA300 Mafsallı testere tezgâhı özellikleri .....	36
Tablo 5.2. DIN 1.0501 AISI/SAE 1040 Kimyasal bileşim (ağırlıkça %) .....	37
Tablo 5.3. DIN 1.7131 AISI/SEA 5120 Kimyasal bileşim (ağırlıkça %) .....	37
Tablo 5.4. DIN 1.7225 AISI/SAE 4140 Kimyasal bileşim (ağırlıkça %) .....	37
Tablo 5.5. Deney tasarım verileri ve seviyeleri.....	38
Tablo 5.6. Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri .....	38
Tablo 6.1. $L_9$ ortogonal dizilim kullanarak deney tasarımı ve deney sonuçları .....	40
Tablo 6.2. $L_9$ Ortogonal diziliminde $R_a$ için $S/N$ oranları .....	42
Tablo 6.3. Yüzey pürüzlülüğü faktörü ( $R_a$ ) için sinyal gürültü oranları için tepki tablosu .....	43
Tablo 6.4. Yüzey pürüzlülüğü faktörü ( $R_a$ ) için Ortalama tepki tablosu .....	44
Tablo 6.5. $S/N$ ANOVA Analiz sonuçları .....	45
Tablo 6.6. ANOVA Analizi model özeti güven seviyesi .....	45
Tablo 6.7. Regresyon denklemi.....	47
Tablo 6.8. Model özeti.....	47

**SİMGELER VE KISALTMALAR**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklamalar</u></b>
$V$	: Kesme Hızı (m/dak)
$f$	: İlerleme Hızı (mm/dak)
$Ra$	: Yüzey pürüzlülük değeri ( $\mu\text{m}$ )

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklamalar</u></b>
ANOVA	: Varyans analizi (Analysis of variance)
CNN	: Evrişimsel sinir ağı
$MDOF$	: Çoklu serbestlik dereceli
$PRESS$	: Predicted Residual Sum of Squares
$R-sq$	: R-kare (%)
$R-sq(adj)$	: Düzeltilmiş R-kare
$R-sq(pred)$	: Tahmin edici R-kare
$S$	: Tahmini standart hata
$S/N$	: Sinyal/gürültü oranı
TM	: Taguchi metodu
TS	: Türk standartları
YSA	: Yapay sinir ağı
3B	: Üçboyutlu

## 1. GİRİŞ

Şerit testere ile kesme işlemi, talaş kaldırarak şekillendirme yöntemleri arasında endüstride sıklıkla başvurulan ve üretim sürecinin ilk aşamalarından birini oluşturan önemli bir talaşlı imalat yöntemidir. Bu yöntem, ham malzemelerin şekillendirilerek hedeflenen ölçü ve yüzey kalitesine ulaştırılması açısından birçok sektörde tercih edilmektedir. Ürünlerin seri, hassas ve düşük maliyetli bir şekilde üretime hazır hâle getirilmesi, günümüz imalat sektörünün temel gerekliliklerinden biridir.

Rekabetçi ürün üretimi için imalat süreçlerinin sadeleştirilmesi ve nihai ürün kalitesinin artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, şerit testere ile kesilen iş parçalarının doğrudan mamul veya yarı mamul olarak kullanılabilir hâle getirilmesi, sonraki işlemlere duyulan ihtiyacı azaltarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlar. Kesme işlemi sırasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü, ürün kalitesini doğrudan etkileyen kritik bir parametredir. Şerit testere ile gerçekleştirilen kesme işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde malzeme türü, kesme hızı ve ilerleme miktarı gibi parametreler önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, iyi bir yüzey kalitesi elde edebilmek için uygun işleme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Üretim maliyetlerini düşürmenin etkili yollarından biri, üretim süreçlerini azaltmak ya da mevcut süreçlerde kullanılan kesme parametrelerini optimize etmektir. Bu kapsamda deneysel çalışmalar, en iyi performans sağlayacak parametrelerin belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Ancak klasik deney tasarımları, parametre sayısının artmasıyla birlikte hem zaman hem de maliyet açısından verimsiz hale gelebilir. Bu soruna çözüm olarak geliştirilen Taguchi yöntemi, daha az deney sayısı ile optimum sonuçlara ulaşmayı sağlayan sistematik ve etkili bir deney tasarım tekniğidir. Taguchi yöntemi, yalnızca performansı artıran parametre kombinasyonlarını belirlemekle kalmaz, aynı zamanda her bir faktörün süreç üzerindeki etkisini istatistiksel olarak da ortaya koyar. Bu yönüyle, deney süresini ve maliyetini önemli ölçüde azaltırken, ürün kalitesinin artırılmasına katkı sağlar.

Bu çalışmada, şerit testere tezgâhında üç farklı malzemenin, çeşitli kesme parametreleri altında işlenmesi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak minimum deney sayısı ile optimum kesme koşullarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalarda çoğunlukla tek bir malzeme türü üzerinde odaklanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise, aynı ürün grubunda yer alan ancak farklı mekanik özelliklere sahip malzemeler dikkate alınarak, ortalama ve uygulanabilir kesme parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır. Deney sonuçları ışığında, en uygun kesme

parametrelerinin belirlenmesi ve böylece minimum maliyetle mamul ürüne ulaşılması amaçlanmıştır.

### 1.1. Tezin Amacı

- Şerit testere tezgâhından çıkan ürünün, sonraki operasyonlar veya üretim aşamaları için en uygun ölçülerde ve yüzey hassasiyetinde işlenmesini sağlamak.
- Maliyetleri azaltmak amacıyla, testere sonrası yapılması muhtemel operasyonları minimize ederek, kesilen malzemenin doğrudan nihai ürün olarak kullanılabilen yeterli hassasiyetle işlenmesini temin etmek.
- Tezgâhın ideal kesme koşullarını belirleyerek, şerit testerelerinin ömrünü uzatmak ve bu makinelerin hizmet ömrünü en verimli şekilde kullanmak amacıyla optimum kesme parametrelerini tespit etmek.
- Şerit testerenin farklı metaller üzerinde kesme işlemine bağlı olarak hizmet ömrünün etkilerini analiz etmek.
- Farklı metal ve alaşımlarda şerit testere ile yapılan kesme işlemi sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin optimizasyonunu sağlamak.
- Doğal kaynakların korunması, madenlerin daha verimli kullanılması ve karbon salınımının azaltılması amacıyla, ham malzeme kullanımının etkinliğini artırarak daha sürdürülebilir üretim süreçleri oluşturmak.

### 1.2. Literatüre Katkısı

Kesme işlemiyle ilgili yapılan araştırmalar, kesici takım tasarımının kesme işlemine önemli ölçüde etki ettiğini, diğer parametrelerin ise doğru belirlenmemesi durumunda şerit testerenin hızla aşınmasına ve kötü yüzey pürüzlülüğü oluşmasına neden olacağını ortaya koymuştur. Kesilecek olan mamul veya yarı mamulün bir sonraki operasyonu ya da kullanım alanı göz önünde bulundurularak birçok parametre belirlenebilir. Ancak bu parametrelerin doğru bir şekilde tespit edilmesi için yalnızca teorik analizler yetersiz kalmakta olup, deneysel çalışmaların yapılması gerekmektedir. Kesme işleminde kullanılacak testere tezgâhı, şerit testerenin türü, diş sayısı ve tipi gibi bilinen veriler dikkate alınarak deneyler düzenlenmekte ve deneysel sonuçlar incelenmektedir. Elde edilen bulgular, istenilen yüzey pürüzlülüğüne ulaşmak amacıyla optimize edilmiştir.

Şerit testere tezgâhlarında kullanılan kesme parametreleri genellikle kesici takım üreticisi tarafından kataloglarla sunulmakta, ancak bu parametreler her üretim süreci ve müşteri için uygun olmayabilir. Bu sebeple, parametrelerin en uygun değerlerini belirleyebilmek için

yöntemler ve formüller geliştirilmesi, her kullanıcının kendi kesme parametrelerini özelleştirmesine olanak tanıyacaktır. Böylece, daha verimli takım tezgâhları ve kesici takımlar kullanılarak üretim maliyetleri düşürülecek ve istenilen yüzey hassasiyetine sahip mamul ya da yarı mamuller elde edilecektir.

Bu tez çalışması, şerit testere makinelerinde verimliliği ve ürün kalitesini artırmak amacıyla metaller, kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerinin optimum seviyesini belirlemeyi hedeflemiştir. Bu veriler doğrultusunda, tezin literatüre katkıları aşağıda sıralanmıştır:

- Şerit testere tezgâhında yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en ideal kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler, gerçekçi ve kolayca hesaplanabilir şekilde sunulmuştur.
- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri açıkça ortaya konmuş ve en ideal kesme koşulları optimize edilmiştir.
- Belirlenen parametreler ve yöntemler doğrultusunda, sanayi imalatı sırasında kesilecek mamul ve yarı mamul ürünleri üzerinde yapılacak olan deneme kesimlerinin sayısı minimuma indirilmiştir.
- Bu çalışma sonucunda elde edilen bilgiler, endüstriyel uygulamalarda şerit testere ile yapılan kesme işlemlerinin verimliliğini önemli ölçüde artırarak, imalat maliyetlerinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

### 1.3. Tezin Organizasyonu

Tez çalışmasının ilk bölümünde, şerit testere tezgâhlarının avantajları, sınırlamaları, uygulama yöntemleri ile şerit malzeme yapıları ve özellikleri hakkında genel bilgiler sunulmuştur. Bu bölümde, şerit testere teknolojisinin temel unsurları ve endüstrideki rolü ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

İkinci bölümde, literatürde şerit testere mekaniği üzerine yapılmış olan çalışmalar incelenmiş ve Taguchi yöntemi ile gerçekleştirilecek olan parametrik optimizasyon çalışmasının temel ilkeleri tartışılmıştır. Bu bölümde, kesme işlemi sırasında kullanılan parametrelerin optimizasyonu ile ilgili mevcut yaklaşımlar ve Taguchi yönteminin avantajları ele alınacaktır.

Son bölümde ise, şerit testere ile yapılacak deneysel çalışmalar ve kullanılacak yöntemler ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, numunelerden elde

edilen veriler toplanmış, analizler yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Bu bölümde, deneysel verilerin değerlendirilmesi ve elde edilen bulguların endüstriyel uygulamalardaki yeri üzerinde durulmuştur.



## 2. ŞERİT TESTERE VE TEZGÂHI

Şerit testere ile kesme işlemi, üzerinde küçük kesici ağızlara (dişlere) sahip sonsuz uzunlukta bir şeridin bir tahrik makarası ve boşta dönen diğer makaralar aracılığıyla tek yönde hareket etmesi ile gerçekleşir. Talaş kaldırma ile ilgili sadece bir kısmı açıkta olan bu şerit, düzenli bir kesme işlemi sağlamak için düzgün bir şekilde dağıtılmış tekil diş yükleri ile çalışır. Şerit testere ile kesim yapmak için farklı tezgâh tipleri mevcuttur. Şekil 2.1’de farklı şerit testere makineleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Şerit testere makineleri

Şerit testere ile gerçekleştirilen kesme işlemi; sürekli kesim yapabilme yeteneği, yalnızca tek yönde çalışması, şeridin doğrultulması ve uygun şekilde gerdirilmesi gerekliliği gibi karakteristikleriyle, diğer konvansiyonel şerit testere ile kesme yöntemlerinden ayrılmaktadır. Bu özellikler şerit testereye, lama ve dairesel testere sistemleriyle gerçekleştirilemeyen karmaşık kesim yollarını izleme imkânı da tanıyabilmektedir. Şerit üzerindeki dişler, kesme işlemi makaslama etkisiyle gerçekleştirmekte ve düzenli, homojen talaş kaldırımı sağlayarak kesme verimliliğini artırmaktadır (Dikenoğlu, 2005).

### 2.1. Şerit Testere Tezgâhı Özellikleri

Şerit testere tezgâhları, hassas kesim yapabilme kapasitesi sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Üretim atölyelerinden hobi atölyelerine kadar, çeşitli sektörlerde tercih edilmektedir. Bu tezgâhlar, sürekli ve ince bıçak yapısı sayesinde düz, eğri ve karmaşık şekillerin yüksek hassasiyetle kesilmesine olanak tanır (Aran Makina).

Şerit Testere Tezgâhlarının Temel Özellikleri:

- Kesim Kapasitesi: Şerit testere tezgahları, bıçağın genişliği ve uzunluğuna bağlı olarak farklı malzeme kalınlıkları ve boyutları üzerinde etkili bir şekilde çalışabilir. Geniş bıçaklar, daha ağır ve kalın malzemeler için uygundur, dar bıçaklar ise daha karmaşık ve kavisli kesimler için idealdir.
- Kesim Hızı ve Kontrolü: Şerit testere tezgahları, kullanıcıların malzemenin türüne ve kesimin gereksinimlerine göre hız kontrolü yapabilmelerini sağlar. Özellikle metal kesiminde, hız kontrolü önemlidir; çünkü bu malzemeler aşırı ısındığında veya bıçak hızla aşındığında verimli kesimler yapmak zordur.
- Dayanıklılık ve Stabilite: Bu makineler, sağlam yapıları sayesinde titreşimi minimize eder ve kesim sırasında bıçağın stabilitesini sağlar. Bu özellik, düzgün ve kaliteli kesimler elde edilmesini sağlar.
- Güvenlik Özellikleri: Modern şerit testere tezgahları, operatör güvenliğini sağlamak amacıyla koruyucu kapaklar, acil durdurma butonları ve bıçak kılavuzları gibi güvenlik unsurlarıyla donatılmıştır. Bu sayede, operatörlerin iş kazalarından korunması ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturulması mümkün olur.
- Çeşitli Malzemelerle Uyumluluk: Şerit testere tezgahları, uygun bıçak türleri ile ahşap, metal, plastik ve kompozit malzemeler gibi çeşitli materyallerin kesilmesine olanak tanır. Bu çok yönlülük, kullanıcıların farklı projelerde tek bir tezgahı kullanmalarını sağlar.

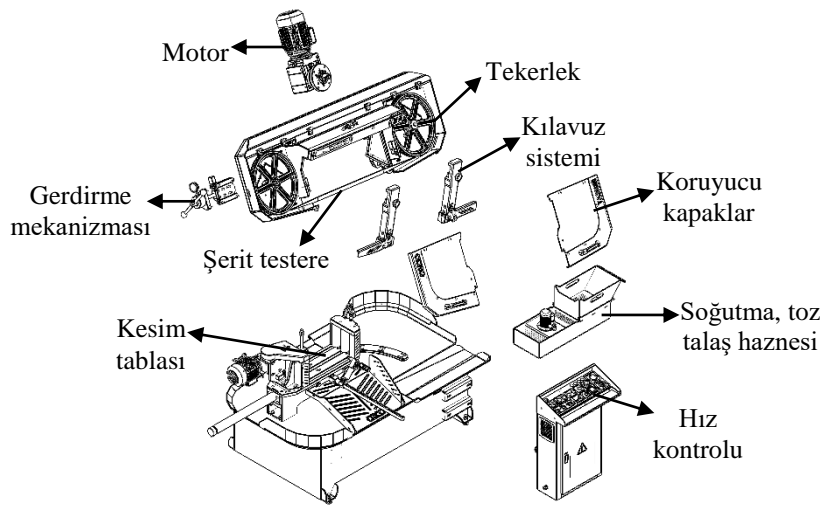
Bu özellikler, şerit testere tezgahlarını hem profesyonel hem de hobi amaçlı kullanıcılar için vazgeçilmez bir araç haline getirmektedir.

## 2.2. Şerit Testere Tezgahı Bileşenleri

Şerit testere tezgahları, farklı malzemelerin kesilmesinde kullanılan çeşitli bileşenlerden oluşur. Her bir bileşen, makinenin verimli ve güvenli çalışmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir. Şerit testere tezgahının ana bileşenleri şu şekildedir:

- Şerit Testere: Şerit testerenin ana kesim elemanıdır. Malzeme türüne göre farklı genişlikte ve diş yapısına sahip olabilir. Bandın düzgün çalışabilmesi için doğru gerginlik ve hizalama çok önemlidir.
- Tekerlekler: Testere bandının hareketini sağlayan iki ana tekerlek bulunur: üst ve alt tekerlek. Bu tekerlekler, testere bandının sürekli bir döngü içerisinde hareket etmesine olanak tanır.

- Kılavuz Sistemleri: Testere bandının düzgün hareket etmesini ve titreşimlerin minimize edilmesini sağlayan kılavuzlar ve rulmanlar, makinenin doğruluğunu ve kesim kalitesini korur. Hem üst hem de alt kılavuzlar, testere bandının hassas hareketini sağlar.
- Kesim Tablası: Malzemenin kesim sırasında yerleştirildiği yüzeydir. Genellikle ayarlanabilir açığa sahip olan bu tabla, farklı açıyla kesim yapabilmeyi mümkün kılar.
- Motor: Testere bandını hareket ettiren güç kaynağıdır. Motorun gücü, tezgahın kesme kapasitesini doğrudan etkiler ve bu nedenle kesim verimliliği üzerinde büyük bir rol oynar.
- Hız Kontrolü: Farklı malzemeler için uygun kesim hızını ayarlamak amacıyla kullanılan bir bileşendir. Hız kontrolü, kesim işleminin verimliliğini ve doğruluğunu artıran kritik bir özelliktir.
- Gerdirme Mekanizması: Testere bandının gerginliğini ayarlayan mekanizmadır. Bandın doğru gerginlikte olması, düzgün ve güvenli kesimlerin yapılabilmesi için zorunludur.
- Koruyucu Kapaklar ve Güvenlik Özellikleri: Operatörün testere bandına doğrudan temasını engelleyen kapaklar ve acil durum durdurma düğmesi gibi güvenlik önlemleri, kullanıcı güvenliğini artıran önemli bileşenlerdir.
- Soğutma Haznesi, Toz ve Talaş Toplayıcı: Kesim sırasında oluşan ısıyı minimize etmek ve talaş ile tozun toplanmasını sağlamak amacıyla kullanılan sistemdir. Bu sistem, çalışma alanının temiz kalmasını sağlar ve operatörün görüş alanını iyileştirir.



