

Şerit Testere ile Kesilen Metalik Yüzeyin Pürüzlülük Değerinin Parametrik Optimizasyonu

Hakan SUMAK^{1*} ve Süleyman NEŞELİ²

¹Makine Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Türkiye
(<https://orcid.org/0009-0009-5773-0139>)

²Makine Mühendisliği / Teknoloji Fakültesi, Selçuk Üniversitesi, Türkiye

*(hakan_sumak@hotmail.com)

(Received: 28 May 2025, Accepted: 04 June 2025)

(5th International Conference on Contemporary Academic Research ICCAR 2025, May 30-31, 2025)

ATIF/REFERENCE: Sumak, H. & Neşeli, S. (2025). Şerit Testere ile Kesilen Metalik Yüzeyin Pürüzlülük Değerinin Parametrik Optimizasyonu. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(6), 41-53.

Özet – 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 İle Kesme, Optimizasyon, Yüzey Pürüzlülüğü.

I. 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.

Şerit testere ile yapılan kesme işlemleri, üretim sürecinde yüksek yüzey kalitesi, düşük maliyet ve takım ömrünü artırma gibi avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Literatürde, kesme kuvvetlerinin modellenmesi [1], kesme parametrelerinin yüzey kalitesi ve takım ömrüne etkileri [2],[3], testere geometrisinin talaş oluşumuna etkisi [4], yapay zekâ tabanlı kontrol sistemleri [5] ve takım ömrünü uzatmaya yönelik yapay sinir ağı modelleri [6] gibi çok çeşitli konular ele alınmıştır. Bu çalışmalar, şerit testere ile kesme sürecinin optimizasyonuna yönelik önemli veriler sunmaktadır.

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.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

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 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 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 1. OZCO TA300 Mafsallı şerit testere tezgâhı [7]

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 1. OZCO TA300 Mafsallı testere tezgâhı özellikleri [7]

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 (AISI 1040, AISI 4140 ve DIN 1.7131) Ø80x3mm kalınlığında numuneler şerit testerede kesilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri Tablo 2,

Tablo 3 ve

Tablo 4'te detaylı olarak sunulmuştur.

Tablo 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 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 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 tezgahında deney numunelerinin kesiminde Şekil 2’de gösterilen Vikus marka M42 3/4 diş ölçüsüne sahip şerit testere kullanılmıştır.



Şekil 2. Şerit testere

Kesme parametreleri, tezgâh üzerinden üç farklı kesme hızı (m/dak, V) ve üç farklı ilerleme hızı (mm/dak, f) seçilerek belirlenmiştir. Bu parametreler, deney tasarımı kapsamında seçilen seviyelerle birlikte Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 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 3). Her bir numune için, yüzey pürüzlülük değeri üç farklı noktadan ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Tablo 6'de, kullanılan yüzey pürüzlülük ölçüm cihazının teknik özellikleri sunulmuştur.

Tablo 6. Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri [8]

Dedektör Ölçüm Kuvveti	0,75 Mn
Kalem Ucu Açısı	60°
Kalem Ucu Yarıçapı	2 μ 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 μ 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 3. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

III. BULGULAR

Deney tasarım verileri ve seviyeleri dikkate alındığında, işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini incelemek amacıyla en uygun deney tasarım yöntemi olarak Taguchi L9 ortogonal dizilimi seçilmiştir. Tüm verilerle 27 deney yapmak, hem maliyet açısından hem de zaman açısından verimsiz olacaktır. Bu nedenle, Taguchi deney tasarım metodu kullanılarak L9 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 7'de sunulmuştur.

Tablo 7. L9 ortogonal dizilim kullanarak deney tasarımı ve deney sonuçları

Deney No	Malzeme	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dak)	Ra (μm)
1	AISI 1040	60	20	9,054
2	AISI 1040	80	40	6,700
3	AISI 1040	100	80	6,855
4	AISI 4140	60	40	8,052
5	AISI 4140	80	80	7,271
6	AISI 4140	100	20	7,643
7	AISI 5120	60	80	7,972
8	AISI 5120	80	20	6,960
9	AISI 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.

