

## AISI 310 Kalite Östenitik Paslanmaz Sac Malzemenin Lazerle Kesilmesinde Kesme Parametrelerinin Kesim Kalitesine Etkisinin İncelenmesi

İbrahim CEBECİ<sup>1</sup>, Barış ÖZLÜ<sup>2\*</sup>, Halil DEMİR<sup>3</sup>

**ÖZET:** Yapılan çalışmada, AISI 310 paslanmaz sac malzemesinin lazer tezgâhında kesilmesiyle kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliğine etkileri araştırılmıştır. Lazer kesme deneyleri iki farklı gaz basıncı (0.8 bar ve 1 bar), dört farklı kesme hızı (20 mm.dak<sup>-1</sup>, 24 mm.dak<sup>-1</sup>, 28 mm.dak<sup>-1</sup> ve 32 mm.dak<sup>-1</sup>) ve dört farklı frekansta (3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz ve 5000 Hz) yapılmıştır. Deneyler sonucunda numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliği ölçülmüştür. Ayrıca lazer kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliği üzerine etkilerini belirlemek amacıyla varyans analizleri yapılmıştır. Lazer kesme deneylerinde en düşük (2.78 µm) yüzey pürüzlülüğü için optimum lazer kesme parametresi olarak 1 bar basınç, 5000 Hz frekans ve 32 mm.dak<sup>-1</sup> kesme hızı olmuştur. En düşük (0.79 mm) kerf genişliği için optimum lazer kesme parametresi 0.8 bar basınç, 3500 Hz frekans ve 20 mm.dak<sup>-1</sup> kesme hızı olarak tespit edilmiştir. Lazer kesme deneylerinde kesme hızının ve frekansın artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azaldığı görülmüştür. Kesme hızının artırılması kerf genişliğinin azalmasına neden olurken, frekans değerinin artması kerf genişliğinin artmasına neden olmuştur. Varyans analizlerinin sonucunda da % 38.67 ile yüzey pürüzlülüğü ve % 49.50 ile kerf genişliği üzerine en etkin parametre kesme hızının olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 310, lazer kesme, yüzey pürüzlülüğü, kerf genişliği, ANOVA.

### Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Cutting Quality in Laser Cutting of AISI 310 Quality Austenitic Stainless Steel Sheet Material

**ABSTRACT:** In this study, the cutting experiments of AISI 310 stainless sheet material on the laser bench were done and the effects of the processing parameters on the surface roughness and kerf width were investigated. Laser cutting experiments were carried out at two different gas pressures (0.8 bar and 1 bar), four different cutting speeds (20 mm.min<sup>-1</sup>, 24 mm.min<sup>-1</sup>, 28 mm.min<sup>-1</sup> and 32 mm.min<sup>-1</sup>) and four different frequencies (3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz and 5000 Hz). As a result of the experiments, the surface roughness and kerf width of the samples were measured. In addition, variance analysis were carried out to determine the effects of laser cutting parameters on surface roughness and kerf width. In laser cutting experiments, the optimum laser cutting parameter for the lowest (2.78 µm) surface roughness was 1 bar pressure, 5000 Hz frequency and 32 mm.min<sup>-1</sup> cutting speed. For the lowest (0.79 mm) kerf width, the optimum laser cutting parameter was determined as 0.8 bar pressure, 3500 Hz frequency and 20 mm.min<sup>-1</sup> cutting speed. In laser cutting experiments, it was observed that surface roughness values decreased with increasing cutting speed and frequency. While increasing the cutting speed caused the kerf width to decrease, the increase in the frequency value caused the kerf width to increase. As a result of variance analysis, it was determined that the most effective parameter cutting speed on surface roughness with 38.67% and kerf width with 49.50%.

**Keywords:** AISI 310, laser cutting, surface roughness, kerf width, ANOVA.

<sup>1</sup> İbrahim CEBECİ (Orcid ID: 0000-0002-8039-0250), Tan Kauçuk Sanayi ve Ticaret Pazarlama Limited Şirketi, Organize Sanayi Mahallesi, SAKARYA 54500, TÜRKİYE, <sup>2</sup>Barış ÖZLÜ (Orcid ID: 0000-0002-8594-1234), Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, AKSARAY 68100, TÜRKİYE, <sup>3</sup>Halil DEMİR (Orcid ID: 0000-0002-9802-083X), Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, KARABÜK 78050, TÜRKİYE