Şekil 2.2. Şerit testere tezgâhı kısımları

Bu bileşenler, şerit testere tezgahlarının işlevselliği ve kullanıcı güvenliği açısından belirleyici bir öneme sahiptir. Şerit testere tezgahı, farklı malzeme türlerinin yüksek hassasiyetle kesilmesini sağlamak amacıyla tasarlanmış çok yönlü bir makinadır. İşlevsel yapısı ve çeşitli özellikleri sayesinde, farklı sektörlerde ve uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

### 2.3. Şerit Testere Tezgahı Kullanım Biçimleri

- **Düz ve Eğri Kesimler:** Şerit testere tezgahı, düz kesimlerin yanı sıra kavisli ve karmaşık kesimlerin yapılabilmesi için de uygundur. İnce ve sürekli hareket eden bıçağı sayesinde, yüksek hassasiyetle detaylı kesimler gerçekleştirilmesine olanak tanır.
- **Hızlı ve Hassas Kesim:** Şerit testerenin hız kontrolü ve ince bıçağı, malzemelerin hızlı ve hassas bir şekilde kesilmesini sağlar. Bu özellik, özellikle seri üretim yapan atölyeler için önemli bir avantaj sunar.
- **Malzeme Çeşitliliği:** Şerit testere tezgahı, ahşap, metal, plastik ve kompozit malzemeler gibi çeşitli materyallerde kesim yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu çok yönlülük, farklı projelerde ve sektörlerde aynı makinenin kullanılmasını mümkün kılar.

### 2.4. Şerit Testere Tezgahı Kullanım Alanları

İmalat sektörünün farklı alanlarında kullanılan şerit testere tezgâhları, malzeme çeşitliliğine uygunluğu ve yüksek hassasiyetle kesim yapabilme yetenekleri sayesinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Genel olarak kullanım alanlarından bazıları şunlardır:

- **Ahşap İşleme Atölyeleri:** Ahşap ürünlerin kesiminde yüksek hassasiyet gerekliliği nedeniyle, ahşap işleme atölyeleri ve marangozlar şerit testere tezgahlarını sıklıkla tercih etmektedir. Bu tezgahlar, özellikle mobilya üretimi ve dekoratif detayların işlenmesinde idealdir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Ahşap şerit testere tezgâhı (Detroitbandsaw, 2025)

- Metal İşleme Sanayi: Metal kesme ve şekillendirme süreçlerinde şerit testere tezgâhı önemli bir rol oynamaktadır. İnce metal plakaların veya profillerin kesilmesinde, bu tezgahlar yüksek verimlilik ve hassasiyet sunar (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Metal şerit testere tezgâhı (Factorneed, 2025)

- Prototip Üretimi: Prototip ve model üretimi yapan atölyelerde, farklı malzemeler üzerinde hızlı ve hassas kesimler yapmak için şerit testere tezgahları kullanılır. Bu makineler, prototip üretim süreçlerinde yüksek doğruluk sağlar (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Özel parçaların kesimi (Hnmagazine, 2025)

- Sanat ve El Sanatları: Karmaşık ve detaylı şekillerin kesilmesi gereken sanat ve el sanatları alanlarında, şerit testere tezgahları tercih edilmektedir. Özellikle heykeltıraşlar ve hobi amaçlı kullanıcılar için son derece kullanışlıdır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Sanatsal ve karmaşık şekillerin kesimi (İstockphoto, 2025)

- İnşaat ve Yapı Sektörü: İnşaat sektöründe, ahşap ve metal yapısal elemanların kesiminde şerit testere tezgahları yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yapı profilleri kesiminde şerit testere (İstockphoto, 2025)

Bu çok yönlü makineler, hassas kesim yetenekleri, yüksek hız ve farklı malzemelerdeki kullanım esneklikleri sayesinde birçok sektör için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir.

## 2.5. Şerit Testere Tezgahı Çeşitleri

Şerit testere tezgahları, farklı sektörlerin ve uygulamaların ihtiyaçlarına göre çeşitli boyutlar ve özelliklerle üretilmektedir. Her bir tezgah türü, belirli kesim gereksinimlerini karşılamak üzere özelleştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan şerit testere tezgahı çeşitleri şunlardır:

- Dikey Şerit Testere Tezgahı: Bu tür tezgahlarda testere bandı, dikey bir ekseninde döner. Genellikle ince işçilik gerektiren ahşap ve metal kesimi için kullanılır. Kesim işlemi sırasında malzeme, hareketli bir tablaya yerleştirilir ve testere bandına doğru ilerletilir. Dikey şerit testere tezgahları, özellikle hassas ve detaylı kesimler için tercih edilmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Dikey şerit testere tezgâhı (Takimmarket, 2025)

- Yatay Şerit Testere Tezgahı: Yatay şerit testere tezgahlarında, testere bandı yatay olarak döner. Bu tezgahlar, genellikle kalın metal çubuklar veya borular gibi ağır malzemelerin hızlı ve hassas bir şekilde kesilmesinde kullanılır. Yatay tezgahlar, iş parçalarını yatay olarak keser ve geniş kesme kapasitesiyle öne çıkar (Şekil 2.9).



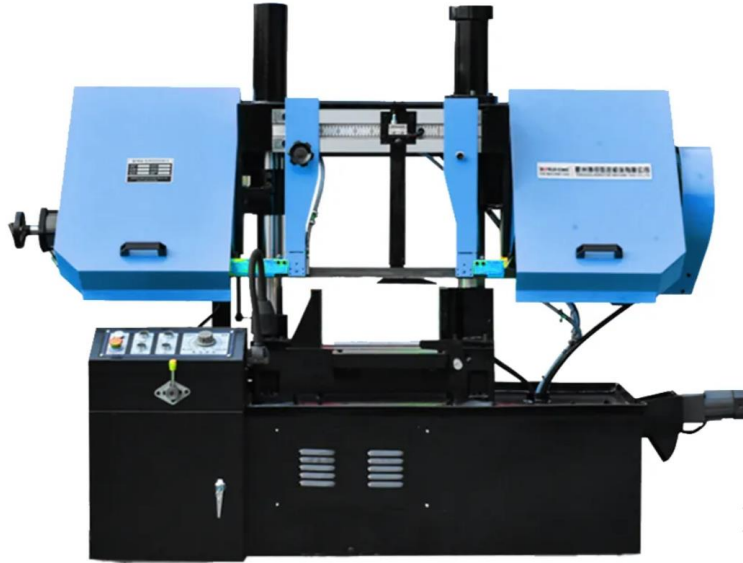
Şekil 2.9. Yatay şerit testere tezgahı (Chenlongbandsaw, 2025)

- Mobil Şerit Testere Tezgahı: Taşınabilir şerit testere tezgahları, küçük boyutları ve hafif yapılarıyla bilinir. Bu tür tezgahlar, genellikle saha çalışmalarında veya hobi amaçlı kesimlerde tercih edilmektedir. Mobil yapıları sayesinde farklı yerlerde kullanılabilir ve basit projelerde işlevseldir (Şekil 2.10).



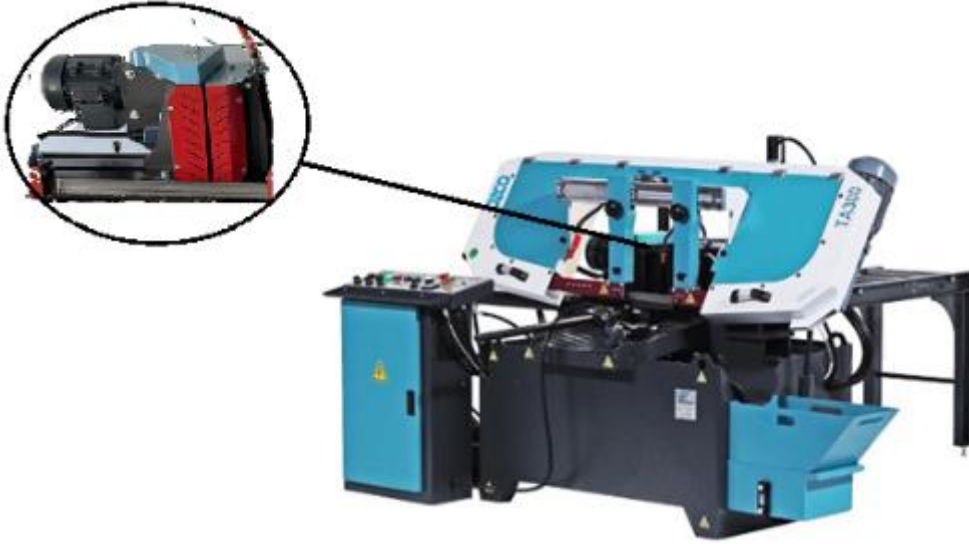
Şekil 2.10. Mobil, taşınabilir şerit testere tezgâhı (Ozcomakina, 2025)

- Çift Kolonlu Şerit Testere Tezgâhı: Endüstriyel uygulamalar için tasarlanmış olan çift kolonlu şerit testere tezgâhları, ağır hizmet kesimleri için uygundur. Bu tezgahlar, yüksek dayanıklılık ve hassasiyet sunarak kalın metal veya ahşap bloklarının kesilmesinde kullanılır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Çift kolonlu şerit testere tezgâhı (Boruimc, 2025)

- Otomatik Şerit Testere Tezgâhı: Tam otomatik çalışma sistemine sahip bu tür tezgahlar, seri üretim gerektiren işlerde kullanılır. Malzeme beslemesi, kesim ve çıkış işlemleri otomatik olarak gerçekleştirilir. Yüksek verimlilik ve hassasiyet gerektiren üretim hatlarında tercih edilmektedir (Şekil 2.12).









Şekil 2.12. Tam otomatik şerit testere tezgâhı (ozcomakina, 2025)

Bu çeşitlilik, şerit testere tezgâhlarının kullanıcıların farklı kesim ihtiyaçlarına etkili bir şekilde yanıt vermesini sağlar. Her bir tezgah türü, belirli bir uygulama için optimize edilmiş olup, kullanıcılarına yüksek verimlilikle çalışabilme olanağı sunmaktadır.

## 2.6. Şerit Testere Çeşitleri

Şerit testere kesici çeşitleri, farklı malzemeleri kesmek için tasarlanmış ve çeşitli kesme işlemleri için uygun olan bıçak tiplerinden oluşur. Şerit testere bıçakları, kullanım amacına göre farklı özelliklere sahip olabilir. Tablo 2.1’de yaygın kullanılan şerit testere kesici çeşitlerinden bazıları verilmiştir.

Tablo 2.1 Şerit Testere çeşitleri

Şerit Testere Türü	Resim	Kullanım Alanı	Özellikleri	Avantajları
Karbon çelik şerit testereler		Hafif ve orta derecede sert malzemelerin kesimi	Esnekliği yüksektir, çelikten yapılmıştır, aşındırıcı malzemelere karşı dayanıksız	Düşük maliyetli, kolay şekil verilebilir
Bimetal şerit testereler		Orta ve yüksek sertlikteki malzemelerin kesimi	Karbon çelik + HSS birleşimi ile yapılır, esneklik ve dayanıklılık sağlar	Yüksek verimlilik, uzun ömür, sert malzemelere karşı dayanıklıdır
HSS (Yüksek Hızlı Çelik) testereler		Sert çelik ve alaşımlı malzemelerin kesimi	Yüksek sıcaklığa dayanıklı, uzun ömürlü	Yüksek performans sağlar, ancak pahalı
Karbür dişli şerit testereler		Sert metaller, alüminyum ve alaşımların kesimi	Dişleri karbür kaplıdır, ömür uzun, kesme performansı yüksek	Yüksek kesme hızı, aşındırıcılara karşı dayanıklı
Çelik dişli şerit testereler		Genel kesim işlemleri	Çelik dişli; esnek ve dayanıklı	Düşük maliyetli, standart kesimlerde uygun
Boru ve profil kesim şerit testereler		Boru ve profillerin kesimi	İnce ve sağlam diş yapısı, dar alanlarda kesim için uygun	Dar alanlarda rahat kesim yapılabilir

## 2.7. Şerit Testere ile Kesme İşlemenin Avantajları

Şerit testere ile kesmenin birçok avantajı bulunmaktadır. İlk olarak, şerit testere bıçaklarının ince yapısı, kesme payını azaltarak malzeme israfını en aza indirir. Bu da kesim işlemi sırasında daha az talaş çıkmasını sağlar. Ayrıca, şerit testere yüksek kesim doğruluğu sunar ve hassas ölçü gerektiren işler için ideal bir tercihtir. Kesim sırasında daha az enerji tüketimi sağlanır, bu da enerji verimliliğini artırır. Şerit testere, metaller, plastikler, ahşap, kompozitler gibi farklı malzemelerle uyumlu olup, farklı diş geometrilerine sahip bıçaklar ile uyarlanabilir. Sürekli döngüyle çalışan bıçak yapısı, uzun kesimlerde daha hızlı ve düzgün sonuçlar elde edilmesini sağlar. Bunun yanında, dikey şerit testere, kavisli ve şekilli kesimlerde de kullanılabilir, bu da onları mobilya üretimi ve model yapımı gibi alanlarda oldukça popüler kılar. Şerit testere makineleri, disk testereye kıyasla daha az gürültü çıkarır ve titreşim seviyesi daha düşüktür, bu da hem makinelerin ömrünü uzatır hem de kullanıcı konforunu artırır.

Daha az miktarda talaş üretme yeteneği, şerit testere ile kesme yöntemini üç temel kesme tekniği arasında malzeme ve enerji açısından en verimli hale getirmektedir. Şerit testere, lama ve dairesel testere sistemlerine kıyasla daha dar kesme genişlikleri oluşturarak hem enerji tüketimini azaltmakta hem de kesim esnasında biçimsel malzeme kaybını en aza indirmektedir. Bu durum, üretim süreçlerinde maliyet etkinliği ve kaynak kullanımında sürdürülebilirlik sağlamaktadır (Dikenoğlu, 2005).

## 2.8. Şerit Testere ile Kesmenin Sınırlamaları Dezavantajları

Şerit testere ile kesme işleminde karşılaşılan dezavantajlar aşağıda sıralanmıştır:

- **Kesme Hızı ve Verimlilik:** Şerit testere, özellikle kalın ve sert malzemeleri keserken, genellikle daha yavaş kesim hızlarına sahiptir. Bu, özellikle büyük hacimli üretim süreçlerinde daha düşük verimlilik anlamına gelebilir.

Yüksek hızda kesim yaparken bıçağın ısınması, kesim hızını sınırlayabilir.

- **Yüzey Kalitesi:** Şerit testere, talaş kaldırma yöntemiyle kesim yaptığı için, kesilen yüzey çok düzgün olmayabilir. Çoğu durumda, yüzeyde pürüzlülük veya çatlama gibi deformasyonlar oluşabilir.

Yüzey kalitesinin yüksek olması isteniyorsa, ek bir işlem gereklidir, örneğin taşlama veya zımparalama.

- Esneklik ve Kavisli Kesim: Şerit testere bıçakları, düz ve uzun kesimler için uygundur ancak kavisli kesimler yapmak daha zordur. Bu tür kesimler için daha fazla deneyim ve dikkat gereklidir.

Bazı şerit testere makineleri kavisli kesimler için özel olarak tasarlanmış olsa da, hala belirli geometrilerle sınırlıdır.

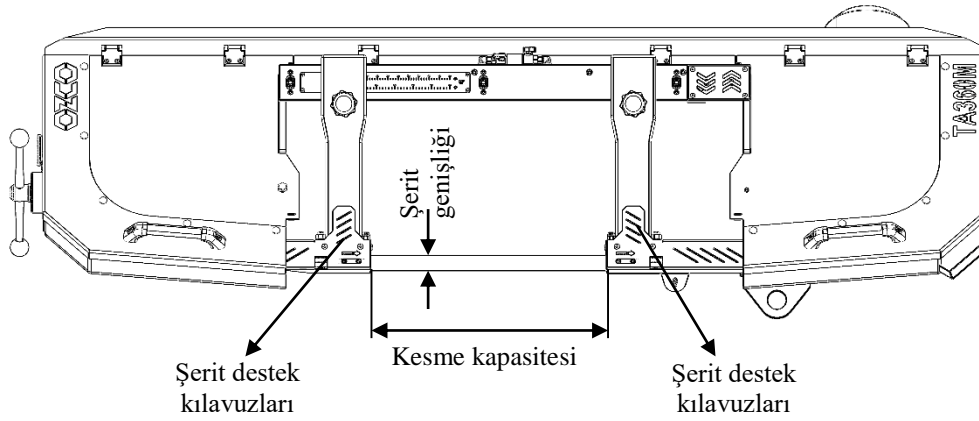
- Isınma Sorunu: Isı birikmesi, özellikle çok sert malzemeler veya yüksek hızla yapılan kesimlerde problem olabilir. Bu, bıçağın ve malzemenin deformasyonuna yol açabilir. Aksi takdirde, bıçağın ömrü kısalsabilir.
- Maliyet ve Bakım: Şerit testere makineleri genellikle daha yüksek bakım maliyetlerine sahiptir. Bıçaklar düzenli olarak gizli bıçak dişi arızaları veya gerilme sorunları gibi bakımlar gerektirir.

Şerit testere makinelerinin kurulumu ve ayarı, deneyim gerektirir ve yanlış kullanıldığında verimliliği düşürebilir.