Deney numuneleri, ortogonal dizilim parametrelerine uygun olarak mafsallı şerit testere tezgâhında kesilmiştir. Kesilen numunelerin yüzey pürüzlülüğü, Şekil 3'te gösterilen yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüş ve Ra değerleri belirlenip kaydedilmiştir. Ra (yüzey pürüzlülüğü) 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 4. Deney numunelerinin 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, işlemde istenen en iyi sonuç olarak kabul edilmektedir. Bu amaçla, MINITAB 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 8 'de sunulmuştur. Denklemden, n tekrarlama sayısını, yi ise her bir deneyde ölçülen değişkenin değeri olarak temsil etmektedir. Bu metodolojik yaklaşım, optimum kesme parametrelerinin belirlenmesine ve yüzey pürüzlülüğünün minimize edilmesine olanak tanımaktadır.

Tablo 8. L9 Ortogonal diziliminde Ra için S/N oranları

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

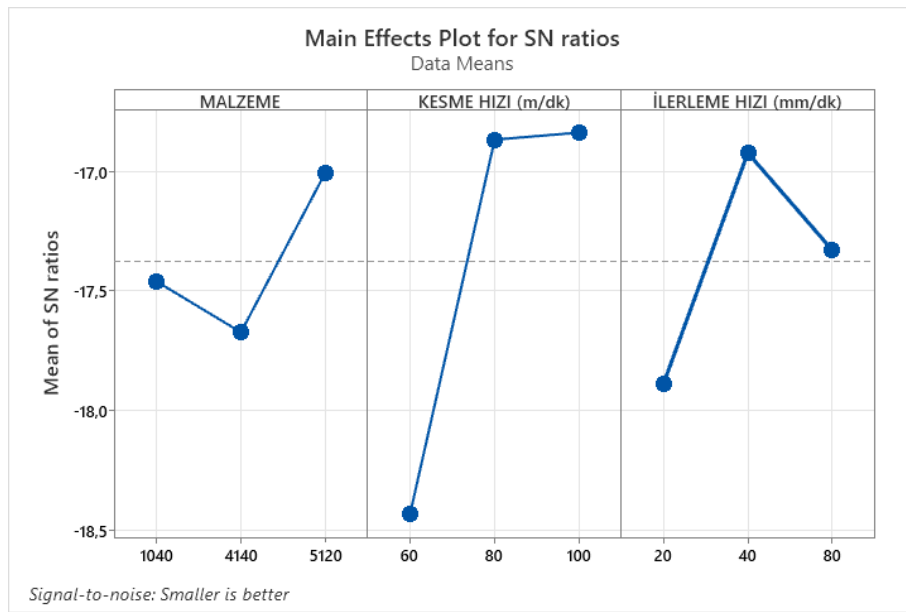
Taguchi metodunda, sinyal/gürültü (S/N) oranı, deneysel verilerin analizinde en önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Taguchi metoduna göre, en ideal kesme koşulları, S/N oranının en yüksek olduğu deneyde elde edilmektedir. Bu çalışmada yapılan deneysel analizlere göre, en ideal kesme 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 Ra = 6,406 μm olarak ölçülmüştür.

Ra yüzey pürüzlülük değerinin optimum seviyelerini belirlemek amacıyla, Taguchi tabanlı tepki tablosu ile birlikte S/N oranlarına ait tepki tablosu Tablo 9'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 9. Yüzey pürüzlülüğü faktörü (Ra) için sinyal gürültü oranları için tepki tablosu

Level	Malzeme	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)
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



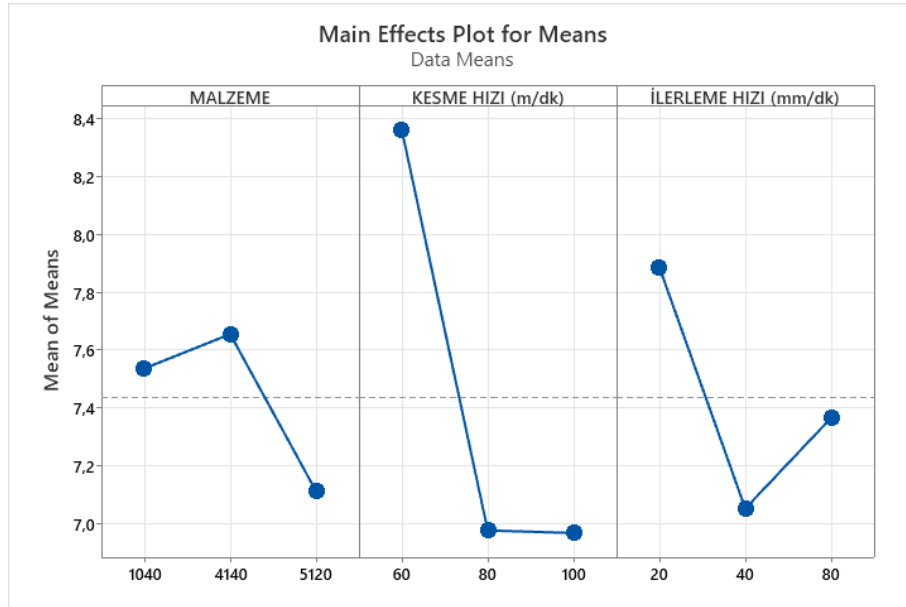
Şekil 5. S/N oranına göre faktör seviyelerinin grafiği