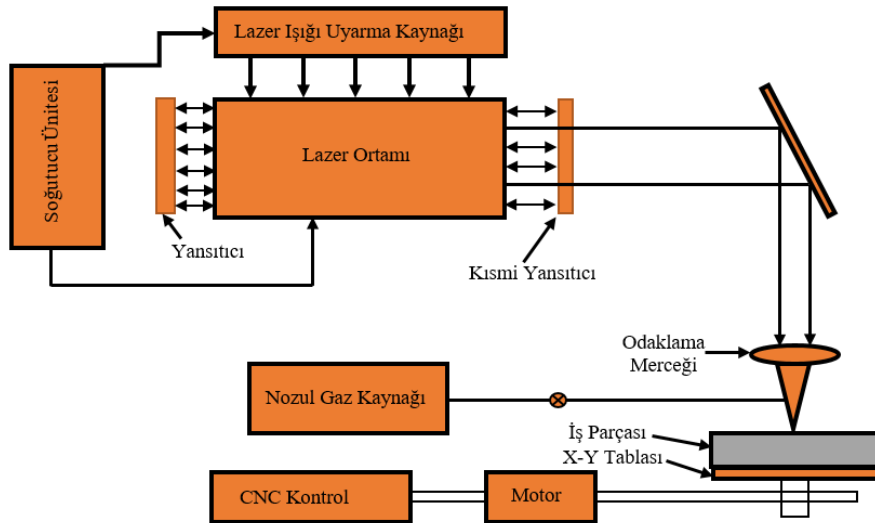
\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Barış ÖZLÜ, e-mail: barisozlu@aksaray.edu.tr

Bu çalışma İbrahim CEBECİ'nin Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

## GİRİŞ

Östenitik paslanmaz çelik alaşımları; biyomedikal, petrokimya ve yüksek sıcaklık uygulamaları dahil olmak üzere birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır (Lavvafi ve ark., 2014). Korozyon direnci, kaynak edilebilirlik, faz kararlılığı ve şekillendirilebilirlik gibi özelliklerin mükemmel kombinasyonlarını göstermektedir. AISI 310 paslanmaz çelik kalitesi, endüstriyel uygulamalar için en yaygın kullanılan çeliklerden biridir. Çalışma ortamlarında sülfür olmadığına, 1150 °C'ye kadar sıcaklıklarda kullanılabilir. Ayrıca AISI 310 alaşımı mükemmel mekanik özelliklere ve yüksek sıcaklık kararlılığına sahiptir. AISI 310 paslanmaz çelik kalitesinin kimyasal kompozisyonunda yüksek oranlarda Krom bulundurmaktadır. Bu sayede yüksek sıcaklık, korozyon ve oksidasyon direncini artırabilir (Taşkaya ve Taşkaya, 2018).

Lazer kesim, metal, ametal, seramik ve kompozit gibi hemen hemen tüm malzeme sınıflarının kesiminde kullanılan geleneksel olmayan kesme işlemlerinden biridir. İş parçasının lazerle kesilmesi sırasında çıkarılan malzemenin oluşturduğu boşluk kerf genişliği olarak adlandırılır. Lazer kesme işlemi özellikle dar kerf genişliğine sahip şekil ve farklı geometrilerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir başka deyişle, temassız bir işlem olan lazer ışını ile kesme, herhangi bir mekanik kesme kuvveti ve takım aşınması içermemektedir. Lazer ışını ile kesme, odaklanmış bir lazer ışını iş parçasının yüzeyi üzerinde uygun tarama hızıyla hareket ettirilerek yürütülen termal enerji bazlı bir kesme işlemidir (Şekil 1) (Steen, 1991). Kesilecek malzeme odaklanmış lazer ışını ile bölgesel olarak eritilir. Lazer ışını ile eş eksenli olarak akan malzeme meydana gelen kerf genişliğinden yardımcı gazın üflemesi ile uzaklaştırılır. Lazer kesme işlemlerinde O<sub>2</sub> (oksijen) ve N (azot) gibi farklı türlerde yardımcı gazlar kullanılmaktadır. Belirli bir karışım yüzdesi ile uygun bir gaz tipinin seçilmesi ve kesme hızının artırılması kesme maliyetini en aza indirmek için önemlidir (Eltawahnia ve ark., 2012). Lazerin kesme kapasitesi mekanik özelliklerden ziyade malzemenin termal ve optik özelliklerine bağlıdır. Böylece yüksek sertliğe, kırılma dayanıklılığına, termal ve optik özelliklere sahip olan malzemeler lazer kesim ile uygun şekilde kesilebilmektedir (Pandey ve Dubey, 2012).



Şekil 1. Lazer kesim tezgâhının şematik görünümü

Son yıllarda sac malzemelerden üretilen ürünlerden beklenen yüksek yüzey kalitesi, dar kerf genişliği, ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) daha dar bölgede gerçekleşmesi ve karmaşık kesim profilleri gerektiren uygulamalar için lazer kesme uygulamalarına ilgi artmıştır. Araştırmacıların çoğu

lazer gücü, frekans, kesme hızı, yardımcı gazın tipi ve gaz basıncı gibi lazer kesme parametrelerinin, farklı malzeme tipleri için farklı çıktı özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için her seferinde bir parametre değiştirilerek çalışmalar yapılmıştır (Hasçalık ve Ay, 2013; Madic ve ark., 2015; Jarosz ve ark., 2016; Tahir ve Aqida, 2017; Chatterjee ve ark., 2018;). Bu tür çalışmalarda aynı anda yalnızca bir işlem parametresinin değiştirilmesi ile çok sayıda deney yapılmaktadır. Artan deney sayıları çalışmanın maliyetini ve çalışma süresinin artması gibi sorunlarla karşı karşıya bırakmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, farklı araştırmacılar Taguchi ve yüzey yanıt metodu (YYM) gibi farklı parametre tasarım yöntemleri kullanmışlardır (Shanjin ve Yang, 2006; Çaydas ve Hasçalık, 2008; Sharma ve ark., 2010).