- Çeşitli Malzemelerde Uygulama Sınırlamaları: Şerit testere bıçakları, çok sert veya çok gevşek malzemeleri keserken bazen verimsiz olabilir. Örneğin, yumuşak metaller veya plastikler kolayca sıkışabilir ve malzemenin düzgün şekilde kesilmesini engelleyebilir.
- Büyük Boyutlu Parçalar: Çok büyük veya ağır parçaların kesilmesi, şerit testere makinelerinin kapasitesine bağlı olarak sınırlıdır. Bu tür parçalar için daha güçlü makineler gerekebilir.

## 2.9. Şerit Testere Rijitliği ve Kesme Kapasitesi İlişkisi

Şerit testere ile kesmede kullanılan şeridin rijitliği, testere kılavuzları arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte azalır. Ancak, bu rijitlik kaybı, kesme oranlarında orantılı bir azalma yaratmaz. Alaşımli çelik gibi malzemelerde, kesme genişliği 51 mm'ye kadar olan desteklenmemiş şeritlerle 1320 mm'ye kadar verimli bir şekilde kesim yapılabilirken, desteklenmiş şeritler ile bu kesme genişliği 1575 mm'ye kadar çıkarılabilir. Bu şerit testerinin esnekliğinin ve rijitliğinin malzeme kesme kapasitesini nasıl etkileyebileceğini gösteren önemli bir parametredir (Dikenoğlu, 2005).



Şekil 2.13. Şerit testere kesme kapasitesi

## 2.10. Şerit Testere ile Kesme Hassasiyeti ve Yüzey Pürüzlülüğü

Birçok şerit testere üreticisi tarafından belirtilen tipik şerit testere ile kesme hassasiyeti, her inçlik kesim başına  $\pm 0,05$  mm olarak kabul edilmektedir. Bu tolerans, genel anlamda standart olarak kabul edilse de, farklı uygulamalara bağlı olarak birçok değişken bulunduğundan, daha yakın toleranslar çoğu durumda elde edilebilmektedir. Şerit testere kullanılarak elde edilen yüzey pürüzlülüğü genellikle  $11,4-12,7 \mu\text{m}$  arasında olmakla birlikte, daha düzgün yüzeyler elde etmek için daha yavaş ilerleme hızları, daha ince hatveli şeritler, daha yüksek şerit hızları ya da bu parametrelerin bir kombinasyonu kullanılabilir (Dikenoğlu, 2005).

## 2.11. Şerit Testere Seçiminde Dikkate Alınması Gereken Faktörler

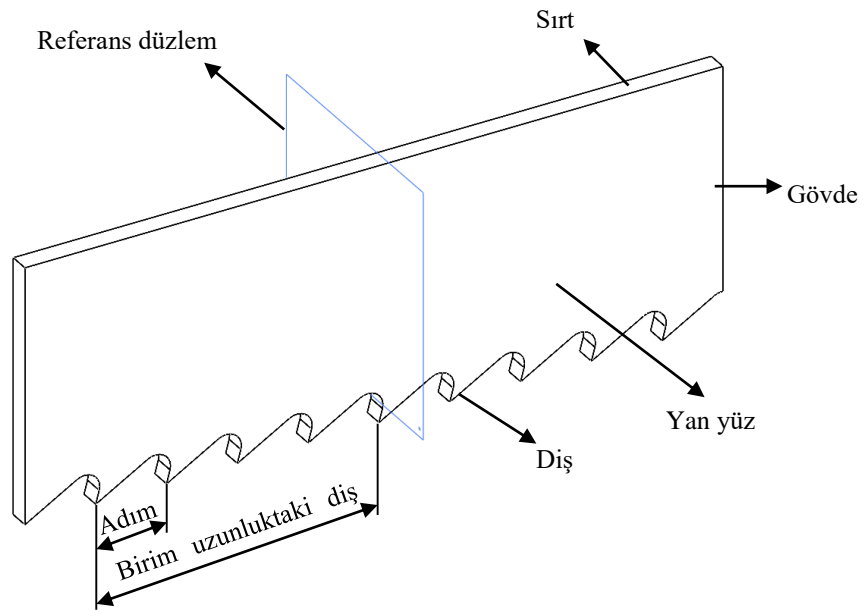
Belirli bir uygulama için doğru şerit tipinin seçimi, kesme verimliliği ve kalitesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Şerit seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken temel faktörler aşağıda sıralanmıştır.

- Kesilecek Malzeme Türü ve Sertliği: Malzemenin türü ve sertliği, dış formunu ve kullanılacak şeridin bileşimini belirlemede etkili olan başlıca faktördür.
- Kesilecek Parça Boyutu ve Kesitteki Değişkenlikler: Parça boyutu ve kesitindeki değişiklikler, gerekli dış hatvesini belirler.
- Kesme Tipi: Düz kesme, çevresel kesme veya her iki işlemi birden gerektiren durumlar, şeridin seçimi üzerinde belirleyici faktörlerdir. Özellikle küçük yarıçaplı kesimlerde şerit genişliği sınırlayıcı bir unsur olacaktır.
- Tezgâh Türü ve Durumu: Kullanılacak tezgâhın türü ve durumu, imalat gereksinimlerini karşılayacak şekilde şerit seçiminde önemli bir rol oynar.

- Kesme Sıvısı Kullanımı: Kesme sıvısının kullanılıp kullanılmayacağı, şerit tipi ve kesme koşullarını etkileyecek bir faktör olarak değerlendirilmelidir.

## 2.12. Şerit Testerenin kısımları

Şerit testere, iki ucu birleştirilmiş çelik bir şerit üzerinde, bir kenarı dişli olarak tasarlanmış bir kesme aracıdır ve genellikle metal kesme işlemleri için kullanılır. Farklı uygulamalara yönelik olarak, çeşitli diş geometrisi ve sertliğine sahip dişli şeritler, klasik şerit şerit testere ile kesme yöntemlerinde tercih edilmektedir. Şerit testerelerin genel kabul görmüş terimleri, ilgili standartlara (TS 6851) göre tanımlanmış olup, bu terimler Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'da ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Şerit testereler ile ilgili olarak kullanılan terimler (TS 6851).

### 2.12.1. Şerit Testere Kısımları ile İlgili Terimler:

**Gövde:** Şerit testerenin, talaş boşluğunun bittiği yer ile sırtı arasında kalan kısmıdır.

**Dişler:** Kesici kenarları meydana getirmek amacıyla şeridin bir kenarına açılmış, genellikle üçgen şeklinde formlardır. Bu dişler, kesme işlemi sırasında malzemenin kesilmesine olanak tanır.

**Dişli Kenar:** Üzerine dişlerin açıldığı kenardır. Bu kenar, şeridin işlevsel kesim kısmını oluşturur.

**Sırt:** dişsiz kenarın bulunduğu düzlemdir. Bu alan, şeridin stabilğini sağlamak için önemlidir.

**Yan Yüz:** Sırt ile dişli kenar arasında kalan düz yüzeydir. Bu yüzey, şeridin kesim özelliklerini etkileyen önemli bir parametredir.

**Genişlik:** Genişlik, diş ucundan sırtına kadar olan mesafeyi ifade eder. Bu mesafe, şeridin kesme kapasitesini belirleyen önemli bir ölçüdür.

**Kalınlık:** Kalınlık, gövdenin iki yan yüzü arasındaki mesafedir. Bu parametre, şeridin dayanıklılığı ve kesme gücünü etkileyen bir faktördür.

### **2.12.2. Şerit Testere Dişlerin Özelliklerine Dair Terimler:**

**Adım (Pitch):** Bitişik dişlerin uç noktaları arasındaki mesafe olarak tanımlanır ve genellikle milimetre (mm) cinsinden ifade edilir (Şekil 2.14).

**Birim Uzunluktaki Diş Sayısı:** Bu terim, 25,4 mm (1 inç) uzunluğunda bir kesitte bulunan toplam diş sayısını belirtir (Şekil 2.14).

**Talaş Yüzeyi (Chip Surface):** Dişin üzerinde malzemenin kesildiği yüzeydir (Şekil 2.15).

**Kesici Kenar (Cutting Edge):** Diş sırtı ile talaş yüzeyi arasında kalan ve kesme işleminin gerçekleştirildiği kenardır (Şekil 2.15).

**Derinlik (Tooth Depth):** Dişin kesici kenarından, dişin en alt noktasına kadar ölçülen dikey mesafedir (Şekil 2.15).

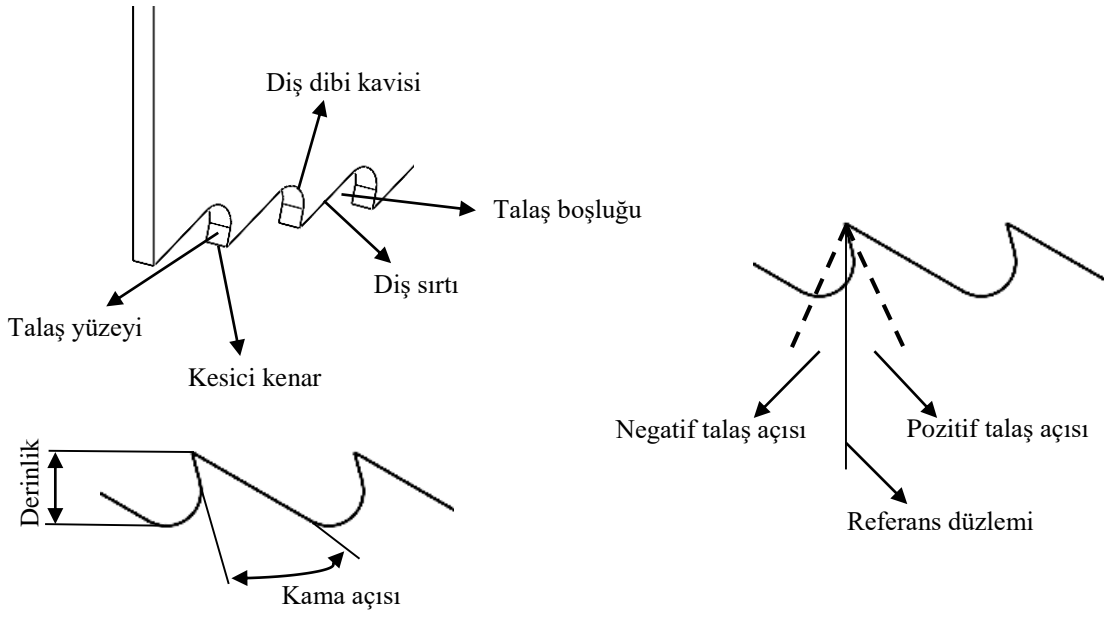
**Diş Sırtı (Tooth Back):** Dişin talaş yüzeyinin ters tarafında yer alan yüzeydir (Şekil 2.15).

**Diş Dibi Kavisi (Tooth Root Curve):** Bir dişin talaş yüzeyi ile bir önceki dişin sırtını birleştiren kavisli yapıdır (Şekil 2.15).

**Talaş Boşluğu (Chip Space):** İki diş arasındaki boşluk, talaş kaldırılmasına olanak tanır. Bu alan, talaş yüzeyi, diş dibi kavisi ve diş sırtının birleşimi ile şekillenir (Şekil 2.15).

**Kama Açısı (Rake Angle):** Çaprazlanmamış bir dişin diş sırtı ile talaş yüzeyi arasındaki açı, kesme verimliliğini etkileyen önemli bir parametredir (Şekil 2.15).

**Referans Düzlemi (Reference Plane):** Testere sırtına dik olan ve kesici kenar üzerinden seçilen bir noktadan geçen düzlemdir (Şekil 2.15).



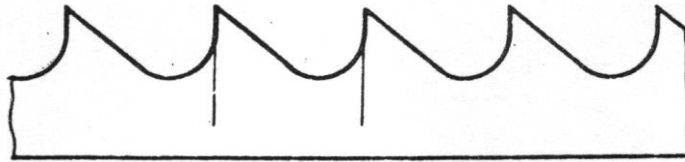
Şekil 2.15. Bir şerit testerede talaş yüzeyi, kesici kenar, diş dibi kavisi, diş sırtı, talaş boşluğu, derinlik ve kama açıları (TS 6851).

**Talaş Açısı (Clearance Angle):** Çaprazlanmamış bir dişin referans düzlemi ile talaş yüzeyi arasındaki açıdır ve bu açı, talaşın düzgün bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlar (Şekil 2.15).

### 2.13. Şerit Testere Diş Geometrileri

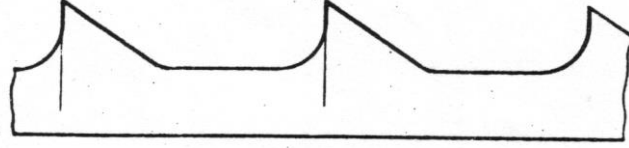
Diş geometrisi, üç ana tipe ayrılır: standart (normal), seyrek ve kanca diş.

**Standart diş:** sıfır derece talaş açısı ile karakterize edilir ve düzgün bir yarıçapla yuvarlatılmış talaş boşluğu bulunur (Şekil 2.16). Standart dişli şeritler, çok yönlülük açısından en yüksek verime sahip olanlardır ve karmaşık çevre işleme ile düz kesim işlemleri için önerilir. Ayrıca düzgün yüzeyler elde etmek, ince parçaları kesmek ve küçük yarıçapları işlemek için de sıklıkla kullanılırlar. Bu diş biçimindeki testereleler, dalgalı diş yapısına sahip olabileceği gibi, ardışık veya aralıklı ardışık şekilde çaprazlanabilirler.



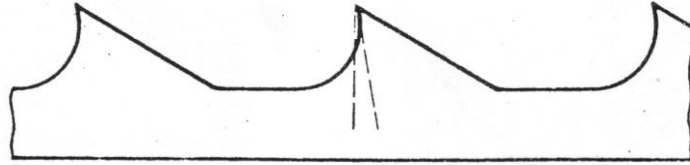
Şekil 2.16. Şerit testerede normal veya standart diş (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005).

**Seyrek diş:** standart dişle benzer bir yapıya sahip olup, daha fazla talaş kaldırabilmek amacıyla her bir diştten çıkarılarak talaş boşluğu artırılmıştır (Şekil 2.17). Bu tip dişler, özellikle demir dışı metallerin, plastiklerin ve ahşabın yüksek hızlarla kesimi için tercih edilir. Seyrek dişli testerelelerde, daha büyük diş derinliği kullanılmadan daha geniş bir diş boşluğu sağlanmıştır, bu da kesme verimliliğini artırır.



Şekil 2.17. Şerit testerede seyrek diş (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005).

**Kanca diş:** talaş açısının pozitif olmasının dışında seyrek dişle tamamen aynı yapıya sahiptir (Şekil 2.18). Bu tip dişler de benzer şekilde genişletilmiş bir talaş boşluğuna sahip olup, üreticiye, şerit tipine ve uygulamaya göre değişebilen pozitif talaş açısına sahip olabilir. Pozitif talaş açılı dişler, iş parçasını daha kolay bir şekilde içine çeker, bu da talaş açısız dişlere kıyasla daha küçük ilerleme basıncıyla kesim yapılmasını sağlar (Dikenoğlu, 2005).



Şekil 2.18. Şerit testerede kanca diş (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005).

#### 2.14. Şerit Testere Seçim Kriteri

Şerit testere genişliği, diş ucu ile sırt yüzeyi arasındaki mesafenin artmasıyla birlikte şeridin kiriş dayanımını güçlendirir ve daha düzgün kesimler elde edilmesini sağlar. Geniş şeritler, düz kesimler için tercih edilmelidir. Çevresel işlemede ise şerit genişliği, kesilecek en küçük yarıçapla sınırlıdır. Şerit genişlikleri 1,6 mm ile 76 mm arasında değişim göstermektedir. Şeridin kalınlığı arttıkça, dayanım da orantılı olarak artar. Şerit genişliği, tezgâh kapasitesi veya kesilecek yarıçapla sınırlı olduğunda, daha kalın şeritlerin kullanımıyla dayanım artırılabilir. Farklı kalınlıklarda şeritler temin edilebilmektedir. Kullanılacak hatve ya da birim uzunluktaki diş sayısı, genellikle kesilecek malzemenin kalınlığına göre belirlenir. İnce malzemeler için küçük hatveli (birim uzunluktaki diş sayısının fazla olduğu) şeritler, kalın malzemeler için ise

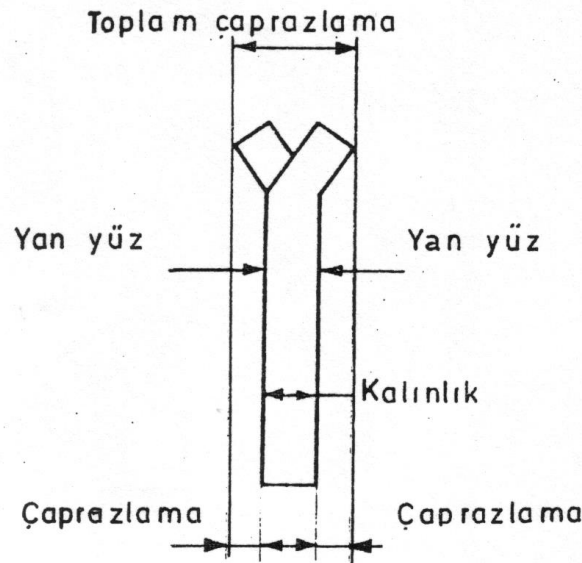
kaba hatveli şeritler kullanılması gereklidir. Farklı kalınlıkta malzemelerin testereyle kesilmesinde kullanılacak şerit hatvelerine dair genel öneriler, Tablo 2.2’de sunulmuştur.