Taguchi deney tasarımına dayalı olarak, MINITAB programı kullanılarak elde edilen Ra yüzey pürüzlülüğü için faktörlerin ortalama tepki değerleri Şekil 6 ve sinyal/gürültü (S/N) oranları Şekil 5'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 10. Yüzey pürüzlülüğü faktörü (Ra) için Ortalama tepki tablosu

Level	Malzeme	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Hızı (mm/dk)
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 10'te sunulan veriler, Ra 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 ise, elde edilen ortalama değerlere dayanarak en uygun parametre seviyelerinin grafiksel dağılımını sunmakta ve optimum kesme koşullarının görsel olarak yorumlanmasına imkân tanımaktadır.



Şekil 6. 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 sinyal/gürültü (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 [9]. Malzeme türü, kesme hızı ve ilerleme hızı değişkenleri arasındaki etkileşimler S/N oranları üzerinden değerlendirilmiş olup, bu analizlere ilişkin ANOVA sonuçları

Tablo 11'te detaylı şekilde sunulmuştur.

Tablo 11. S/N ANOVA Analiz sonuçları

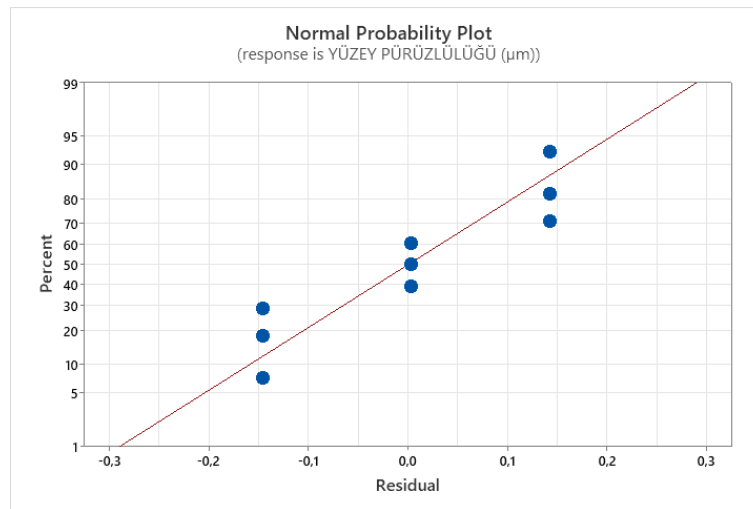
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Malzeme	2	0,4881	8,84%	0,4881	0,24407	3,92	0,203
Kesme Hızı (m/dk)	2	3,8467	69,67%	3,8467	1,92337	30,90	0,031
İlerleme Hızı (mm/dk)	2	1,0621	19,24%	1,0621	0,53106	8,53	0,105
Error	2	0,1245	2,25%	0,1245	0,06224		
Total	8	5,5215	100,00%				

Tablo 12. 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%

Genel olarak varyans analizi (ANOVA) tablolarında yer alan P değerleri, her bir katsayının istatistiksel anlamlılığını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. P değerinin 0,05'ten küçük olması, ilgili katsayının modele anlamlı düzeyde katkı sağladığını ve bu katkının tesadüfi olmadığını göstermektedir [10]. 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 10'te sunulan etki sıralamasıyla da uyumludur. Ayrıca, ANOVA analizinin güven düzeyi R-Sq = %97,75 olarak hesaplanmış olup (

Tablo 12), bu değer analizlerin yüksek derecede güvenilirlik taşıdığını ortaya koymaktadır.