Bu çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılan AISI 310 paslanmaz çeliğin lazer kesme işlemi için belirlenen kesme parametrelerinin (kesme hızı, frekans ve gaz basıncı) ürün kalitesinin etkileyen yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliğine etkilerinin araştırılması üzerine bir çalışma yapılması amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Sunulan çalışmada 4 mm kalınlığın 260x290 mm boyutlarında AISI 310 kalite östenitik paslanmaz sac malzeme kullanılmıştır. AISI 310 kalite östenitik paslanmaz sac malzeme yüksek sıcaklık malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Endüstride genel olarak kimya, petro kimya, fırın ekipmanları ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı parçaların imalatının yanı sıra kaynak dolgu malzemelerinin üretimi başlıca kullanım alanlarıdır. Çalışmada kullanılan AISI 310 kalite östenitik paslanmaz sac malzemenin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Yapılan çalışmada kullanılan AISI 310 paslanmaz sac malzemenin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri.

Kimyasal içerik								
Element	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
%	0.08	2.00	0.045	0.03	0.75	25	20	0.75
Mekanik Özellikleri								
Kopma mukavemeti (MPa)			Akma mukavemeti (MPa)			Sertlik (Rockwell)		
500-900			210 (min)			192		

Lazer kesme deneylerinde, Tektem Makina firmasında bulunan ve Şekil 2’de verilen üç eksenli SUNTOP ST-FC3015 marka CNC lazer kesim tezgâhı kullanılmış. Deneylerde kullanılan CNC lazer kesim tezgâhının teknik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Lazer kesme deneylerinde kullanılan CNC lazer kesim tezgâhının teknik özellikleri

Özellikleri	Birimler	Parametreler	
Maksimum Lazer Gücü	W	800	
Lazer dalga boyu	nm	1064	
Etkili işleme alanı	mm	1500 x 3000	
X ve Y eksenli tekrar konumlandırma hassasiyeti	mm	± 0.03	
X/Y eksenli konumlandırma hassasiyeti	mm.m <sup>-1</sup>	0.05	
Z eksenli rotası	mm	120	
Maksimum kesme kalınlığı	mm	≤10	
Tüketilen toplam güç	KW	≤8	
Kesme Aralığı	Karbonlu çelikler	mm	10
	Paslanmaz çelikler	mm	6
	Alüminyum alaşım	mm	3



**Şekil 2.** SUNTOP ST-FC3015 CNC lazer kesim tezgâhı

**Çizelge 3.** Yapılan çalışmada kullanılan lazer kesme parametreleri ve deney sonuçları.

Deney No	Basınç (Bar)	Frekans (Hz)	Kesme Hızı (mm.dak <sup>-1</sup> )	Yüzey Pürüzlülüğü (µm)	Kerf Genişliği (mm)
1	0.8	3500	20	13.62	2.52
2			24	11.84	1.78
3			28	11.33	0.79
4			32	10.23	0.87
5		4000	20	13.16	2.98
6			24	11.38	1.69
7			28	7.10	1.09
8			32	6.80	0.95
9		4500	20	11.59	3.12
10			24	7.68	2.08
11			28	6.49	1.56
12			32	4.35	1.24
13	5000	20	9.87	3.83	
14		24	7.35	2.93	
15		28	5.84	2.11	
16		32	3.84	1.64	
17	3500	20	8.33	2.71	
18		24	6.92	2.35	
19		28	4.90	1.96	
20		32	4.40	1.23	
21	4000	20	8.26	3.16	
22		24	5.44	2.66	
23		28	4.61	2.43	
24		32	3.68	1.76	
25	4500	20	7.88	3.34	
26		24	5.42	2.91	
27		28	4.51	2.68	
28		32	3.44	2.36	
29	5000	20	6.55	4.09	
30		24	5.36	3.48	
31		28	3.93	3.13	
32		32	2.78	2.70	

Lazer kesme deneylerinde, lens çapı 5" (127 mm), nozul çapı 2 mm, yardımcı gaz tipi O<sub>2</sub> (oksijen) ve % 100 güç yoğunluğu sabit tutulmuştur. Lazer kesme işleminde, gaz basıncı, kesme hızı ve frekans değerlerinin farklı düzeylerinde Taguchi L32 (2<sub>1</sub>x4<sub>2</sub>) dizinine göre deney tasarımı yapılmıştır. Taguchi L32 dizinine göre yapılan deney tasarımındaki her bir deney kombinasyonunun yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliği üzerine etkisini bulmak için iki farklı gaz basıncı, dört farklı kesme hızı ve dört farklı frekans değerinin kombinasyonu ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney parametreleri ve sonuçları

Çizelge 3’de verilmiştir. Her bir deney parametresinin yüzde katkıları arasındaki etkileşimi araştırmak için varyans analizi yapılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 4’de verilmiştir.