Tablo 2.2. Farklı kalınlıktaki malzemeleri şerit testre ile kesmek için genel hatve tavsiyeleri (TS 6851).

Malzeme kalınlığı	Birim uzunluktaki diş sayısı
25,4mm’den daha az	10 veya 14
25,4-76,2 mm	6-8
76,2-152,4 mm	4-6
152,4-304,8 mm	2 ya da 3
304,8mm ve üzeri	1,5-3

### 2.15. Şerit Testere Diş Yerleşim Tipleri

Şerit testerelede çaprazlama, kesme boşluğu oluşturmak ve malzeme sıkışmasını engellemek amacıyla dişlerin şerit yan yüzlerinden sapma mesafesini ifade eder. Toplam çaprazlama, zıt yöndeki çaprazlanmış dişlerin en dış noktaları arasındaki mesafeyi tanımlar ve bu mesafe, kesim genişliğini belirler (Şekil 2.19).

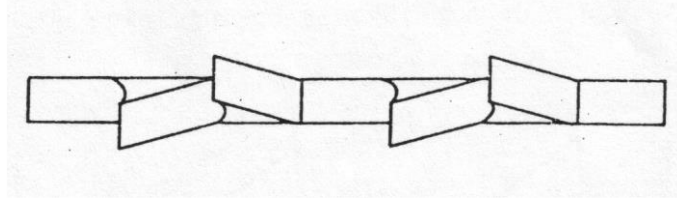


Şekil 2.19. Çaprazlama ve toplam çaprazlama (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005).

En yaygın üç tür çaprazlama aşağıdaki gibi sıralanabilir:

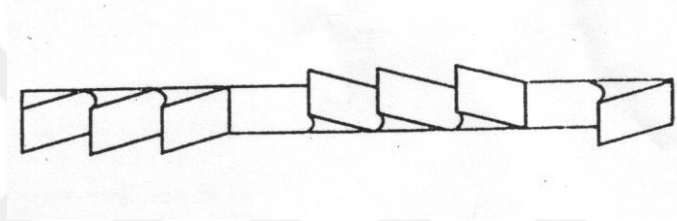
**Aralıklı Ardışık Çaprazlama:** Dişlerin biri sağa, diğeri sola çaprazlanmasının ardından her üçüncü dişin çaprazlanmadan bırakılmasıyla gerçekleştirilen ardışık çaprazlama

şeklidir (Şekil 2.20). Sabit kesit alanına sahip çubuk şekli parçalar, kalıp blokları ve bazı dövme parçalar gibi farklı boyutlardaki ürünler için önerilir.



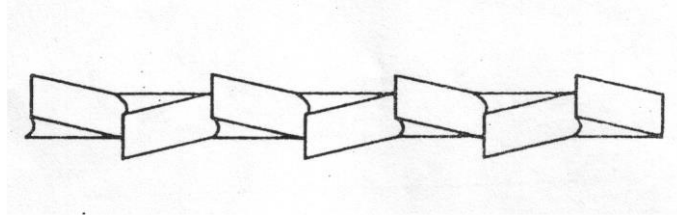
Şekil 2.20. Aralıklı Ardışık Çaprazlama (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005).

**Dalgalandırmalı Çaprazlama:** Bir diş grubunun sağa çaprazlanmasının ardından arada bir çaprazlanmamış diş bırakılarak, aynı sayıda dişin sola çaprazlanmasıyla yapılan çaprazlama türüdür (Şekil 2.21). Genellikle değişken kesit alanına sahip boru ve profil demir gibi ürünler için uygun değildir. Bunun yerine, modifiye edilmiş karışık veya değişken hatveli profil şeritleri giderek daha fazla tercih edilmektedir.



Şekil 2.21. Dalgalandırma (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005).

**Düz (Ardışık) Çaprazlama:** Dişlerin biri sağa, diğeri sola olacak şekilde ardışık bir şekilde çaprazlanmasıdır (Şekil 2.22). Bu çaprazlama türü metal (demir esaslı malzeme) testere için uygun değildir, ancak kolay kesilen malzemeler için tavsiye edilmektedir.



Şekil 2.22. Ardışık Çaprazlama (TS 6851) (Dikenoğlu, 2005).

### 3. TAGUCHI METODU

Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen Taguchi tasarımı, ürün geliştirme sürecinde malzeme ve üretim süreçlerindeki doğal varyasyonları dikkate alan bir dizi metodolojik yaklaşımdır. Geleneksel deneysel tasarım, özellikle çok sayıda deneme yapılması gerektiğinde ve işleme parametrelerinin sayısının arttığı durumlarda uygulanması zor olabilmektedir. Taguchi, deney tasarımı konusunda teorik anlamda yenilikler sunmamış olsa da, üretim süreçlerinde önemli yenilikler getirmiş ve bu sayede yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır. Bu yöntemin uygulamaları, 1980'lerden itibaren birçok ABD ve Avrupa endüstrisinde yaygınlaşmıştır. Taguchi tasarımının öne çıkan özelliği, aynı anda birden fazla faktörün dikkate alınabilmesidir.

Dr. Taguchi, ürün ve süreç tasarımında üç kalite aşaması tanımlamaktadır: sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı.

#### 3.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı, bir ürün ya da sürecin nominal (standart) çalışma koşulları altında istenilen performansı gösterecek biçimde yapılandırılmasını kapsamaktadır (Montgomery 2012). Bu aşamada belirlenen teknik gereksinimler, tasarım sürecinin başlangıç noktasını oluşturur ve sistemin genel işlevselliğine yön verir. Bu sürecin etkin şekilde yürütülebilmesi, temel bilimler ve mühendislik disiplinlerinden elde edilen teknik bilgi birikimini gerektirir.

#### 3.2. Parametre Tasarımı

Sistem tasarımı, ürünün veya sürecin nominal koşullar altında etkin bir şekilde çalışmasını sağlayacak genel yapı ve işlevlerin tanımlandığı ilk aşamadır (Montgomery 2012). Bu aşamada belirlenen teknik özellikler, daha sonra geliştirilecek tasarım detayları için bir başlangıç noktası teşkil eder. Sürecin sağlıklı yürütülebilmesi, temel bilimler ile mühendislik alanlarından elde edilen bilgi ve deneyimlerin etkin biçimde kullanılmasını gerektirir.

Sistem tasarımının ardından gelen adım ise parametre tasarımıdır. Bu aşamanın temel amacı, ürünün fonksiyonelliğini sağlayacak, farklı çevresel ve operasyonel koşullar altında yüksek performans gösterecek ve değişkenliğe yol açan dış etkenlere (gürültü faktörlerine) karşı dirençli olacak şekilde kontrol edilebilir parametrelerin optimum seviyelerini belirlemektir. Bu bağlamda, gürültü faktörleri kontrolü mümkün olmayan dışsal etkenleri temsil ederken, kontrol faktörleri ise doğrudan ayarlanabilen ve süreç boyunca sabit tutulabilen değişkenlerdir.

Taguchi'nin parametre tasarımına yönelik yaklaşımı, tasarım mühendislerine hem performans hem de maliyet açısından en uygun tasarım kombinasyonlarını belirlemeleri için sistematik ve etkili bir yöntem sunar. Buradaki temel hedef, kontrol faktörlerinin ideal kombinasyonunu tespit ederek ürünü ya da süreci gürültü faktörlerine karşı mümkün olan en sağlam hale getirmektir (Montgomery 2012).

Taguchi yöntemi, çok sayıda değişkenin az sayıda deneyle analiz edilmesine olanak tanıyan deneysel tasarım tekniklerinden biri olan ortogonal dizileri kullanır. Bu yöntem, deneysel yapılandırma sayısını önemli ölçüde azaltarak kaynak kullanımında verimlilik sağlar. Parametrelerin uygun şekilde optimize edilmesi, daha geniş tolerans aralıklarının kullanılmasına olanak tanıyabilir; bu da daha düşük hassasiyette bileşenlerin üretim sürecine dahil edilebilmesini sağlar ve böylece üretim ile işletme maliyetlerinde önemli tasarruflar elde edilebilir (Montgomery 2012, Phadke 1989).

Bir deneyin tasarımı sürecinde en kritik aşamalardan biri, kontrol faktörlerinin doğru şekilde belirlenmesidir. Deneysel tasarıma mümkün olduğunca çok sayıda faktörün dahil edilmesi, önemsiz değişkenlerin erken aşamalarda tespit edilmesine olanak tanıyarak sürecin etkinliğini artırır.

### 3.3. Tolerans Tasarımı

Parametre tasarımı, kaliteyi iyileştirmede ilk aşama olarak uygulanır; ancak bu tasarım süreci yeterli olmadığına, varyasyonları kontrol altına almak ve kalite seviyesini artırmak amacıyla tolerans tasarımı devreye girer. Özellikle çıktı değişkenliği üzerinde yüksek düzeyde etkisi olan tasarım faktörleri için, daha dar tolerans aralıklarının tanımlanması gerekir. Bu durum, genellikle daha yüksek kaliteli ve dolayısıyla daha maliyetli bileşenlerin kullanılmasını gerektirir. Sonuç olarak, tolerans tasarımı, üretim ve işlem maliyetlerinde artışa neden olur (Montgomery 2012, Phadke 1989).

Taguchi yöntemi, kalite karakteristiklerini iyileştirmede sinyal-gürültü ( $S/N$ ) oranını temel bir performans ölçütü olarak benimsemiştir.  $S/N$  oranı, standart sapmanın yerine kullanılabilen ölçülebilir bir değer sunar (Taguchi 1986, Roy 1990). En basit haliyle, bu oran bir sistemin ortalama yanıtı (sinyal) ile varyasyonu (gürültü) arasındaki oranı ifade eder. Uygulamalarda hedeflenen kalite değeri zamanla değişebilir; bu bağlamda,  $S/N$  oranı hem süreç varyasyonunun azaltılmasında hem de ölçüm sistemlerinin iyileştirilmesinde etkin bir araç olarak kullanılır. Kalite karakteristiği sürekli değişken olduğunda,  $S/N$  oranları üç ana kategoriye ayrılır (Ross 1996).

Nominal değerin en iyi olduğu durumda: Hedef, nominal değere en yakın üretimi sağlamaktır.

$$\frac{S}{N} = 10 \log \left( \frac{\bar{y}}{s^2_y} \right) \quad (3.1)$$

En büyük değerin en iyi olduğu durumda: Yüksek değer kalite göstergesidir.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i:1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (3.2)$$

En küçük değerin en iyi olduğu durumda: Düşük değer kaliteyi temsil eder.

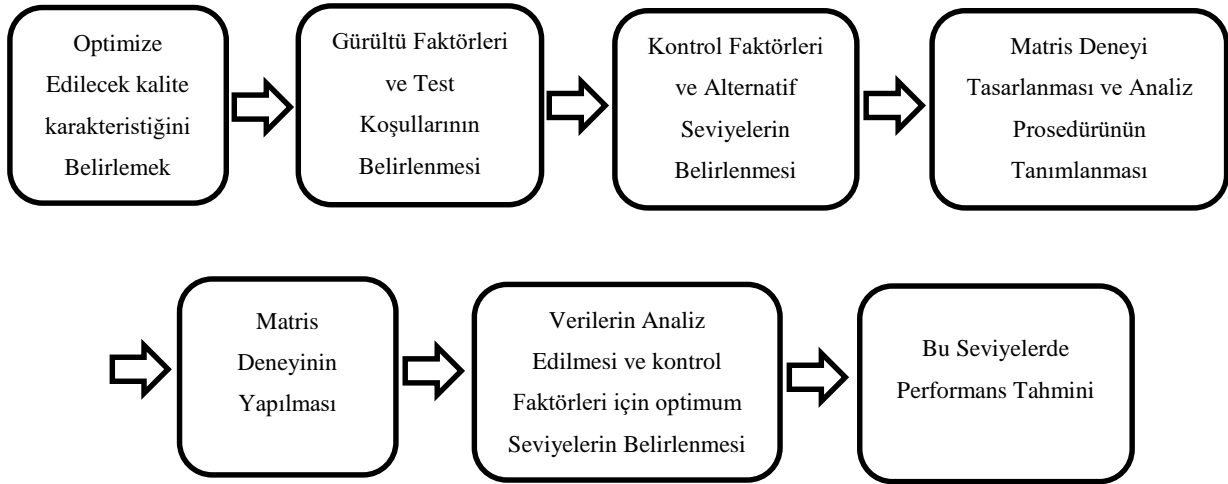
$$\frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i:1}^n y_i^2 \right) \quad (3.3)$$

İkili toleransa sahip kalite karakteristiklerinde nominal değer hedef olarak kabul edilir. Tüm ürünlerin bu değere ulaşması durumunda varyasyon sifra iner ve ideal kalite seviyesi elde edilir. Bu senaryolar için "hedef en iyidir" yaklaşımı geçerlidir. Örneğin, ürün boyutları bu kategoriye girer (Byrne 1987). Burada ' $\bar{y}$ ' gözlenen ortalamayı, ' $s^2_y$ ' varyansı, ' $n$ ' gözlem sayısını ve ' $y$ ' ise gözlenen veri değerlerini ifade eder.

Bunun yanında, bazı kalite karakteristikleri negatif olmayan, ölçülebilir değerlere sahiptir ve ideal durumda bu değerlerin olabildiğince yüksek olması arzulanır. Bu tür senaryolar "büyük en iyidir" sınıfında değerlendirilir; örneğin, güç ve verimlilik gibi performans ölçütleri bu gruba dahildir.

Diğer yandan, kalite karakteristiğinin hedefi sıfır olan ve değer küçülmesiyle kalite düzeyinin arttığı durumlar da mevcuttur. Bu tür sistemlerde "küçük en iyidir" yaklaşımı benimsenir. Yüzey pürüzlülüğü, lastik aşınması ve proses arızaları bu kategoriye örnek olarak verilebilir.

Sonuç olarak, kalite karakteristiğinin hangi kategoriye ait olduğundan bağımsız olarak, daha yüksek  $S/N$  oranı daha üstün kalite özelliklerine işaret eder. Bu nedenle, süreç parametrelerinin en uygun seviyesi, en yüksek  $S/N$  oranının elde edildiği koşullardır. Taguchi metodu akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Taguchi metodu akış şeması

### 3.4. Optimize Edilecek Kalite Karakteristiğinin Belirlenmesi

Taguchi yönteminin ilk adımı, iyileştirilmesi hedeflenen kalite karakteristiğinin tanımlanmasıdır. Bu karakteristik, ürün kalitesine doğrudan etki eden ve varyasyonlara duyarlı olan çıktı değişkenini temsil eder. Süreç boyunca izlenecek performans ölçütü olarak da tanımlanabilir.

### 3.5. Gürültü Faktörleri ve Deneysel Koşullarının Tanımlanması

İkinci adımda, sistemin kalite ve performansını olumsuz yönde etkileyebilecek dışsal faktörler, yani gürültü değişkenleri belirlenir. Bu değişkenler genellikle doğrudan kontrol edilemeyen ya da kontrol edilmesi ekonomik açıdan uygun olmayan parametreleri kapsar.

### 3.6. Kontrol Faktörlerinin ve Seviyelerinin Seçilmesi

Bu aşamada, kalite karakteristiği üzerinde etkili olduğu öngörülen kontrol faktörleri tanımlanır. Kontrol faktörleri; sistemde ayarlanabilir ve sürdürülebilir tasarım değişkenlerini ifade eder. Her bir kontrol parametresi için belirlenen seviye sayısı, deney alanının boyutunu belirler.

### 3.7. Deneysel Matrisin Oluşturulması ve Analiz Yönteminin Belirlenmesi

Sonraki adım, deneysel düzenin kurulması ve analiz stratejisinin planlanmasıdır. Bu süreçte, kontrol ve gürültü faktörlerine uygun bir ortogonal dizi seçilerek deney matrisi oluşturulur. Taguchi bu aşamada kullanılmak üzere çeşitli standart ortogonal diziler önermiştir. Ayrıca, kalite karakteristiğinde gürültü faktörlerinin etkisini simüle etmek amacıyla analiz prosedürü de tanımlanır. Bu prosedür, kalite çıktısının ortalama ve varyansını hesaba katarak sistem tepkisini modellemeye olanak tanır.

### 3.8. Matris Deneyinin Uygulanması

Tanımlanan deneysel matris doğrultusunda deneyler gerçekleştirilir ve elde edilen veriler sistematik olarak kaydedilir. Taguchi yöntemi, doğrudan kontrol edilebilen herhangi bir süreç için uygulanabilir. Deneysel uygulama, fiziksel sistemler üzerinde yapılabileceği gibi matematiksel modellemeler ya da simülasyon araçları aracılığıyla da yürütülebilir.

### 3.9. Verilerin Değerlendirilmesi ve Optimum Parametre Seviyelerin Belirlenmesi

Deneyler tamamlandıktan sonra, kalite performansını en üst düzeye taşıyacak kontrol faktörü kombinasyonları analiz edilir. Bu analizde, Taguchi tarafından geliştirilen sinyal-gürültü ( $S/N$ ) oranı kullanılır.  $S/N$  oranı hem ortalama değeri hem de varyasyonu dikkate alarak, gürültü etkilerine karşı en dayanıklı parametre seviyelerinin belirlenmesini sağlar.

### 3.10. Tahmini Performansın Doğrulanması

Son aşamada, belirlenen optimum parametre seviyeleri doğrultusunda sistemin performansı deneysel olarak doğrulanır. Bu doğrulama, önerilen yapılandırmanın pratikteki etkisini test etmeye yönelik önemli bir adımdır.

Genel olarak, Taguchi yöntemi, ürün ve süreç geliştirme çalışmalarında kaliteyi artırırken üretim maliyetlerini azaltma potansiyeline sahip etkili bir optimizasyon yaklaşımıdır.