Şekil 7. 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 7'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 [11]. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğünün tahminine yönelik denklemlerin elde edilmesi amacıyla regresyon analizi kullanılmıştır. Tablo 13’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 13. Regresyon denklemi

Malzeme	Ra (μm)		Denklem
AISI 1040	(Ra) Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	=	10,61 - 0,0348 Kesme Hızı (m/dk) - 0,00630 İlerleme Hızı (mm/dk)
AISI 4140	(Ra) Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	=	10,73 - 0,0348 Kesme Hızı (m/dk) - 0,00630 İlerleme Hızı (mm/dk)
AISI 5120	(Ra) Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	=	10,19 - 0,0348 Kesme Hızı (m/dk) - 0,00630 İlerleme Hızı (mm/dk)

Yapılan analizler sonucunda, oluşturulan regresyon denklemlerinin yüzey pürüzlülüğü için güven seviyesi %65,46 olarak hesaplanmıştır (Tablo 14).

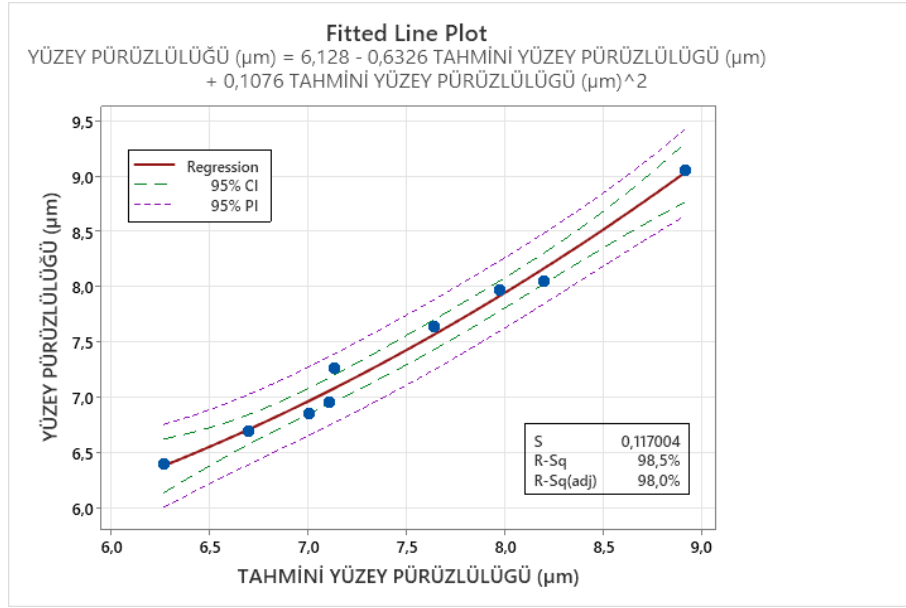
Tablo 14. Model özeti

S	R-sq	R-sq (adj)	PRESS	R-sq (pred)	AICc	BIC
0,690474	65,46%	30,92%	9,83264	0,00%	65,58	24,76

Ayrıca, Şekil 8’de, 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 yüzey pürüzlülüğü (Ra) 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:

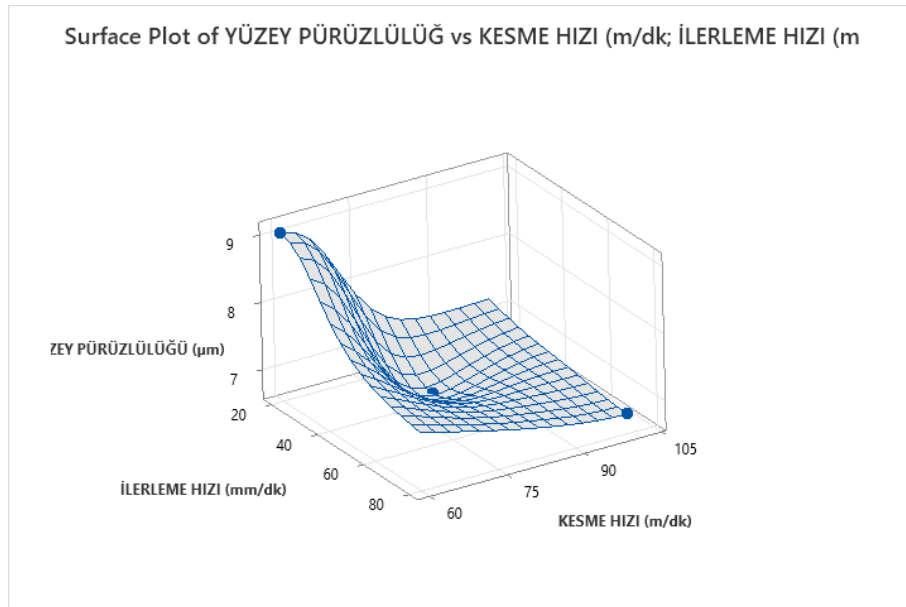
$$\text{YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ } (\mu\text{m}) = 6,128 - 0,6326 \text{ TAHMİNİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ } (\mu\text{m}) + 0,1076 \text{ TAHMİNİ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ } (\mu\text{m})^2$$