**Çizelge 4.** Yapılan çalışmada kullanılan lazer kesme parametreleri ve seviyeleri

<b>Kesme Parametreleri</b>	<b>1. Seviye</b>	<b>2. Seviye</b>	<b>3. Seviye</b>	<b>4. Seviye</b>
Gaz Basıncı (Bar)	0.8	1	-	-
Kesme Hızı (mm.dak <sup>-1</sup> )	20	24	28	32
Frekans (Hz)	3500	4000	4500	5000

Yapılan lazer kesme deneylerinde kullanılan her bir parametre ile işlenen parçaların yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo Surface SJ-210 model test cihazı ile ölçülmüştür. Kesme işlemi yapılan yüzeyler üzerinden alınan 4 farklı yüzey pürüzlülük değerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak ortalama yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Numunelerin kerf genişliği numune kesme işlemine başladığı noktadan itibaren ilk ölçüm 5 mm ve daha sonraki ölçümler 30 mm aralıklarla dört farklı noktadan alınan ölçümlerin ortalamaları ile hesaplanmıştır. Kerf genişliği ölçümünde 1600x1200 çözünürlüğe sahip Insize marka ISM-PM200SA dijital mikroskop kullanılmıştır.

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

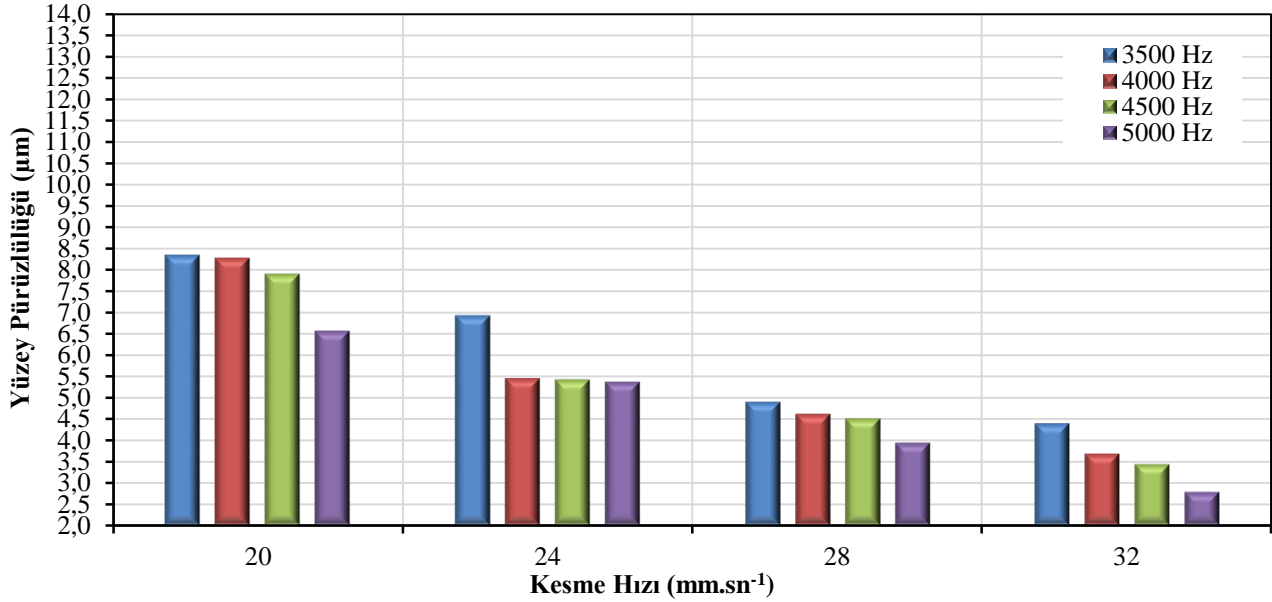
### **Yüzey pürüzlülüğü**

Lazer kesme işlemlerinde oluşturulan gerçek parça yüzeyleri her zaman tepeler ve vadiler şeklinde düzensizlikleri içermektedir. Lazer kesme işlemi sonrası elde edilen parçaların yüzey pürüzlülükleri, kesme hızı, frekans, gaz basıncı, odak noktası ve iş parçası kalınlığı vb. işleme parametrelerine bağlıdır. Bu çalışmada, AISI 310 paslanmaz sac malzemenin iki farklı gaz basıncı, dört farklı kesme hızı ve dört frekans değerlerinde işlenmesi sonucu işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 3 ve Şekil 4’de çubuk grafiği kullanılarak değerlendirilmiştir.