#### 4. ŞERİT TESTERE MEKANİĞİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

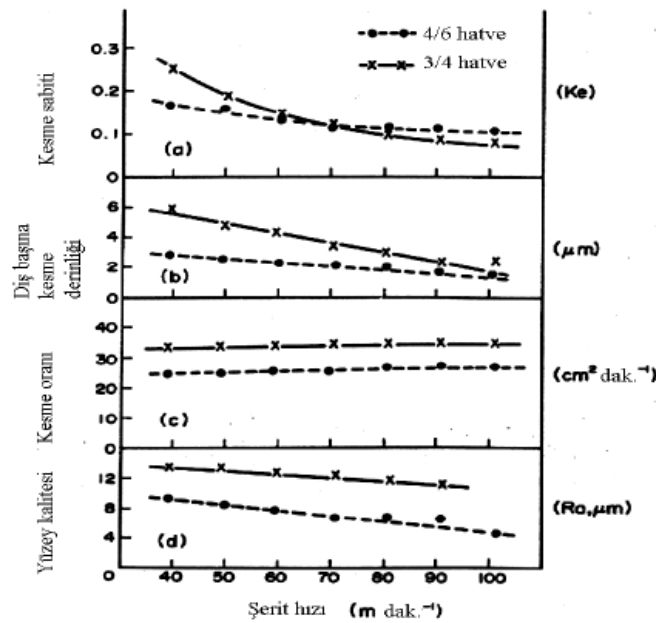
Talaşlı imalat süreçlerinde, iş parçalarının teknik gereksinimlere uygun biçimde üretilmesi için takım tezgâhlarının etkin kullanımı gereklidir. Bu süreçlerde temel hedef; takım ömrünü maksimize ederken, üretim süresini kısaltmak ve maliyetleri azaltarak yüksek kalitede, hacimli üretim gerçekleştirmektir. Özellikle kesme işlemlerinde teknolojik gelişmelerin etkisiyle, yüzey kalitesinin artırılması ve imalata geçiş aşamalarının optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Hızlı kesim işlemleri zaman açısından ekonomik avantajlar sağlarken, yüksek yüzey kalitesi bir sonraki işlem adımlarını minimize ederek genel üretim maliyetlerinde düşüş sağlamaktadır. Bu doğrultuda, üretkenliğin artırılması ve süreçlerin iyileştirilmesine yönelik olarak literatürde çok sayıda bilimsel çalışma gerçekleştirilmiştir.

Şerit testere ile yapılan kesme işlemleri üzerine yapılan çalışmalar, bu mekanizmanın dinamiklerini anlamaya yönelik önemli katkılar sunmuştur. Öncü çalışmalardan biri olan Ko ve Kim (1999), kesme kuvvetlerinin öngörülebilmesi amacıyla matematiksel bir model geliştirmiştir. Bu modelde, anlık talaş kalınlığı ve spesifik kesme basıncı gibi parametreler temel alınmıştır. Spesifik kesme basıncı, frezeleme işlemindeki tek ağızlı kesme yöntemine benzer şekilde hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada, tek noktalı kesme işlemi, diş adımından daha dar iş parçaları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu amaçla takım dinamometresi, tezgâh tablası üzerine yerleştirilmiştir. Dinamometreden elde edilen kesme kuvveti sinyalleri bir yükseltici aracılığıyla kuvvetlendirilmiş ve dijital ortama aktarılmıştır. Çalışmada AISI 1010 yumuşak çeliğinden üretilmiş 8x25 mm boyutlarında çubuklar kullanılmış, tek dişli ve çok dişli kesme koşulları altında deneyler yapılmıştır. Bu sayede diş başına düşen kuvvet değerleri ölçülerek spesifik kesme basıncı hesaplanmıştır.

Araştırmacılar, şerit testere diş geometrisini dikkate alarak, kesme kuvvetlerini tahmin etmeye yönelik mekaniksel bir model de önermiştir. Bu modelin kullanılabilmesi için gerekli olan spesifik kesme basıncı, tek kesici ağızlı deneysel yöntemle belirlenmiş ve ardından hem tek hem de çok kesici ağızlı takım kullanımı için model doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, geliştirilen modelin şerit testere ile kesme işlemlerinde kesme kuvvetlerini başarılı bir şekilde öngörebildiğini göstermiştir.

Bir diğer önemli çalışma olan Ahmad ve arkadaşları (1988), şerit testere ile kesme işleminin mekanik analizi kapsamında kesme hızı, ilerleme miktarı ve iş parçası geometrisinin işlem üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, değişken diş adımına sahip testereleler kullanılmış; bu tür testerelelerin, titreşim ve gürültüyü azalttığı, yüzey kalitesini iyileştirdiği ve takım ömrünü uzattığı vurgulanmıştır. Araştırma bulgularına göre, diş başına elde edilen

ortalama kesme derinliği ile birim kalınlıkta diş başına uygulanan ortalama baskı kuvveti arasında doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir. Kesme hızı arttıkça hem baskı hem de kesme kuvvetlerinde azalma gözlenmiş; bu da kesme derinliğinde bir düşüşe yol açmıştır. Söz konusu azalmaların oranlarındaki farklılıklar, kesme sabiti değerinin değişimine neden olmuştur. Şekil 4.1’de hızın etkisi grafik şeklinde görülmektedir.



Şekil 4.1. Hızın etkisi (Ahmad vd.1988)

Ayrıca, şerit testere hızının artışı, yüzey pürüzlülüğünü azaltırken, kesme oranlarında anlamlı bir artış sağlamamıştır. Bunun nedeni olarak, diş başına düşen kesme derinliğinin baskı kuvvetiyle doğru orantılı olması gösterilmiştir. Bununla birlikte, şerit hızının ve diş yoğunluğunun artışı yüzey kalitesine olumlu katkı sağlamıştır. Ahmad’ın çalışmasında ayrıca, şerit testerelerle yapılan kesme işlemlerinde oluşturulan baskı kuvvetlerinin, lama testerelere kıyasla iş parçası boyunca daha homojen dağıldığı ve iş parçası şeklinin performansa etkisinin daha az belirgin olduğu da tespit edilmiştir.

Bu bulgular ışığında, şerit testere ile kesme işlemlerinin optimizasyonu için hem kesme parametrelerinin hem de takım geometrisinin dikkatle değerlendirilmesi gerektiği açıktır. Literatürde yer alan bu çalışmalar, şerit testere ile kesme işlemlerinin anlaşılmasına ve bu süreçlerin verimliliğinin artırılmasına yönelik önemli katkılar sunmaktadır.

Chandrasekaran (1992), yüksek hız çeliği uçlu bimetal şerit testerelerle, su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin kesimi sırasında diş ucunda meydana gelen mikroskobik kopmalar

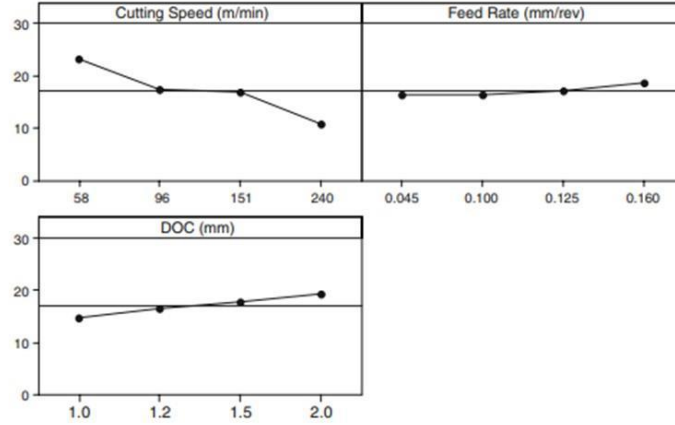
üzerine odaklanmıştır. Bu tür kopmaları inceleyebilmek amacıyla uygun referans testere kesme testleri tasarlanmış ve çeşitli parametrelerin etkileri analiz edilmiştir. Testlerde, testere malzemesinin kimyasal bileşimi, üretim yöntemi (geleneksel ve toz metalurjisi), uygulanan ısıl işlemler ve testere dışında oluşan gerilmelerin bu mikro kopmalar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, ısıl işlemin şerit testere dışlarının dayanımı açısından kritik bir faktör olduğunu göstermiştir. Aynı sertlik veya benzer karbür içeriğine sahip olsalar dahi, geleneksel yöntemlerle veya toz metalurjisiyle üretilmiş yüksek hız çelikleri, ısıl işleme farklı tepkiler vermektedir.

Çalışma ayrıca, şerit testere işleminde gözlenen dış ucu mikro kopmalarının, lama testere işlemlerindekilere niteliksel olarak benzediğini ortaya koymuştur. Dış sertliği, hem daha yaygın görülen (Tip II) hem de daha nadir rastlanan (Tip I ve Tip III) kopma türlerine karşı direnci etkilemektedir. Dış ucundaki kopmalara karşı dayanım, toplam birincil karbür içeriğine bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup; özellikle büyük karbürlerin varlığı, Tip II türü kopmalara karşı direnci olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, küçük karbürlerin oranının artırılması, dış ucu mikro kopmalarına karşı genel bir dayanım artışı sağlamaktadır.

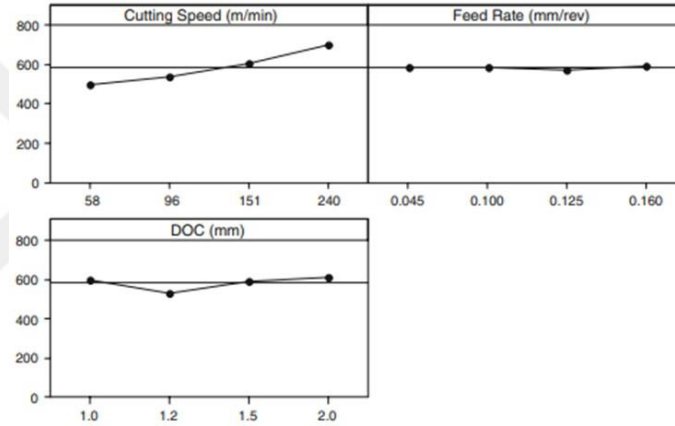
Andersson (2001) tarafından yapılan çalışmada ise farklı testere dışı mikro geometrileri dikkate alınarak üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle bir gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde, kesici kenar yarıçapı ve talaş kalınlığı gibi parametrelerin testere dışı üzerindeki gerilme dağılımına etkileri araştırılmıştır. Şerit testere dışı ucunu temsil eden üç boyutlu model sayesinde, yük dağılımı ve gerilme durumu detaylı şekilde incelenebilmiştir. Hesaplamalarda, kesme kuvvetlerine ilişkin deneysel veriler kullanılmıştır. Sonuçlar, kesici kenar yarıçapının artmasıyla asal gerilme değerlerinin azaldığını; deforme olmamış talaş kalınlığının artmasıyla ise asal gerilme değerlerinin yükseldiğini göstermektedir.

Bhattacharya, Das, Majumder ve Batish (2009) tarafından yürütülen başka bir çalışmada ise, Taguchi yöntemi kullanılarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada kesici takım geometrisi, takım malzemesi, uygulama yöntemi ve soğutma sıvısı sabit tutulmuş, değişken olarak kesme hızı ve derinliği ele alınmıştır. Bulgular, kesme hızının yüzey kalitesi üzerinde %83 oranında etkili olduğunu ve kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını ortaya koymuştur. Ancak bu artışın enerji tüketimini de yükselttiği belirlenmiştir. Düşük kesme hızı ve düşük kesme derinliğiyle yapılan kesimlerde, talaş birikimi nedeniyle enerji tüketiminin yükseldiği gözlenmiştir. Ayrıca, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de görüldüğü üzere kesme hızı yüzey kalitesi ve enerji tüketimi üzerinde

belirgin etkilere sahipken; ilerleme hızı ve kesme derinliğinin bu çıktılar üzerindeki etkisi sınırlı kalmıştır.



Şekil 4.2. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki.



Şekil 4.3. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği parametreleri ile güç tüketimi arasındaki ilişki.

İlhan Asiltürk ve Ali Ünüvar (2008), çalışmalarında hibrit yapay zeka yöntemlerinin takım tezgahlarının uyarlanabilir kontrolünde başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Talaş kaldırma işlemi matematiksel olarak zor modellenen bir süreçtir, ancak yapay zeka yöntemleri ile bu işlem kolaylıkla çözülebilmektedir. Şerit testere kesim prosesi, birçok parametreyi etkileyen bir işlem olduğundan, geleneksel yöntemler ile etkili bir şekilde kontrol edilememektedir.

Sonuç olarak, sistem yapay zeka modeli kullanılarak modellenmiştir. Adaptif kontrol, çevresel rahatsızlıkların etkilerini azaltarak süreci kendiliğinden ayarlayacak şekilde çalışır. Geliştirilen izleme ve kontrol sistemi sayesinde, operatör müdahalesinin etkisi minimize edilmiştir. Uzman operatör ihtiyacı ve üreticilerin kesim kataloglarındaki eksik ya da karmaşık verilerden kaynaklanan sorunlar en aza indirilmiştir.

Kesme parametrelerine göre yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak, kesme kuvveti tahmin modeli gerçek zamanlı olarak uyarlanabilir ve güncellenebilir şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle, bir süreç sınıflandırma ve malzeme tanımlama sistemi de geliştirilmiştir. Bulanık kontrol, kesme hızı ve ilerleme oranının belirlenmesinde hata ve hata değerlerinin integrali başarıyla kullanılmaktadır. Önerilen sistemin takım tezgahları üzerindeki olumlu etkisi, iş parçasının sertliğindeki yerel değişikliklere göre takım tezgahlarının uygun ve güvenli kesme hızlarında ve ilerleme hızlarında çalıştırılabilmesi ile teorik olarak kanıtlanmıştır.

Sung-Hua Wu ve arkadaşları (2018), yüksek hızlı şerit testere işlemlerinde, Taylor takım ömrü ve üniform talaş kalınlığına göre fraktal denklem kullanılarak, çoklu kesiciler için talaş oluşumu kararlı durum modeli ve kesme verimliliği modeli önermektedir. Üretim hassasiyetini artırmak amacıyla, sürekli olarak tek biçimli talaş oluşumuna bir yeni kanca diş uygulanabilmektedir. Çalışmada Taylor takım ömrü ve fraktal denklemlerle, çoklu kesme prosesine uygulanabilecek MDOF (çoklu serbestlik dereceli) kesme dinamiği geliştirilmiştir. Şerit testereyi etkileyen faktörler arasında kesme kuvveti, kesme geometrisi, kesme ısısı, yerel gerilim gerilimi ve talaş kalınlığı oluşumunun düzgünlüğü yer almaktadır. Bu faktörler, yüksek hızlı testere ile kesme işleminde takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, üretim hassasiyeti ve kesme verimliliği üzerinde önemli etkiler yapmaktadır. Simüle edilen sonuçlar, aşınma direnci özelliğinin TiN 0,6 $\mu$ m kaplamada daha iyi olduğunu göstermektedir. Yüksek hızlı kesme işleminde, kesme iyileştirme oranı en az %13 artırılabilir. Kancalı dişle yapılan kesme hızı 120 m/dak'ya ulaşırken, kaplamasız kesici dişle karşılaştırıldığında, 0,6 $\mu$ m kaplama katmanının kaplanması sıcaklığın düşmesini sağlamaktadır.

Lu-Ping Luo ve arkadaşları (2019), şerit testere çerçevesinin mekanik modelini oluşturmuşlardır. Düşük hizmet ömrü, standart altı kesme hassasiyeti ve verimliliği ile testere çerçevesinin mantıksız tasarımından kaynaklanan yüksek üretim maliyeti sorunlarını aşmak için yaygın olarak kullanılan testere çerçevesi yapı diyagramı geliştirilmiştir. Belirli bir tip testere makinesi örneği üzerinden yapılan gerilim döngüsü analizi, testere çerçevesinin mekanik modeline dayandırılarak gerçekleştirilmiş ve testere bıçağının yorulma arızasına en yatkın olan kesit noktasının yorulma analiz modeli oluşturulmuştur. Sonuçlar, testere çerçevesinin iyileştirilmiş tasarımının temeli olarak kullanılmış ve yeni tasarım parametreleri elde edilmiştir. Bu iyileştirilmiş tasarım, testere çerçevesinin daha kompakt ve dayanıklı olmasını sağlamıştır.

Pin Li ve arkadaşları (2019), şerit testere tezgahında kesim parametrelerinin optimizasyonu için derin öğrenmeye dayalı bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmalarında, kesme parametreleri ile bıçak bozulması arasındaki ilişkiyi haritalamak için evrimsel sinir ağı (CNN)

modelini kullanmışlardır. Bu model, bıçak ömrünü uzatabilecek en uygun kesme parametrelerini belirlemek amacıyla simülasyon tekniklerini kullanmaktadır. Gerçek bir üretim sürecinde yapılan doğrulama, optimum kesme parametrelerinin bıçağın hizmet ömrünü etkili bir şekilde uzattığını göstermektedir. Bu çalışma, üretim hızı ve enerji tasarrufunda verimliliği artırmaktadır.

Ahmed Mulaitat (2022), şerit testere tezgahında kesme parametrelerini belirleyerek kesme zamanı, kesici takımın ısınması ve aşınmasını, yüzey pürüzlülüğünü ve motorun akımını ölçerek, kesme parametrelerinin optimum değerlerini bulmayı hedeflemiştir. Çalışma, kesme hızları ve ilerleme hızlarının takım özellikleri ve malzemeye göre optimize edilmesiyle kesme işlemindeki verimliliği artırmıştır.