Şekil 8. Tahmini deneysel sonuçların karşılaştırıldığı regresyon modeli

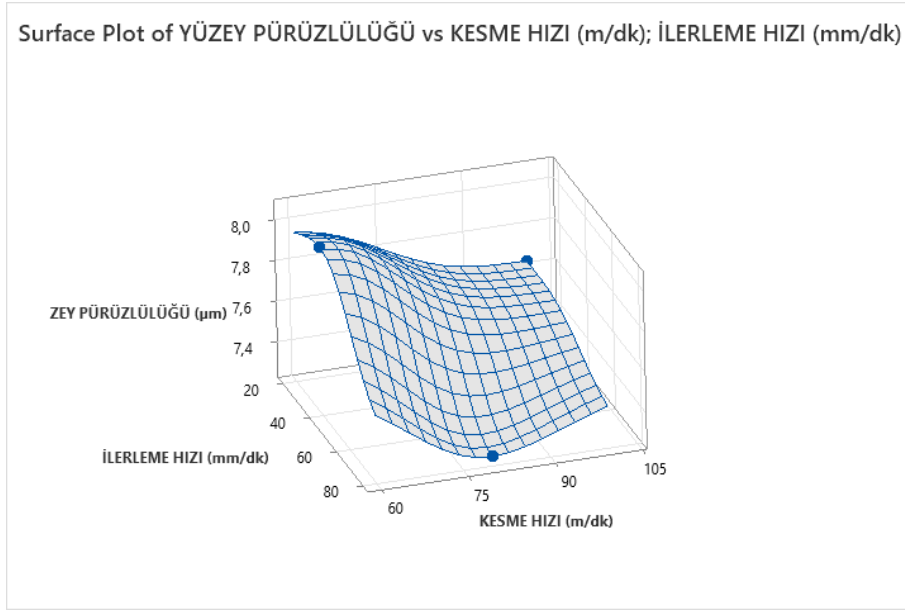
Regresyon tahmin denklemleri kullanılarak eşyükselti ve üç boyutlu (3B) yüzey grafiklerinin çizdirilmiştir. Bu grafikler, deneysel parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini ve optimum parametre kombinasyonlarını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Eşyükselti ve (3B) yüzey grafiklerinde, optimum parametrelerin bulunduğu bölgeler, yüzey pürüzlülüğünün en düşük olduğu alanlar olarak tespit edilmiştir.

AISI 1040 malzemesi için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafiklerinin birleşimi Şekil 9’de sunulmuştur. Bu grafikte, en ideal yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için en uygun parametrelerin kesme hızının 100 m/dak ve ilerleme hızının 80 mm/dak olduğu belirlenmiştir.



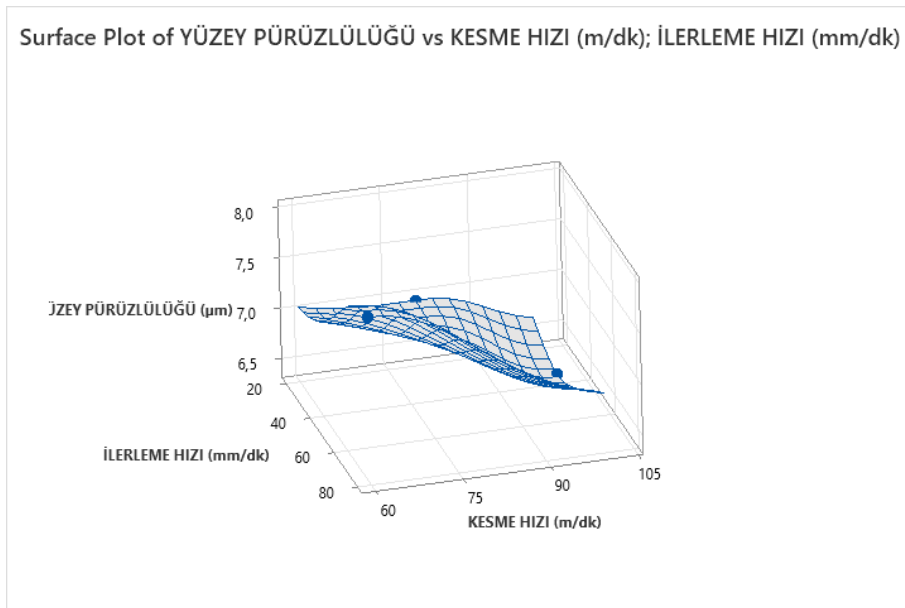
Şekil 9. AISI 1040 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri

Benzer şekilde, AISI 4140 malzemesi için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafiklerinin birleşimi Şekil 10’de sunulmaktadır. Bu grafikte en uygun parametreler, kesme hızının 80 m/dak ve ilerleme hızının 80 mm/dak olduğu bölgede yer almaktadır.