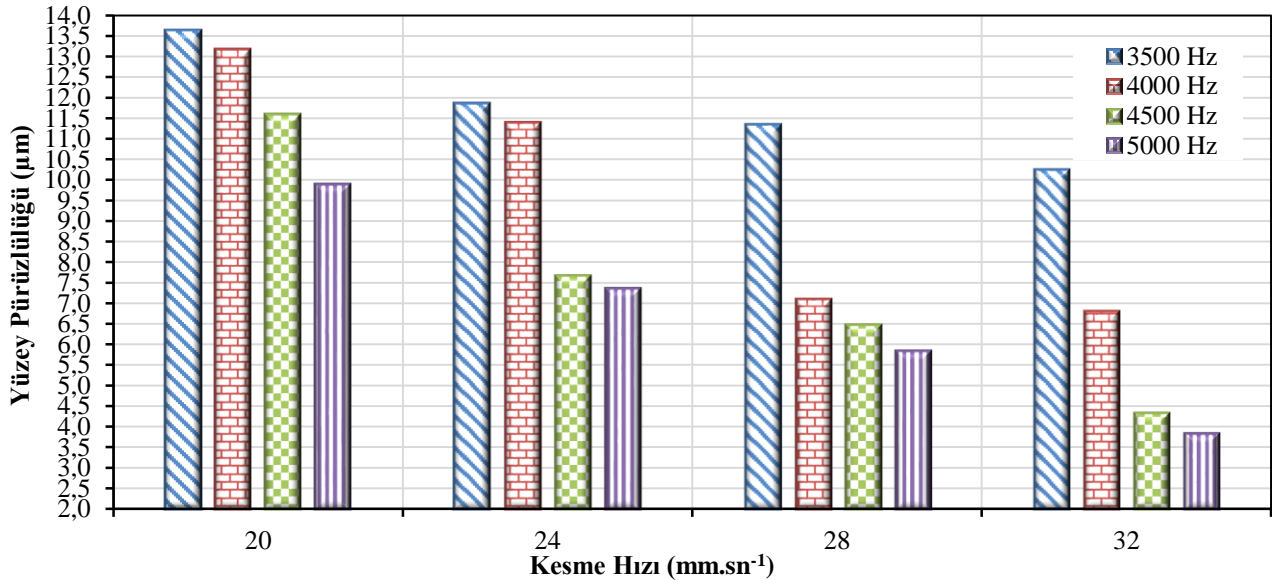
Şekil 3’de 0.8 bar gaz basıncında yapılan deneylerde kullanılan dört farklı frekans ve dört farklı kesme hızı için ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine etkileri görülmektedir. 20 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında ve 3500 Hz frekansta yüzey pürüzlülüğü 8.33 µm ölçülmüştür. 20 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında frekans değerinin 4000 Hz, 4500 Hz ve 5000 Hz çıkarılması ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri % 0.84 (8.26 µm), % 5.4 (7.88 µm) ve % 21.37 (6.55 µm) oranlarında azaldığı görülmüştür. 3500 Hz frekansta kesme hızının 20 mm.sn<sup>-1</sup>’den 24 mm.sn<sup>-1</sup>’ye çıkarılması ile yüzey pürüzlülüğü % 16.9 (6.92 µm) azalırken, kesme hızının 28 mm.sn<sup>-1</sup> ve 32 mm.sn<sup>-1</sup> kadar artırılması ile yüzey pürüzlülükleri ortalama % 44.17 oranında azalmıştır. 32 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında ve 3500 Hz frekansta yüzey pürüzlülüğünün 4.4 µm olduğu görülmüştür. 32 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında frekans değerinin 5000 Hz kadar artırılmasıyla 2.78 µm ile 0.8 bar gaz basıncında yapılan deneyler arasında en düşük yüzey pürüzlülük değeri ölçülmüştür.

AISI 310 paslanmaz sac malzemenin lazer kesme işleminde 1 bar basınçta lazer kesme parametrelerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerlerine etkileri Şekil 4’de verilmiştir. 3500 Hz frekans değerinde ve 20 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında 13.62 µm ile yapılan deneylerde en yüksek yüzey pürüzlülük değeri ölçülmüştür. Frekans değerinin düzenli olarak 3500 Hz’den 5000 Hz çıkarılması ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değeri ortalama % 27.53 azalarak 9.87 µm olmuştur. 3500 Hz frekansta kesme hızının 20 mm.sn<sup>-1</sup>’den 32 mm.sn<sup>-1</sup> çıkarılması ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülüğü 10.23 µm olmuştur. 32 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında frekansı 3500 Hz’den 5000 Hz çıkarılması ile 1 bar gaz basıncında yapılan deneyler arasında 3.84 µm ile en düşük yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

Sonuç olarak lazer kesme işleminde düşük kesme hızlarında malzemeye daha fazla enerji girdisi gerçekleşmektedir. Bu sebepten dolayı numune üzerinde daha geniş bir ergime bölgesi oluşmaktadır. Ergime bölgesinin artması yüzey pürüzlülüğünü artıracaktır. Kesme hızının ve frekans değerlerinin artırılması ile yapılan deneylerde yüzey pürüzlülük değerlerinde önemli derecede azalmanın olduğu literatürde yapılan çalışmalarla paralellik göstermektedir (Pandey ve Dubey, 2012).