Seda Yıldız (2023), takım tezgahları ve şerit testere makineleri ile yapılan çalışmada, yüzey pürüzlülüğü cihazı ve yüzey mastarı kullanılarak kesilen numunelerin pürüzlülük değerlerini ölçmüştür. Akıllı ve otomatik kesim modları ile yapılan kesimlerde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin karşılaştırılması yapılmış ve akıllı kesim modunda %16 azalma gözlemlenmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar, şerit testere ile kesme işlemlerinin karmaşık ve çok değişkenli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Kesme kuvvetlerinin modellenmesi, takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü, enerji tüketimi ve titreşim gibi performans kriterlerinin optimizasyonu üzerine yoğunlaşan araştırmalar, gerek deneysel gerekse yapay zekâ tabanlı yöntemlerle önemli ilerlemeler sağlamıştır. Özellikle Taguchi yöntemi, yapay sinir ağları, sonlu elemanlar analizi ve fraktal modelleme gibi modern yaklaşımlar, kesme sürecinin daha verimli, kontrollü ve öngörülebilir hale gelmesine katkıda bulunmuştur. Bununla birlikte, kesici takım geometrisi, diş yapısı, kesme parametreleri ve malzeme özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği de açıkça ortaya konmuştur. Literatürdeki bu çalışmalar, şerit testere ile kesme süreçlerinin bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini vurgulamakta ve bu alandaki yeni araştırmalara ışık tutmaktadır.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kesme parametrelerini belirleme süreci, malzeme çeşitliliğinin genişliği nedeniyle sıklıkla yetersiz kalmaktadır. Her bir malzeme türü ve her kullanıcı için tek bir kesme parametresi belirlemek mümkün olmayıp, çoğu zaman kullanıcılar, kesici takım tedarikçileri tarafından önerilen ortalama parametreleri kullanmak zorunda kalmaktadırlar. Bu durum, üretim süreçlerinde verimlilik ve kaliteyi optimize etme açısından bir zorluk teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, OZCO TA300 marka mafsallı şerit testere tezgâhı (Şekil 5.1) kullanılarak, üç farklı malzeme üzerinde üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme değeri ile kesme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan takım tezgâhının teknik özellikleri Tablo 5.1'de sunulmuştur. Kesilen numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri, Mitutoyo SJ-210 marka taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Bu ölçümler, malzemelerin kesilme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır.



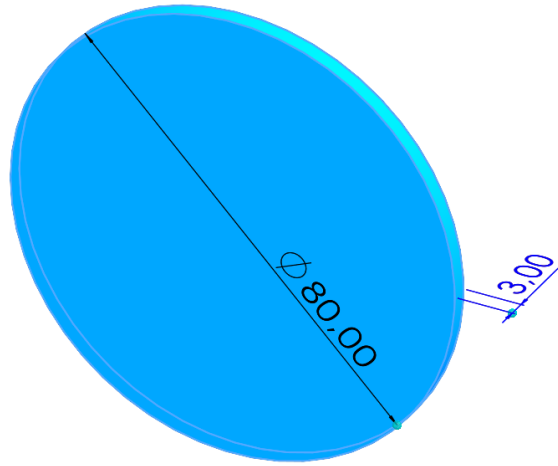
Şekil 5.1. OZCO TA300 Mafsallı şerit testere tezgâhı (ozcomakina, 2025)

Yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerin analizi için Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu kalite geliştirme tekniği, deneysel süreci sistematik bir şekilde optimize etmeye olanak sağlamış ve her bir kesme parametresinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini anlamamıza yardımcı olmuştur. Böylelikle, optimum yüzey pürüzlülüğüne ulaşılabilmesi için ideal kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tablo 5.1. OZCO TA300 Mafsallı testere tezgâhı özellikleri

Ana Motor Gücü	1,5 kW, 380 V
Testere Bıçağı Ölçüleri	27x0,9x3660 mm
Kesme Kapasitesi	Yuvarlak:300 mm Kare:300x300 mm Dikdörtgen:250x375 mm
Hız	20-100 m/dak dev/dak
Kademe	İnvertörlü/Sınırsız
Malzeme Besleme Yüksekliği	760 mm
Mengene Açılma Aralığı	0-375 mm
Mengene Yüksekliği	190 mm
Sürücü Motor Gücü	0.37
Hidrolik Motor Gücü	0,18 kW
Soğutma Motor Gücü	0,12 w
Makina Ölçüsü	2005x1260x1275
Ağırlık	660 kg

Çalışmada, Ø80mm çapında 1000mm boyundaki üç farklı malzemelerden (DIN 1.0501 AISI/SAE 1040, DIN 1.7131 AISI/SAE 4140 ve DIN 1.7225 AISI/SAE 5120) Ø80x3mm kalınlığında numuneler (Şekil 5.2) şerit testerede kesilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 5.2. Kesimi yapılacak numune ölçüleri

Tablo 5.2. DIN 1.0501 AISI/SAE 1040 Kimyasal bileşim (ağırlıkça %)

C	Si	Mn	P	S
0,40-0,50	0,25-0,35	0,60-0,90	0,04	0,05

Tablo 5.3. DIN 1.7131 AISI/SEA 5120 Kimyasal bileşim (ağırlıkça %)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0,14-0,19	0,15-0,40	1,00-1,30	0,035	0,035	0,80-1,10

Tablo 5.4. DIN 1.7225 AISI/SAE 4140 Kimyasal bileşim (ağırlıkça %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,38-0,43	0,15-0,30	0,75-1	0,035	0,040	0,80-1,10	0,15-0,25

Tezgâhta şerit testere tezgâhında deney numunelerinin kesiminde Şekil 5.3'de gösterilen Vikus marka M42 3/4 diş ölçüsüne sahip şerit testere kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Şerit testere

Bu çalışmada deney parametrelerinin seviyeleri, literatürdeki benzer çalışmalar ve kullanılan şerit testere tezgâhının teknik özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Malzeme olarak AISI/SAE 1040, 4140 ve 5120 çelikleri tercih edilmiştir çünkü bu malzemeler, sanayide yaygın kullanıma sahip olup, farklı mekanik ve yapısal özellikleri sayesinde kesme performansının ve yüzey kalitesinin çeşitlilik içeren koşullar altında değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

Kesme hızı ( $V$ ) seviyeleri olarak 40, 60 ve 80 m/dak değerleri tercih edilmiştir. Bu hız aralığı, hem uygulamada sık kullanılan pratik bir aralığı temsil etmekte hem de şerit testere tezgâhının güvenli çalışma sınırları içerisinde kalmaktadır. Ayrıca, düşük hızda (40 m/dak) daha yüksek yüzey kalitesi, yüksek hızda (80 m/dak) ise daha yüksek üretkenlik elde edilmesi gibi sonuçların gözlemlenmesine olanak tanımaktadır.

Benzer şekilde, ilerleme hızı ( $f$ ) seviyeleri de 20, 40 ve 80 mm/dak olarak belirlenmiştir. Bu seviyeler, kesme kuvvetleri ile yüzey kalitesi arasında denge kurularak farklı ilerleme koşullarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin incelenmesini sağlamaktadır. Düşük ilerleme hızları daha kaliteli yüzeyler sunarken, yüksek ilerleme hızları üretim hızını artırmakta

ancak yüzey kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu parametreler, deney tasarımı kapsamında seçilen seviyelerle birlikte Tablo 5.5'da sunulmuştur.

Tablo 5.5. Deney tasarım verileri ve seviyeleri

Faktörler	Birim	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Malzeme cinsi	--	DIN 1.0501 AISI/SAE 1040	DIN 1.7225 AISI/SAE 4140	DIN 1.7131 AISI/SAE 5120
Kesme hızı	m/dak	60	80	100
İlerleme	mm/dak	20	40	80

Deneyde, Mitutoyo SJ-210 taşınabilir yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 5.4). Her bir numune için, yüzey pürüzlülük değeri üç farklı noktadan ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Tablo 5.6'de, kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri sunulmuştur.

Tablo 5.6. Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri

Dedektör Ölçüm Kuvveti	0,75 Mn
Kalem Ucu Açısı	60°
Kalem Ucu Yarıçapı	2 $\mu$ m
Ağırlık	500 gr
Ölçüm Aralığı	4,8-16 mm (S tipi)
Çapraz	5,6-17,5mm (S tipi)
Ölçüm Hızı	Ölçüm:0,25mm/sn; 0,5 mm/sn Geri Dönüş: 0,75mm/sn
Kablo Uzunluğu	1 m
Ölçüm Yöntemi	İndüksiyon yöntemi
Ölçüm Aralığı	360 $\mu$ m
Ekran Kalemi	Elmas Uç
Kızak Yarıçapı	40 mm
Profiller	Birincil Profil (P), Pürüzlülük Profili (R), DIN 4776
Örnekleme uzunluğu sayısı (L)	0,08mm - 0,25mm - 0,8mm - 2,5mm
Dijital Filtre	2CR-75, 2CR-75 (faz düzeltmeli)
Hata payı	Üst / alt limit
Güç kaynağı	AC adaptör (DC 7,5 V 1,5 W) dahili veya şarj edilebilir pil ile



Şekil 5.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı



## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney tasarım verileri ve seviyeleri dikkate alındığında, işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne ( $R_a$ ) etkilerini incelemek amacıyla en uygun deney tasarım yöntemi olarak Taguchi  $L_9$  ortogonal dizilimi seçilmiştir. Tüm verilerle 27 deney yapmak hem maliyet açısından hem de zaman açısından verimsiz olacaktır. Kullanılan parametrelerin her biri üç seviyede incelendiğinden, klasik yöntemle tam faktöriyel bir tasarım uygulandığında 27 farklı deney yapılması gerekecekti. Bu nedenle, Taguchi deney tasarım metodu kullanılarak  $L_9$  ortogonal dizilimi ile yalnızca 9 farklı deneyle doğru sonuçlara ulaşmak daha verimli ve maliyet etkin bir yöntem olarak belirlenmiştir. Deneyde kullanılan ortogonal dizilim ve deney sonuçları Tablo 6.1'de sunulmuştur.

Tablo 6.1.  $L_9$  ortogonal dizilim kullanarak deney tasarımı ve deney sonuçları

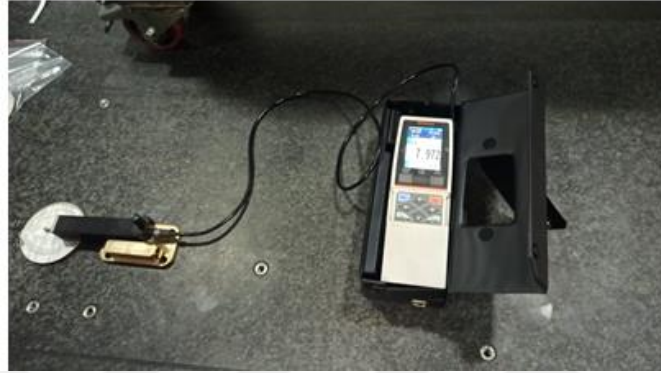
Deney No	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dak)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
1	AISI/SAE 1040	60	20	9,054
2	AISI/SAE 1040	80	40	6,700
3	AISI/SAE 1040	100	80	6,855
4	AISI/SAE 4140	60	40	8,052
5	AISI/SAE 4140	80	80	7,271
6	AISI/SAE 4140	100	20	7,643
7	AISI/SAE 5120	60	80	7,972
8	AISI/SAE 5120	80	20	6,960
9	AISI/SAE 5120	100	40	6,406

Taguchi yönteminin avantajları, parametrelerin etkileşimlerini minimum seviyede tutarak, daha hızlı ve düşük maliyetli bir şekilde optimum parametrelerin belirlenmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, şerit testere ile yapılan kesme işlemlerindeki parametre optimizasyonu, yalnızca maliyet etkin değil, aynı zamanda daha kısa sürede daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 6.1. Deneysel numunesinin kesim esnasındaki görüntüsü

Deneysel numuneleri, ortogonal dizilim parametrelerine uygun olarak mafsallı şerit testere tezgâhında kesilmiştir (Şekil 6.1). Kesilen numunelerin yüzey pürüzlülüğü, Şekil 6.2'te gösterilen yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüş ve  $R_a$  değerleri belirlenip kaydedilmiştir.  $R_a$  değerlerinin ölçülmesi, kesme kalitesini belirlemede ve uygun parametrelerin seçilmesinde önemli bir ölçüttür, çünkü yüzey pürüzlülüğü, kesme işleminde malzeme kalitesini, takım aşınmasını ve işlem verimliliğini doğrudan etkileyebilir.



Şekil 6.2. Deneysel numunelerin yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçümü

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \text{ en iyi en küçük durumu}$$

Taguchi metodu, en iyi yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için gerekli olan optimum kesme parametrelerini belirlerken, en küçük en iyi sinyal-gürültü ( $S/N$ ) oranı denklemi kullanılmaktadır. Bu bağlamda, yüzey pürüzlülük cihazında ölçülen en düşük yüzey pürüzlülüğü değeri, işleminde istenen en iyi sonuç olarak kabul edilmektedir. Bu amaçla, MINITAB 22 yazılımı kullanılarak, en küçük en iyi sinyal-gürültü oranı denklemi ile elde edilen  $S/N$  oranları ve parametre seviyeleri hesaplanmıştır. Sinyal-gürültü oranı, hem sinyalin (gerçek ölçülen değer) gücünü maksimize etmek hem de parametre değişkenliğini minimize etmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu hesaplamalar doğrultusunda elde edilen  $S/N$  oranları Tablo 6.2'de sunulmuştur. Denklemde,  $n$  tekrarlama sayısını,  $y_i$  ise her bir deneyde ölçülen değişkenin değeri olarak temsil etmektedir. Bu metodolojik yaklaşım, optimum kesme parametrelerinin belirlenmesine ve yüzey pürüzlülüğünün minimize edilmesine olanak tanımaktadır (Yaka 2016).

Tablo 6.2.  $L_9$  Ortogonal diziliminde  $R_a$  için  $S/N$  oranları

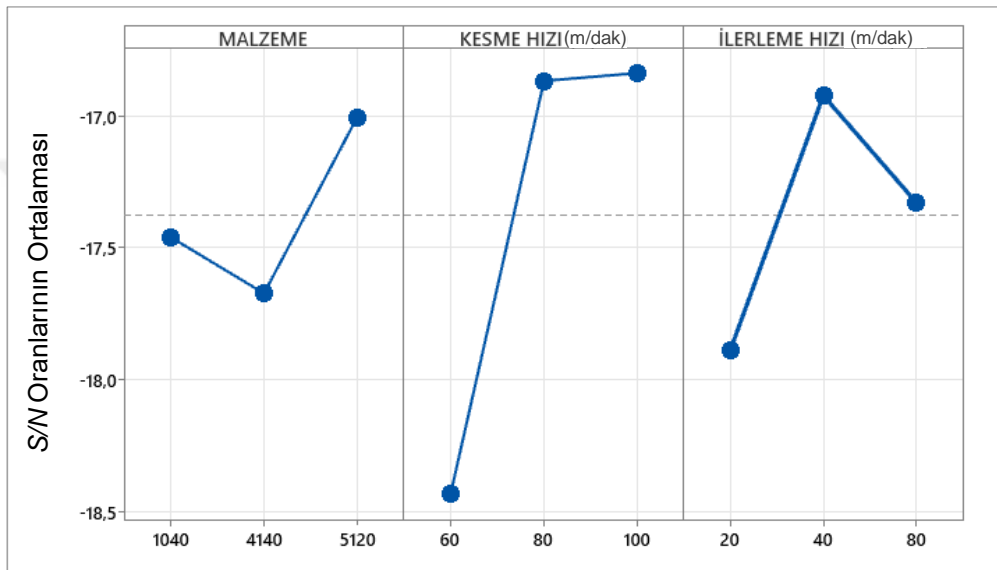
Deney No	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dak)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$S/N$
1	AISI/SAE 1040	60	20	9,054	-19,1368
2	AISI/SAE 1040	80	40	6,700	-16,5215
3	AISI/SAE 1040	100	80	6,855	-16,7201
4	AISI/SAE 4140	60	40	8,052	-18,1181
5	AISI/SAE 4140	80	80	7,271	-17,2319
6	AISI/SAE 4140	100	20	7,643	-17,6653
7	AISI/SAE 5120	60	80	7,972	-18,0313
8	AISI/SAE 5120	80	20	6,960	-16,8522
9	AISI/SAE 5120	100	40	6,406	-16,1317

Taguchi metodunda, sinyal/gürültü ( $S/N$ ) oranı, deneysel verilerin analizinde en önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir (Yaka 2016). Taguchi metoduna göre, en ideal kesme koşulları,  $S/N$  oranının en yüksek olduğu deneyde elde edilmektedir. Bu çalışmada yapılan deneysel analizlere göre, en ideal kesme parametreleri 9 numaralı deneyde gerçekleşmiştir. Bu deneyde, malzemenin kesme hızı 100 m/dak, ilerleme hızı ise 40 mm/dak olarak belirlenmiş olup, bu parametrelerle elde edilen en düşük yüzey pürüzlülük değeri  $R_a = 6,406 \mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.