Şekil 10. AISI 4140 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri

Son olarak, AISI 5120 malzemesi için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafiklerinin birleşimi Şekil 11’da verilmiştir. Burada, en ideal yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için en uygun parametrelerin kesme hızının 100 m/dak ve ilerleme hızının 40 mm/dak olduğu görülmektedir.



Şekil 11. AISI 5120 malzeme için parametre etkilerini gösteren yüzey ve eşyükselti grafikleri

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, şerit testere ile gerçekleştirilen kesme işleminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Deneyler, üç farklı çelik malzeme (AISI 1040, AISI 4140, AISI 5120), üç kesme hızı (40, 60, 80 m/dak) ve üç ilerleme hızı (20, 40, 80 mm/dak) parametresi altında gerçekleştirilmiştir. Analizler, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en belirleyici faktörün %69,67 ile kesme hızı olduğunu göstermiştir. İlerleme hızı %19,24 etkisiyle ikinci sırada yer alırken, malzeme türünün etkisi %8,84 ile en düşük seviyede kalmıştır.

Optimum yüzey kalitesi, AISI 5120 malzemesi, 80 m/dak kesme hızı ve 40 mm/dak ilerleme hızı kombinasyonunda elde edilmiştir ($R_a = 6,406$). ANOVA sonuçları ve yüksek R^2 değeri (%97,75) ile bu

bulguların güvenilirliği doğrulanmıştır. Deneydeki her malzeme için en uygun yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşılabilmesi adına oluşturulan regresyon denklemleri sunulmuştur. Ayrıca, ikinci dereceden regresyon modeli ($R^2 = \%98,51$) ile kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri başarılı şekilde tahmin edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü analizlerinde, kesme hızının artmasının yüzey kalitesini artırdığı; ilerleme hızının ise belirli bir noktaya kadar iyileştirme sağladıktan sonra pürüzlülüğü artırdığı gözlemlenmiştir. Bu durum, optimum kesme hızı ve ilerleme hızının yüzey kalitesini belirlemede kritik rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, kesme hızı yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmede en etkili parametre olarak belirlenmiş, ilerleme hızı ise ikinci önemli faktör olmuştur. Malzeme türü ise aynı çelik grubu içinde daha sınırlı bir etkiye sahiptir. Bu bulgular, üretim süreçlerinde kesme ve ilerleme hızlarının optimize edilmesiyle yüzey kalitesinin artırılabilceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ko, T.J., Kim, H.S. (1999). Mechanistic cutting force model in band sawing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39: 1185-1197.
- [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.
- [3] A. Bhattacharya, S. Das, P. Majumder, and A. Batish, "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.
- [4] Andersson, C. (2001). Bandsawing part III: stress analysis of saw tooth microgeometry. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41: 255-263
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] Ozco 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].
- [8] Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri https://www.olcumstore.com/urun/mitutoyo-surfest-sj-210-portatif-yuzey-puruzluluk-olcum-cihazı-178-562-11d?srsId=AfmBOoqaf0cOhgup2XFRYDoPdsC5ABf4bJKJ0Rlwn3F2sOq5ml0BCNf_ [Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2025].
- [9] Yüzey pürüzlülük cihazı teknik özellikleri https://www.olcumstore.com/urun/mitutoyo-surfest-sj-210-portatif-yuzey-puruzluluk-olcum-cihazı-178-562-11d?srsId=AfmBOoqaf0cOhgup2XFRYDoPdsC5ABf4bJKJ0Rlwn3F2sOq5ml0BCNf_ [Ziyaret Tarihi: 5 Mart 2025].
- [10] Neşeli S. (2013) Tırlama titreşimleri üzerine süreç sönümleme etkisinin analitik olarak araştırılması ve tornalamada kararlı kesme derinliği ile süreç sönümleme değerlerine bağlı parametre optimizasyonu. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Konya, 77-78
- [11] 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.
- [12] Yang, Y. K., Shie, J. R., & 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.