**Şekil 3.** AISI 310 paslanmaz sac malzemenin 0.8 bar gaz basıncında lazer kesme işleminde kesme hızı ve frekans değerlerine bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri

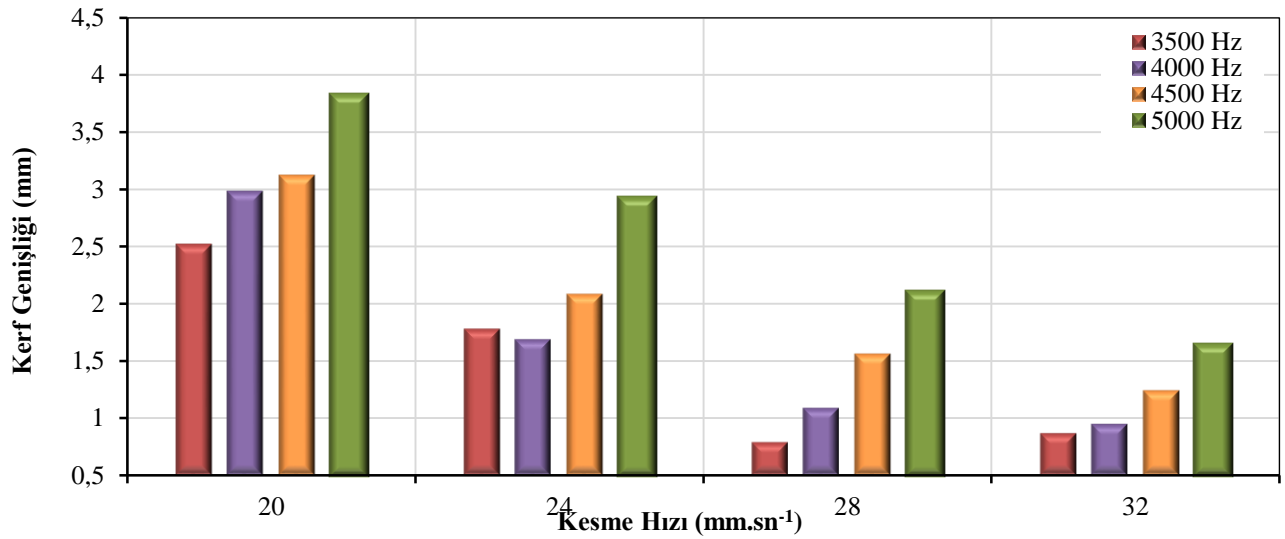


**Şekil 4.** AISI 310 paslanmaz sac malzemenin 1 bar gaz basıncında lazer kesme işleminde kesme hızı ve frekans değerlerine bağlı yüzey pürüzlülük değişimleri

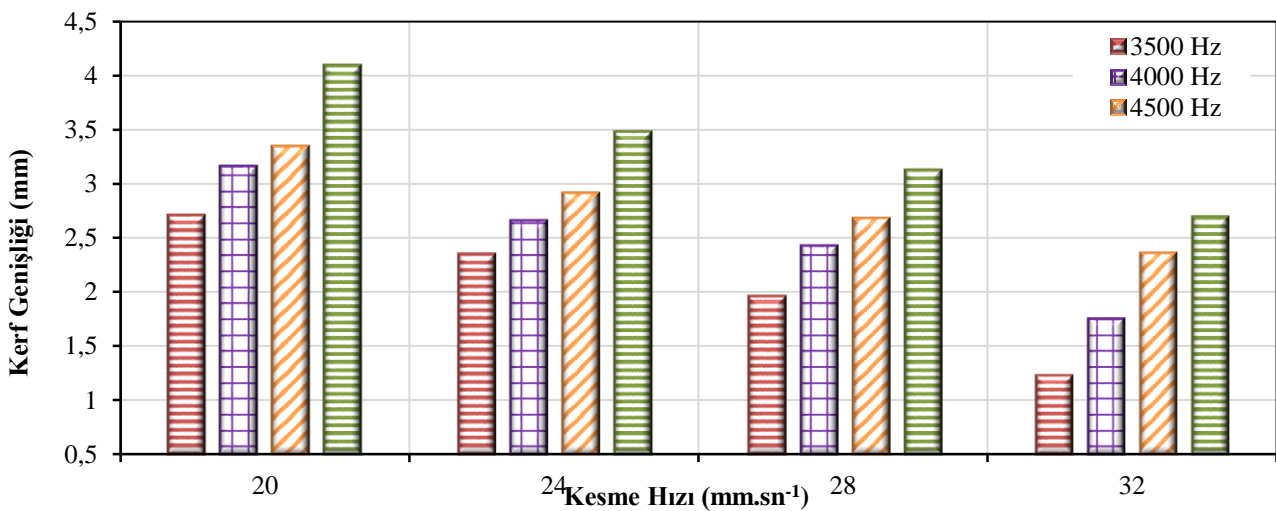
### Kerf Genişliği

AISI 310 paslanmaz sac malzemenin 0.8 ve 1 bar gaz basıncında, 20, 24, 28 ve 32 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızlarında ve 3500, 4000, 4500 ve 5000 Hz frekans değerlerinde lazer kesme deneyleri yapılmıştır. Şekil 5 ve Şekil 6'da 0.8 lazer kesme parametrelerine bağlı kerf genişliklerindeki değişimler verilmiştir.