$R_a$  yüzey pürüzlülük değerinin optimum seviyelerini belirlemek amacıyla, Taguchi tabanlı tepki tablosu ile birlikte  $S/N$  oranlarına ait tepki tablosu Tablo 6.3'te sunulmuştur. Bu tablo, değişkenlerin önem derecelerini ve en uygun sonuçların hangi seviyelerde elde edileceğini göstermektedir. "Delta" değeri, bir değişkenin maksimum ve minimum ortalama  $S/N$  oranları arasındaki farkı ifade ederken, "Rank" ifadesi ise değişkenlerin önem sırasını göstermektedir. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğü performansına etki eden parametrelerin değerlendirilmesinde,  $S/N$  oranı en düşük olan seviye en uygun seviye olarak kabul edilmiştir.  $S/N$  oranlarına göre, kesme hızı, ilerleme hızı ve malzeme sırasıyla yüzey pürüzlülüğü üzerinde en fazla etkili olan parametreler olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.3. Yüzey pürüzlülüğü faktörü ( $R_a$ ) için sinyal gürültü oranları için tepki tablosu

Level	Malzeme	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dak)
1	-17,46	-18,43	-17,88
2	-17,67	-16,87	-16,92
3	-17,01	-16,84	-17,33
Delta	0,67	1,59	0,96
Rank	3	1	2



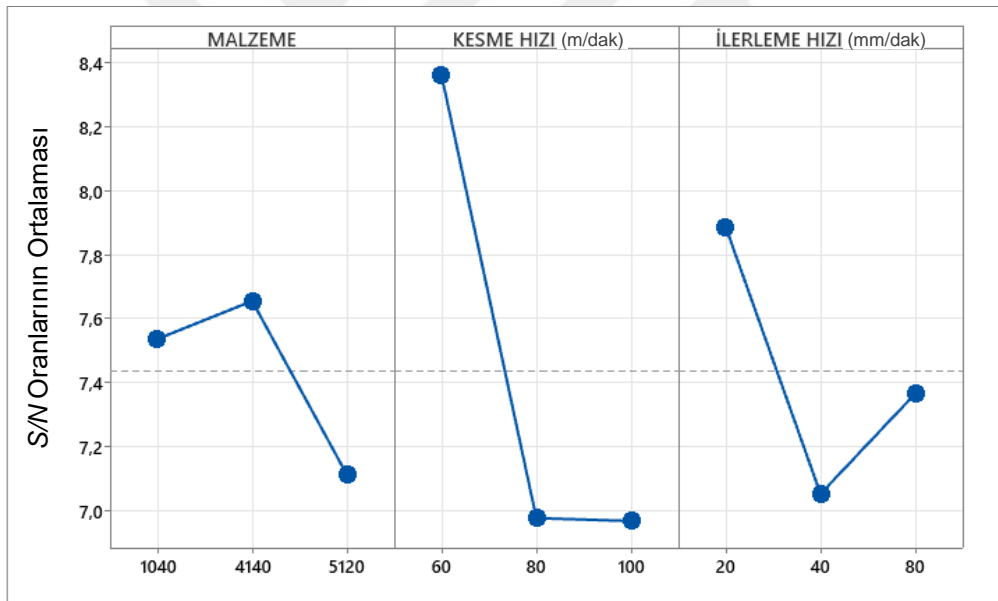
Şekil 6.3. S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği

Taguchi deney tasarımına dayalı olarak, MINITAB 22 programı kullanılarak elde edilen  $R_a$  yüzey pürüzlülüğü için faktörlerin ortalama tepki değerleri Şekil 6.4 ve S/N oranları Şekil 6.3'teki grafikte sunulmuştur. Bu verilere dayanarak, gelecekte yapılacak kesme işlemlerinde deneylerde optimum kesme koşullarının belirlenmesinde, malzeme, kesme hızı ve ilerleme hızına ilişkin verilerin sinyal gürültü oranları rehber olarak kullanılacaktır. Grafikte, kesme hızının 100 m/dak olduğu ve ilerleme hızının 40 mm/dak olduğu durumların S/N oranı açısından yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, malzeme türlerine göre S/N oranlarının birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, şerit testere ile gerçekleştirilen kesme işlemlerinde, benzer özelliklere sahip malzemeler için optimum kesme parametrelerinin kesme hızı ve ilerleme hızı olduğunu ve bu parametrelerin ideal kesme koşullarını sağlayacağını göstermektedir.

Tablo 6.4. Yüzey pürüzlülüğü faktörü ( $R_a$ ) için Ortalama tepki tablosu

Level	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)
1	7,536	8,359	7,886
2	7,655	6,977	7,053
3	7,113	6,968	7,366
Delta	0,543	1,391	0,833
Rank	3	1	2

Tablo 6.4'te sunulan veriler, yüzey pürüzlülüğü performans karakteristiğine ilişkin optimum seviyelerin belirlenmesinde kullanılan Taguchi tabanlı ortalama (means) değerlerini göstermektedir. Bu tablo, deneysel faktörlerin her bir seviyesinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini daha ayrıntılı biçimde değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. Şekil 6.4 ise, elde edilen ortalama değerlere dayanarak en uygun parametre seviyelerinin grafiksel dağılımını sunmakta ve optimum kesme koşullarının görsel olarak yorumlanmasına imkân tanımaktadır.



Şekil 6.4. Ortalamalar için ana etkiler grafiği

Elde edilen bulgular doğrultusunda, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerin kesme hızı ve ilerleme hızı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, Taguchi yöntemine dayalı olarak hesaplanan  $S/N$  oranları aracılığıyla optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler arasındaki ilişkiler, varyans analizi (ANOVA) yöntemiyle incelenmiştir. ANOVA, deneysel çalışmalarda kontrol faktörlerinin birbirleriyle olan etkileşimlerini değerlendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir yöntemdir (Yang et al., 2006). Malzeme türü, kesme hızı ve ilerleme hızı değişkenleri arasındaki etkileşimler  $S/N$

oranları üzerinden değerlendirilmiş olup, bu analizlere ilişkin ANOVA sonuçları Tablo 6.5'te detaylı şekilde sunulmuştur.

Tablo 6.5. S/N ANOVA Analiz sonuçları

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Malzeme	2	0,4881	8,84%	0,4881	0,24407	3,92	0,203
Kesme hızı (m/dk)	2	3,8467	69,67%	3,8467	1,92337	30,90	0,031
İlerleme hızı (mm/dk)	2	1,0621	19,24%	1,0621	0,53106	8,53	0,105
Error	2	0,1245	2,25%	0,1245	0,06224		
Total	8	5,5215	100,00%				

Tablo 6.6. ANOVA Analizi model özeti güven seviyesi

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
0,249472	97,75%	90,98%	2,52058	54,35%

*S* : Tahmini standart hata (residual standard deviation)

*R-sq* : R-kare (%); modelin veriyi ne kadar açıkladığını gösterir

*R-sq(adj)* : Düzeltilmiş R-kare; serbestlik derecelerine göre düzeltilmiş versiyon,

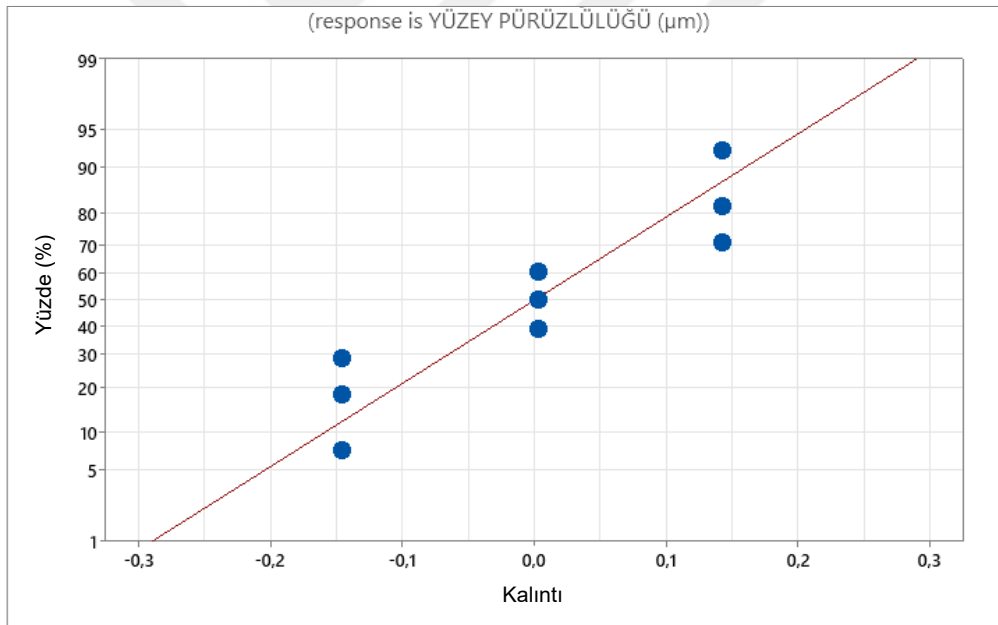
*PRESS* : Predicted Residual Sum of Squares; modelin tahmin gücü için bir ölçü,

*R-sq(pred)* : Tahmin edici R-kare; yeni veriler üzerindeki başarı ölçüsü

Tablo 6.5'te sunulan yüzey pürüzlülüğü verileri üzerinde gerçekleştirilen varyans analizinde, her bir kontrol parametresi için serbestlik dereceleri *DF* belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan tüm faktörlerin üç seviyeli olması nedeniyle, her bir parametrenin serbestlik derecesi  $(n-1)$  olarak hesaplanmıştır. Analiz çıktılarında yer alan düzenlenmiş kareler toplamı *Adj SS*, ilgili parametrenin yanıt değişkeni üzerindeki varyans katkısını ifade ederken; düzenlenmiş kareler ortalaması *Adj MS*, bu varyansın serbestlik derecesine oranlanmasıyla elde edilmektedir. *F-Value* değeri, her bir parametrenin model üzerindeki etkisini belirlemeye yardımcı olurken, *P-Value* değeri ise 0.05 veya daha küçük olması elde edilen farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, kesme hızı parametresinin *P-Value* değeri 0.031 olarak belirlenmiş olup, bu değer 0.05 anlamlılık düzeyinin altında olduğundan, istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir. Ayrıca bu parametrenin *F-Value* değeri (30.90) ve katkı oranı (%69,67) oldukça yüksek olup, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili faktör olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, ilerleme hızı (*P-Value* = 0.105) ve malzeme türü (*P-Value* = 0.203) istatistiksel olarak anlamlı bulunmamışsa da, ilerleme hızının *F-Value* değeri (8.53) ve özellikle ilerleme hızının %19,24'lük katkı oranı dikkate alındığında, yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin göz ardı edilemeyecek düzeyde

olduğu değerlendirilmektedir. Bu durum, sınırlı deney sayısı, ölçüm varyasyonları veya etkileşim faktörlerinin göz önüne alınmamış olmasından kaynaklanabilir. Benzer şekilde, literatürde de yalnızca *P-Value* değeri değil, katkı oranı ve *F-Value* değeri gibi ek istatistiksel göstergeler dikkate alınarak yorum yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Genel olarak varyans analizi (ANOVA) tablolarında yer alan *P-Value* değerleri, her bir katsayının istatistiksel anlamlılığını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. *P-Value* değerinin 0,05'ten küçük olması, ilgili katsayının modele anlamlı düzeyde katkı sağladığını ve bu katkının tesadüfi olmadığını göstermektedir (Neşeli 2013). Elde edilen verilere dayanarak, katkı yüzdeleri dikkate alındığında faktörlerin etki sıralaması; %69,67 ile kesme hızı, %19,24 ile ilerleme hızı ve %8,84 ile malzeme olarak belirlenmiştir. Bu sıralama, Tablo 6.3'te sunulan etki sıralamasıyla da uyumludur. Ayrıca, ANOVA analizinin güven düzeyi  $R-Sq = \%97,75$  olarak hesaplanmış olup, bu değer analizlerin yüksek derecede güvenilirlik taşıdığını ortaya koymaktadır.



Şekil 6.5. Normal olasılık grafiği

Normal olasılık grafiği, regresyon modeli denklemini ile karşılaştırıldığında, bireysel değerlerin sapmalarını ortaya koymaktadır. Çizgi etrafında yoğunlaşan noktalar, düşük sapma değerlerine işaret eder ve bu durum modelin uygunluğunu destekler. Noktaların çizgiye yakınlığı, ANOVA çalışmasının güvenilirliğini yansıtmaktadır. Yüzey pürüzlülüğüne ilişkin kalıntı analizine ait grafikler Şekil 6.5'te sunulmuştur. Normal olasılık grafiğinin neredeyse doğrusal bir dağılım göstermesi, hata terimlerinin normal dağıldığını kanıtlamaktadır.

Modelleme ve analiz süreçlerinde farklı değişkenlerin etkili olduğu durumlarda regresyon analizi sıklıkla tercih edilmektedir. Bu yöntem, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla uygulanmaktadır (Nas ve Gökkaya, 2017). Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğünün tahminine yönelik denklemlerin elde edilmesi amacıyla regresyon analizi kullanılmıştır. Tablo 6.7’de, üç farklı malzeme için en uygun yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşılabilmesi adına oluşturulan regresyon denklemleri sunulmuştur. Bu formüller, deneysel çalışma gerçekleştirilmeden önce istenilen yüzey kalitesinin tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır.

Tablo 6.7. Regresyon denklemi

Malzeme	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Denklem
AISI/SAE 1040	Yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )	= 10,61 - 0,0348 Kesme Hızı (m/dak) - 0,00630 İlerleme Hızı (mm/dak)
AISI/SAE 4140	Yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )	= 10,73 - 0,0348 Kesme Hızı (m/dak) - 0,00630 İlerleme Hızı (mm/dak)
AISI/SAE 5120	Yüzey pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )	= 10,19 - 0,0348 Kesme Hızı (m/dak) - 0,00630 İlerleme Hızı (mm/dak)

Yapılan analizler sonucunda, oluşturulan regresyon denklemlerinin ( $R_a$ ) için güven seviyesi %65,46 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6.8).

Tablo 6.8. Model özeti

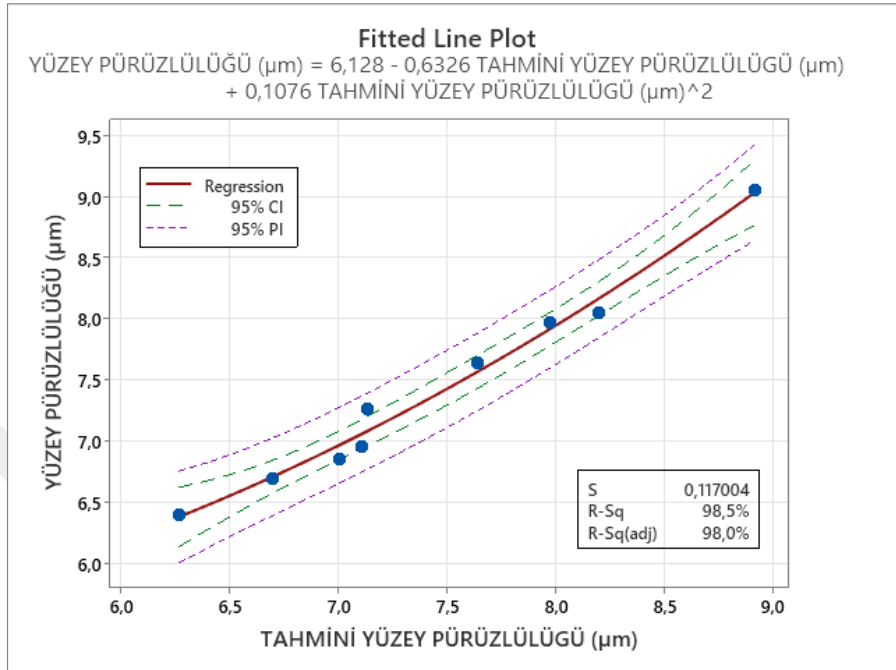
$S$	$R\text{-sq}$	$R\text{-sq}(adj)$	$PRESS$	$R\text{-sq}(pred)$
0,690474	65,46%	30,92%	9,83264	0,00%

Tablodaki kısaltmaların açıklamaları için Tablo 6.3’a bakınız.

Ayrıca, Şekil 6.6’da, ikinci dereceden regresyon modelinin öngörülen değerleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır ve bu iki set arasında yüksek bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir. ( $PI:\%95$ ) Öngörülen değerlerin sınırları, ( $CI:\%95$ ) güven aralığının sınırlarını göstermektedir. İkinci dereceden regresyon modeline dayalı hesaplamalarda,  $R^2$  değeri ( $R_a$ ) için %98,51 olarak belirlenmiştir. Bu durum, ikinci dereceden regresyon modelinin yüzey pürüzlülüğünü tahmin etme konusunda doğrusal modele kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

### Regresyon tahmin denklemi

$$\text{YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ } (\mu\text{m}) = 6,128 - 0,6326 \text{ TAHMİNİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ } (\mu\text{m}) + 0,1076 \text{ TAHMİNİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ } (\mu\text{m})^2 \quad (6.1)$$



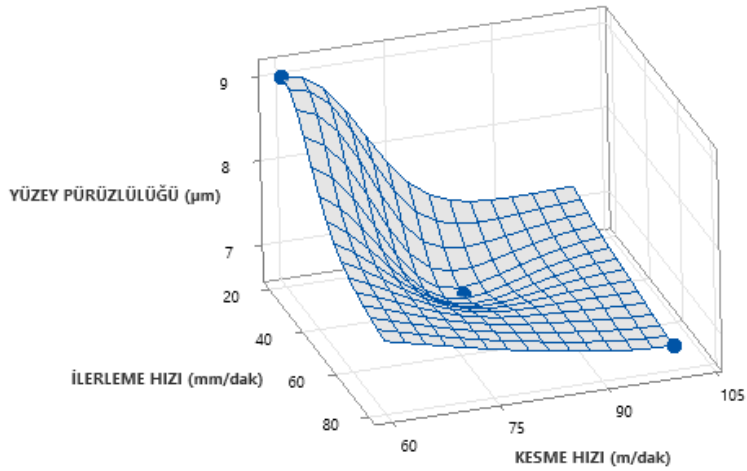
Şekil 6.6. Tahmini deneysel sonuçların karşılaştırıldığı regresyon modeli

Regresyon tahmin denklemleri (6.1) kullanılarak oluşturulan üç boyutlu (3B) eş yükselti grafiklerinde, kesme hızı ve ilerleme hızının ( $R_a$ ) üzerindeki etkileri malzeme bazında değerlendirilmiştir. Elde edilen grafikler, deney parametrelerinin yalnızca bireysel etkilerini değil, aynı zamanda birbirleriyle olan etkileşimlerini de açıkça ortaya koymaktadır.