Şekil 5’de 0.8 bar gaz basıncında yapılan deneyler incelendiğinde, 20 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında ve 3500 Hz frekansta kerf genişliği 2.52 mm ölçülmüştür. Frekansın 3500 Hz’den 5000 Hz çıkarılmasıyla kerf genişliği ortalama %52 oranında artarak 3.83 mm olmuştur. 3500 Hz frekansta kesme hızını 20 mm.sn<sup>-1</sup>’den 28 mm.sn<sup>-1</sup>’ye çıkarılmasıyla kerf genişliği % 68.65 (0.79 mm) azalarak 0.8 bar gaz basıncında yapılan deneyler arasında en düşük kerf genişliğine ulaşılmıştır. 3500 Hz frekansta ve kesme hızının 32 mm.sn<sup>-1</sup>’ye kadar artırılmasıyla kerf genişliğinde % 10.1 oranında artma eğilimi sergilemiştir. 32 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında frekansı 3500 Hz’den 5000 Hz çıkarılmasıyla kerf genişliği 1.64 mm olmuştur. Bütün frekans değerlerinde kerf genişliği kesme hızının artmasıyla azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte sabit kesme hızlarında yapılan deneylerde frekans değerlerinin artırılması kerf genişliğinin artmasına neden olmuştur.



Şekil 5. AISI 310 paslanmaz sac malzemenin 0.8 bar gaz basıncında lazer kesme işleminde kesme hızı ve frekans değerlerine bağlı kerf genişliği değişimi



Şekil 6. AISI 310 paslanmaz sac malzemenin 1 bar gaz basıncında lazer kesme işleminde kesme hızı ve frekans değerlerine bağlı kerf genişliği değişimi

1 bar gaz basıncında dört farklı kesme hızı ve dört farklı frekansta yapılan deneyler sonucu lazer kesme parametrelerinin kerf genişliğine etkileri Şekil 6’da verilmiştir. AISI 310 paslanmaz sac malzeme 20 mm.sn<sup>-1</sup> kesme hızında ve 3500 Hz frekans değerinde kesilmesi sonucu kerf genişliği 2.71 mm

olmuştur. Frekansı 5000 Hz çıkarılmasıyla 1 bar gaz basıncında yapılan deneyler arasında 4.09 mm ile maksimum kerf genişliğine ulaşılmıştır. Kesme hızının 20 mm.sn-1'den 32 mm.sn-1 çıkarılması ile 3500 ve 5000 Hz frekanslarda kerf genişliği sırasıyla 1.23 ve 2.7 mm olmuştur. Lazer kesme işleminde kesme hızının artırılması, lazer ışını ve iş parçası arasındaki etkileşim süresinin daha az olmasına neden olmaktadır. Bu etkileşimin daha az olması, kerf genişliğinin oluşması için sağlanan enerji miktarını azaltmakta ve böylece daha az malzeme ergitilerek düşük kerf genişliklerinin oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca yapılan bütün deneylerde frekans değerinin artırılması kerf genişliğinin artmasına neden olmuştur.

### Varyans Analizi (ANOVA)

Varyans analizi, imalat sektöründe kullanılan kesme parametrelerinin birbirleri ile etkileşimlerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir metottür (Özlü ve ark., 2019; Nas ve ark., 2019; Akgün ve ark., 2020). Lazer kesme işleminde iş parçasının yüzey pürüzlülüğünü ve kerf genişliğini etkileyen kontrol faktörlerinin (kesme parametrelerinin) birbirleri ile etkileşimini araştırmak için varyans analizi kullanılmıştır. Yapılan varyans analiz sonucunda kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğünü ve kerf genişliği üzerine yüzde (%) etki oranları hesaplanmıştır.

Çizelge 5'de lazer kesme işlemi sonucu yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliği için Varyans Analizi sonuçları verilmiştir. % 95 güven seviyesinde yapılan varyans analizlerinde yüzey pürüzlülüğü üzerine etkili olan parametreler sırasıyla; kesme hızı (% 38.67), basınç (% 34.18) ve frekans (% 16.86) olurken, kerf genişliği üzerine etkili olan parametreler sırasıyla; kesme hızı (% 49.50), frekans (% 26.79) ve basınç (% 18.03) anlamlı bir etkisi olmuştur.

**Çizelge 5.** AISI 310 paslanmaz sac malzemenin lazer kesme işleminde yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliği için varyans analizi

Kaynak	SD	Seq SS	Katkı (%)	Adj SS	Adj MS	F-Değeri	P-Değeri
<b>Yüzey Pürüzlülüğü</b>							
Basınç	1	98.21	34.18	98.21	98.210	30.04	0.000
Frekans	3	48.43	16.86	48.43	16.144	13.09	0.000
Kesme Hızı	3	111.11	38.67	111.11	37.036	79.65	0.000
Hata	24	29.59	10.30	29.59	1.233		
Toplam	31	287.34	100.00				
R-sq % 89.70							
<b>Kerf Genişliği</b>							
Basınç	1	4.329	18.03	4.329	4.32915	69.62	0.000
Frekans	3	6.433	26.79	6.433	2.14419	37.68	0.000
Kesme Hızı	3	11.886	49.50	11.886	3.96199	76.07	0.000
Hata	24	1.366	5.69	1.366	0.05691		
Toplam	31	24.014	100.00				
R-sq % 94.31							

### SONUÇ

AISI 310 paslanmaz sac malzemenin lazer tezgâhıyla kesilmesinde, gaz basıncının, kesme hızının ve frekans değerlerinin yüzey pürüzlülüğüne ve kerf genişliğine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca yapılan varyans analiziyle kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliği üzerine yüzde (%) etki oranları incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda;

- AISI 310 paslanmaz sac malzemesinin 1 bar gaz basıncında, 20 mm.sn-1 kesme hızında ve 3500 Hz frekansta kesilmesi sonucu en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 13.62 µm olarak,



- En düşük yüzey pürüzlülüğü 0.8 bar gaz basıncında, 32 mm.sn-1 kesme hızı ve 5000 Hz frekansta 2.78 µm olarak,
- 0.8 bar gaz basıncında, 32 mm.sn-1 kesme hızında ve 3500 Hz frekansta yapılan deneyde en düşük kerf genişliği 0.87 mm olarak oluştuğu,
- 1 bar gaz basıncında, 20 mm.sn-1 kesme hızında ve 5000 Hz frekansta yapılan deneyde en yüksek kerf genişliğinin 3,83 mm olarak ölçüldüğü,
- Bütün deneylerde gaz basıncının 0.8 bar'dan, 1 bar'a çıkarılmasıyla yüzey pürüzlülükleri ve kerf genişlikleri sırasıyla % 67.84 ve % 37.75 oranlarında arttığı,
- Ayrıca varyans analizi sonuçlarına göre kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliği için en etkili parametrenin sırasıyla % 38.67 ve % 49.50 katkı oranıyla kesme hızının olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akgün M, Yurtkuran H, Ulaş Hb, 2020. AA7075 alaşımının işlenebilirliğine suni yaşlandırmanın etkisinin analizi ve kesme parametrelerinin optimizasyonu. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 26(1):75-81.
- Çaydaş U, Hasçalık A, 2008. Use of grey relational analysis to determine optimum laser cutting parameters with multi-performance characteristics. Optics and Laser Technology, 40:987-994.
- Chatterjee S, Mahapatra SS, Bharadwaj V, Choubey A, Upadhyay BN, Bindra KS, 2018. Quality evaluation of micro drilled hole using pulsed Nd:YAG laser: a case study on AISI 316. Lasers in Manufacturing and Materials Processing, 5:248-269.
- Eltawahnia HA, Hagino M, Benyounis KY, Inoue T, Olabi AG, 2012. Effect of CO<sub>2</sub> laser cutting process parameters on edge quality and operating cost of AISI 316L. Optics & Laser Technology, 44:1068-1082.
- Hasçalık A, Ay M, 2013. CO<sub>2</sub> laser cut quality of Inconel 718 nickel-based superalloy. Optics & Laser Technology, 48:554-564.
- Jarosz K, Löschner P, Niesłony P, 2016. Effect of cutting speed on surface quality and heat-affected zone in laser cutting of 316 L stainless steel. Procedia Engineering, 149:155-162.
- Lavvafi H, Lewandowski ME, Schwam D, Lewandowski JJ, 2017. Effects of surface laser treatments on microstructure, tension, and fatigue behavior of AISI 316LVM biomedical wires. Materials Science and Engineering: A, 688:101-113.
- Madic M, Radovanovic M, Nedic B, Marušić V, 2015. Multi-objective optimization of cut quality characteristics in CO<sub>2</sub> laser cutting of stainless steel. Technical Gazette, 22: 885-892.
- Nas E, Akıncıoğlu S, 2019. Kriyojenik işlem görmüş nikel esaslı süper alaşımın elektro-erozyon işleme performansı optimizasyonu. Academic Platform Journal of Engineering and Science. 7(1):115-126.
- Pandey AK, Dubey AK, 2012. Simultaneous optimization of multiple quality characteristics in laser cutting of titanium alloy sheet. Optics & Laser Technology, 44:1858-1865.
- Shanjin L, Yang W, 2006. An investigation of pulsed laser cutting of Titanium alloy sheet. Optics and Lasers in Engineering, 44:1067-1077.
- Sharma S, Yadava V, Rao R, 2010. Optimization of kerf quality characteristics during ND: YAG laser cutting of nickel based superalloy sheet for straight and curved cut profiles. Optics and Lasers in Engineering, 48:915-925.
- Steen WM, 1991. Laser material processing, Springer, (3rd end.), New York.
- Tahir AFM, Aqida SN, 2017. An investigation of laser cutting quality of 22MnB5 ultra high strength steel using response surface methodology. Optics & Laser Technology, 92:142-149.
- Taşkaya S, Taşkaya S, 2018. Investigation of static structure effect according to axial coordinates by using finite element method in Ansys workbench software of AISI 310 austenitic stainless cylindrical model steel. International Journal of Scientific Engineering and Science, 2:65-70.
- Özül B, Akgün M, Demir H, 2019. AA6061 alaşımının tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisinin analizi ve optimizasyonu. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 5(2):151-158.