AISI/SAE 1040 malzemesi için oluşturulan (3B) eşyükselti grafiğinde, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün belirgin şekilde azaldığı, buna karşın ilerleme hızındaki artışın yüzey kalitesini olumsuz etkilediği görülmüştür (

Şekil 6.7). En düşük  $R_a$  değeri, 100 m/dak kesme hızı ve 80 mm/dak ilerleme hızı kombinasyonunda elde edilmiştir. Bu durum, literatürde de ifade edildiği üzere, yüksek kesme hızlarının daha düzgün yüzeyler elde edilmesine olanak sağladığını ve AISI 1040 gibi orta karbonlu çeliklerin bu hızlara uyum sağlayabildiğini göstermektedir (Bhattacharya et al., 2009).

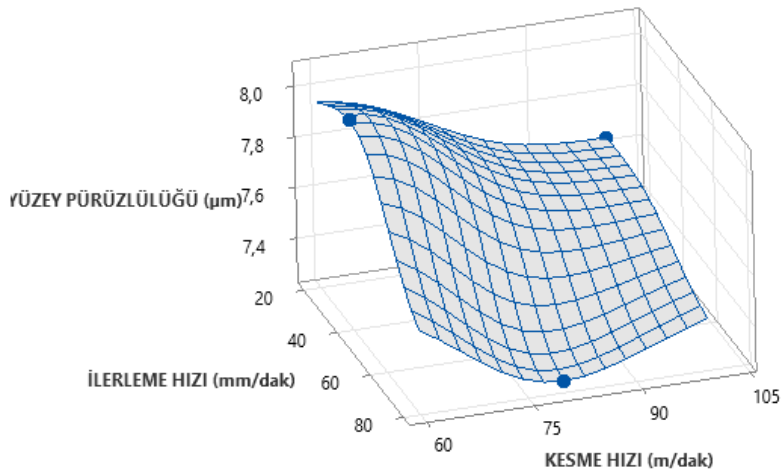
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ vs KESME HIZI (m/dak); İLERLEME HIZI (mm/dak)



Şekil 6.7. AISI/SAE 1040 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri

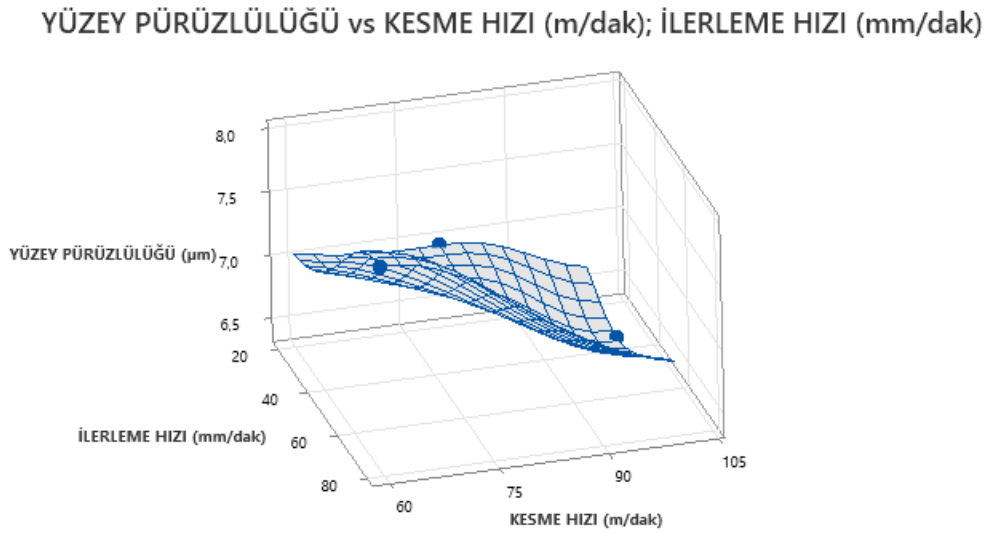
AISI/SAE 4140 malzemesi için hazırlanan (3B) eşyükselti grafiğinde ise en uygun yüzey pürüzlülüğü, 80 m/dak kesme hızı ve 80 mm/dak ilerleme hızında elde edilmiştir (Şekil 6.8). Grafik eğimi, kesme hızı ile ilerleme hızı arasındaki etkileşimin daha dengeli olduğunu, yani bu iki parametrenin birlikte optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Chandrasekaran (1992) tarafından yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi, alaşımlı çeliklerde orta düzey kesme parametreleri yüzey kalitesi açısından optimum sonuçlar verebilmektedir.

YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ vs KESME HIZI (m/dak); İLERLEME HIZI (mm/dak)



Şekil 6.8. AISI/SAE 4140 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri

AISI/SAE 5120 malzemesi için elde edilen (3B) eşyükselti grafiği ise, yüksek kesme hızının ve düşük ilerleme hızının birlikte uygulandığı durumda en düşük  $R_a$  değerinin elde edildiğini göstermektedir (Şekil 6.9). 100 m/dak kesme hızı ve 40 mm/dak ilerleme hızı kombinasyonu bu malzeme için en uygun sonucu vermiştir. Bu malzeme sementasyon çeliği olduğundan, yüzey sertliği yüksektir ve yüksek kesme hızları sürtünmeyi azaltarak daha düzgün bir yüzey elde edilmesini sağlar. Andersson (2000) da sementasyon çeliklerinde düşük ilerleme hızlarının yüzey kalitesine olumlu etkide bulunduğunu belirtmiştir. Bu sonuç, ilerleme hızı arttığında yüzey pürüzlülüğünde artış gözlemlendiğini göstererek bu parametrenin önemini vurgulamaktadır.



Şekil 6.9. AISI/SAE 5120 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri

Genel olarak değerlendirildiğinde, tüm malzemeler için kesme hızının yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha baskın bir etkisi olduğu ve ANOVA analizinden elde edilen istatistiksel sonuçlarla bu durumun tutarlılık gösterdiği görülmektedir. Ancak kesme ve ilerleme hızının yüzey kalitesine olan etkisi, kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine bağlı olarak değişmekte ve parametrelerin birbirleriyle olan etkileşimi bu farklılıkları ortaya çıkarmaktadır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, endüstriyel üretim süreçlerinin başlangıç aşaması olan malzemelerin şerit testere ile kesilmesi işleminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada, Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak, en az sayıda deneyle en etkili kesme parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Deneysel veriler,  $R_a$  ortalama yüzey pürüzlülük değeri üzerinden üç farklı malzeme (AISI/SAE 1040, AISI/SAE 4140, AISI/SAE 5120), üç farklı kesme hızı (60, 80, 100 m/dak) ve üç farklı ilerleme hızı (20, 40, 80 mm/dak) kullanılarak deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Yapılan deneylerle yüzey kalitesini iyileştirmek amacıyla kesme parametrelerinin optimum seviyeleri araştırılmıştır. Yüzey kalitesinin en iyi olduğu parametreler belirlenirken, Taguchi  $L_9$  ortogonal dizilim yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde,  $R_a$  değerleri ölçülmüş ve elde edilen veriler MINITAB 22 yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin %69,67 ile kesme hızı olduğu tespit edilmiştir. İlerleme hızı %19,24 etkiyle ikinci sırada gelirken, malzeme türü %8,84 ile en az etkili parametre olarak belirlenmiştir.

$S/N$  (Sinyal/Gürültü) oranı en yüksek olan durumda, malzemenin AISI/SAE 5120, kesme hızının 100 m/dak ve ilerlemenin 40 mm/dak seviyelerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir ( $R_a=6,406 \mu m$ ). Bu sonuç, Taguchi yöntemine göre en iyi  $S/N$  oranı (-16,1317) ile de uyumludur. Ayrıca, ANOVA analizleri, bu sonuçların yüksek bir güvenilirlik düzeyine ( $R^2 = \%97,75$ ) sahip olduğunu göstermiştir.

Ayrıca yüzey kalitesinin en kötü olduğu parametreler belirlenirken,  $S/N$  oranı en düşük olan durumda, malzemenin AISI/SAE 1040, kesme hızının 60 m/dak ve ilerlemenin 20 mm/dak seviyelerinde en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerine ulaşıldığı gözlemlenmiştir.  $S/N$  oranı sayesinde her parametrenin yüzey pürüzlülüğüne olan katkı yüzdesi belirlenmiş ve bu sayede optimum kesme parametreleri daha objektif bir şekilde tanımlanmıştır.

Regresyon analizi ile oluşturulan modellerde, yüzey pürüzlülüğü tahmininde en yüksek doğruluk ikinci dereceden regresyon modeliyle elde edilmiştir ( $R^2 = \%98,51$ ). Bu model, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey kalitesine olan etkisini doğru bir şekilde yansıtmaktadır. Regresyon modeli ile elde edilen tahmin değerleri ile deneysel veriler arasında yüksek bir uyum gözlemlenmiş olup, bu uyumun grafiksel olarak da doğrulandığı görülmüştür. İkinci dereceden modelleme sayesinde, farklı parametre kombinasyonları için yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmin edilebilmesi, üretim sürecinde önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Yüzey grafikleri ile yapılan analizlerde, kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi açıkça gözlemlenmiştir. Elde edilen grafiklerde, kesme hızının artışıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, ancak ilerleme hızının belirli bir seviyeye kadar düşüş sağladığı ve daha sonra yüzey pürüzlülüğünü artırdığı görülmektedir. Bu durum, kesme hızı ve ilerleme hızının optimum kombinasyonunun yüzey kalitesini belirleme açısından kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Özellikle AISI/SAE 5120 malzemesi için çizilen yüzey grafikleri, bu malzemenin yüksek kesme hızında daha iyi yüzey kalitesi sağladığını göstermektedir.

Sonuç olarak, kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede en etkili parametre olduğu görülmüştür. İlerleme hızı, kesme hızından sonra yüzey pürüzlülüğünü etkileyen bir diğer önemli faktör olarak belirlenmiştir. Ayrıca, farklı özelliklere sahip çelik malzemeleri arasında, yüzey pürüzlülüğünün deney tasarımında en az etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Bu durum, aynı grup çelik malzemelerinde kesme hızı ve ilerleme hızı parametrelerinin optimum seviyelerinin seçilerek en iyi yüzey kalitesine ulaşılacağı anlamına gelmektedir.

#### Öneriler:

Bu çalışma, şerit testere ile yapılan kesme işlemlerinin optimize edilmesi için önemli bir temel oluşturmuş olup, özellikle endüstriyel uygulamalarda verimliliği artırmaya yönelik katkılar sağlayabilir.

Gelecek çalışmalarda, farklı malzeme türlerinin ve kesici takımların etkisi daha geniş bir yelpazede incelenebilir, böylece daha geniş veri setleriyle kesme parametrelerinin daha da özelleştirilmiş seviyeleri belirlenebilir.

Ayrıca, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü dışında, takım ömrü, işlem süresi ve maliyet gibi ek faktörler göz önünde bulundurularak daha kapsamlı analizler yapılabilir.

Farklı takım geometrilerinin ve kesme takımı malzemelerinin etkisi de incelenerek, kesme işlemlerinin genel performansı hakkında daha ayrıntılı bilgi sağlanabilir.

## 8. KAYNAKCA

- A. Bhattacharya, S. Das, P. Majumder, and A. Batish, 2009, “Estimating the effect of cutting parameters on surface finish and power consumption during high speed machining of AISI 1045 steel using Taguchi design and ANOVA,” *Prod. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 31–40, 2009, doi: 10.1007/s11740-008-0132-2.
- Ahmad, M., Hogan, B., Goode, E. 1988, Effect of machining parameters and workpiece shape on bandsawing process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 29: 173-183.
- Andersson, C. 2001, Bandsawing part III: stress analysis of saw tooth microgeometry. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41: 255-263
- Andersson, M. 2000, Influence of cutting parameters on surface integrity in hard turning of case-hardened steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 100(1–3), 148–152.
- Aran Makine, <https://aranmakina.com/serit-testere-tezgahi-nedir-ozellikleri-ve-kisimlari-nelerdir> [Ziyaret tarihi:03.Nisan.2025.]
- Asiltürk İ., Ünüvar A., 2008, Intelligent adaptive control and monitoring of band sawing using a neural-fuzzy system. *Journal of materials processing technology 209 (2009) 2302–2313*
- Bhattacharya, A., Batish, A., & Singla, A. K. 2009, Design and analysis of experiments in machining of hardened steel using response surface methodology. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3–4), 256–266.
- Boruimc <https://boruimc.com/tr/urun/manuel-cift-kolonlu-serit-testere-makinesi-gh4230/> [Ziyaret tarihi:03. Nisan.2025.]
- Byrne, D. M., & Taguchi, S. 1987, The Taguchi Approach to Parameter Design. *Quality Progress*, 20(12), 19–26.
- Chandrasekaran, H., Svensson S., Sandström R. 1984, On the nature of micro-chipping of HSS saw teeth during power hacksawing. *Annals of CIRP* 33: 75-80.
- Chandrasekaran, M. 1992, *Machining of difficult-to-cut materials*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Chenlongbandsaw <http://tr.chenlongbandsaw.com/band-saw-machine/horizontal-band-saw/industrial-horizontal-band-saw-machine.html> [Ziyaret tarihi:03. Nisan.2025.]

- Detroitbandsaw, <https://www.detroitbandsaw.com/what-materials-can-you-cut-with-a-band-saw/> [Ziyaret tarihi:03.Nisan.2025.]
- Dikenoğlu E., 2005, Metal kesmede lama testere dişlerinin kesen ağızlarında oluşan küçük kopmaların incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 20-29.
- Drozda, T.J., Wick, C. 1983, Tool And manufacturing. Engineers Handbook, 4th Edition, Volume1, Machining, Chapter 6, Dearborn/Michigan
- Factorneed <https://www.factorneed.com/tr/all-page-companies?s=25&t=Kesme> [Ziyaret tarihi:03.04.2025.]
- Hnmagazine, <https://hnmagazine.co.uk/home-and-garden/top-5-uses-of-a-bandsaw-in-construction/> [Ziyaret tarihi:03. Nisan.2025.]
- İstockphoto, <https://www.istockphoto.com/tr/search/2/image-film?phrase=Prototip%20%C5%9Ferit%20testere> [Ziyaret tarihi:03. Nisan.2025.]
- Ko, T.J., Kim, H.S. (1999). Mechanistic cutting force model in band sawing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39: 1185-1197.
- LUO L., Ding Z, Ding S., Jiang P, Fan L., Xiaol, Pan B, Boyoung A., Joonkkyu N., Li W., Changsoo H. (2019) The Mechanical Modeling and design of saw frame in band sawing machine. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Vol. 20, No. 12 pp. 390-397, 2019.*
- Montgomery, D. C. (2012). Design and Analysis of Experiments (8th ed.). Wiley.
- Mulaitat A. (2022). Şerit testere ile kesme işleminde kesme parametrelerinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.
- Nas, E., & Gökkaya, H. (2017). Experimental and statistical study on machinability of the composite materials with metal matrix Al/B 4 C/graphite. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 48, 5059-5067.
- Neşeli S. (2013) Tırlama titreşimleri üzerine süreç sönmleme etkisinin analitik olarak araştırılması ve tornalamada kararlı kesme derinliği ile süreç sönmleme değerlerine bağlı parametre optimizasyonu. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, *Fen bilimleri Enstitüsü*, Konya, 77-78

- Ozcomakina, 2025, TA300 Şerit Testere Tezgâhı <https://www.ozcomakina.com/tr-TR/ta300-tam-otomatik-erit-testere-dz-kesim-p-61f73fc2-f812-4140-a44b-08da7ba2743b> [Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2025].
- Ozcomakina <https://www.ozcomakina.com/tr-TR/t125dc-erit-testere-p-86700fc7-2d6b-40a7-a442-08da7ba2743b> [Ziyaret tarihi:03. Nisan.2025.]
- Phadke, M. S. (1989). Quality Engineering Using Robust Design. Prentice Hall.
- Ross, P. J. (1996). Taguchi Techniques for Quality Engineering (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Roy, R. K. (1990). A Primer on the Taguchi Method. Van Nostrand Reinhold.
- Taguchi, G. (1986). Introduction to Quality Engineering. Asian Productivity Organization.
- Takimarket <https://www.takimarket.net/hammer-n2-35-seri-t-testere-maki-nasi-311> [Ziyaret tarihi:03. Nisan.2025.]
- Tesamakine <https://www.tesamakine.com/urunler/serit-testereler/> [Ziyaret tarihi:03. Nisan.2025.]
- Türk Standartları, (1989), “Testereler-Serit-Metal Kesmek için-Terimler ve Tarifler”, TS6851, Ankara.
- Wu S., Huang M, Zhou C. ve Wei C. (2018). Study on the Cutting Efficiency of High-Speed Band Saw Blade by Taylor Tool Life and Fractal Equations. *MATEC Web of Conferences* 201, 01001 (2018)
- Yaka H., Akkuş H. ve Uğur L. (2016). AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu *CBÜ Fen Bil. Dergi.*, Cilt 12, Sayı 2, 283-288 s
- Yang, Y. K., Shie, J. R., ve Huang, C. H. (2006). Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end-milling process. *Materials and Manufacturing Processes*, 21(8), 832-837.
- Yıldız S., Atalı G, Beker E. Ve Birgül U. (2023). Şerit testere tezgâhlarında kesme performansını iyileştirmek için kesme parametrelerinin incelenmesi. *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci.*, 2023; 12(4), 1492-1498