

Ç1040 Çeliğinin Lazerle Kesilmesi Esnasında Kesme Parametrelerinin Nominal ölçüdeki Sapma Miktarına Etkilerinin İncelenmesi

Zülfünaz Durukan

MSc.

Ostim Mesleki Eğitim Merkezi
Ostim / ANKARA

Abdulmecit Gültaş

Yrd. Doç. Dr.

Abdulkadir Güllü

Yrd. Doç. Dr.

Makine Bölümü
Teknik Eğitim Fakültesi
Gazi Üniversitesi
ANKARA

Endüstride metallerin kesilmesinde lazer yöntemi ile kesme yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer ile kesmede uygun parametreler seçildiğinde takıma ihtiyaç duymaksızın ve malzeme ile temas olmadan, hızlı ve çapaksız kesim yapılır. Lazer ile kesmede kesilen parçanın boyutunu belirleyen birçok parametre bulunmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma da CO₂ lazer ile 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki Ç1040 malzemesi kesilmiştir. Kesme parametreleri olarak lazer gücü (W), kesme ilerlemesi (F), odak noktası (ON) ve gaz basıncı (P) kullanılmıştır. Kesme işleminde 100x100 mm boyutundaki kare ve 40 mm çapında delik delinmiş olup; dış kenar ve çap değerlerindeki sapmalar ölçülmüştür. Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre lazer parametrelerine bağlı olarak boyut kararlılığında değişimler gözlenmiş olup, 4 mm' lik sac için dış kesimde en düşük ölçü değeri 99,535 mm, en büyük ölçü değeri ise 99,735 mm olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca boyut üzerinde etki eden en önemli lazer parametresinin lazer gücü ve kesme ilerlemesi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Lazerle kesme, Lazer gücü, Odak Noktası, Boyut değişimi

GİRİŞ

Lazerler icat edildiği günden bu güne sürekli gelişen bir uygulama alanıyla karşı karşıyadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte sürekli olumlu yönde gelişen lazerler endüstride çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Lazer dalgalarının tümü aynı frekansa sahip (tek renkli) ve birbirleriyle aynı fazda (uyumlu) olan ışık demeti oluşturur [1]. Lazer ışığı; ışık şiddeti artırılmış eş fazlı ışınımlardan oluşan ışık demetidir. Lazer ışık demeti iyi toplanabildiği için uzun mesafelere aktarılabilir. Lazer ışığı diğer ışık kaynaklarından daha şiddetlidir [2,3].

Hızla gelişen lazer teknolojileri sayesinde günümüze kadar birçok lazer türü geliştirilmiş olup, bu lazerler kullandıkları dalga boylarına, kullanılan aktif maddenin cinsine, enerjinin etkinliğine göre uygulama alanlarında birbirleri arasında farklılık gösterirler [4]. Yapı olarak lazerler; katı lazerler, sıvı lazerler ve gaz lazerler olarak ayrılırlar. Gaz lazerler, lazerlerin en geniş kullanma alanı olan tipleridir. Atomların elektronik enerji düzeyleri veya iyonların enerji düzeyleri ya da moleküllerin titreşim- dönme enerji düzeyleri arasındaki geçişlere uygun olarak gaz lazerler üç farklı gruba ayrılır. Bunlar atomik lazerler,

iyon lazerleri ve moleküler lazerlerdir. CO₂ lazeri en önemli

moleküler lazerdir [5]. CO₂ lazeri karbondioksit, azot ve helyum karışımından oluşan bir lazerdir. CO₂ Lazer geliştirilen ilk lazerlerden olup, hala en yaygın olarak kullanılan lazer tipidir. CO₂ lazer devamlı dalga olarak en yüksek güce ve verime sahiptir [1].

Oksijenle kesme veya plazma kesme yöntemleriyle yeterli derecede kesilemeyen ince saclarda lazer ışını ile kesmenin geliştirilmesiyle, yüksek kalitede ve hassas kesme işlemlerinin gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle, lazer ile kesme, hassas kesme işlemi olarak da değerlendirilmektedir [6]. Ölçü hassasiyeti gerektiren kesimlerde genellikle deneme yanılma yöntemi ile kesme parametreleri seçilmekte ve ölçü tamlığı sağlanmaktadır. Bu bağlamda deneysel olarak elde edilen parametrelerin kullanılması deneme yanılma yöntemini ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla üretimde para ve zaman kaybı önlenmiş olacaktır. Genel olarak lazer ışınıyla kesilmiş parçalar, sonradan bir ek işleme gerek olmadan, kesimden hemen sonra kullanılabilir [1].

Karbondioksit lazer tezgâhlarında lazer ışını, karbondioksit gazına elektrik akımı ile enerji verilerek elde edilir. Lazer ışını tezgâhın rezonatör bölümünde cam tüpler içinde 10 metreye yakın bir

mesafe kat eder. Lazer ışınının yönü aynalar sayesinde değiştirilebilmektedir. Yoğunlaştırılan ve yönlendirilen lazer ışınları kesme kafasına gelmekte burada kesme işlemi yapılmaktadır [7].

Malzemelere bir işlem yapmak için gerekli olan enerjinin malzemeye verilmesinde farklı uygulama yöntemleri vardır. Lazerde enerji ışık enerjisi olarak verilse de malzeme üzerine etkiyen ışık demetinin taşıdığı ısı enerjisi malzemede istenilen etkiyi yapar. Metaller yüksek ısı enerjisine tabi olduklarında zamanla kırmızısı bir renk (kor) alırlar. Metaller soğudukça malzeme üzerinden ısıl değişimlerden dolayı bir iz kalır. Bu iz literatürde ısıdan etkilenen bölge (ITAB-HAZ) olarak adlandırılır. ITAB oluşumu kesme işlemlerinde malzemenin işlem yapılan kısmının ısı etkisiyle uğradığı değişimin sonucudur. Bu değişim ölçü ve boyut açısından da istenmeyen bir durumdur ancak oluşumu kaçınılmazdır. [3].

Lazer ile kesmenin prensibi; yoğun ışığın malzemeyi ısıtması olduğu için burada işlenebilirlik açısından malzeme sertliği önemli değildir. Malzemenin ışığı yansıtma derecesi işlenebilirliği etkileyeni en önemli faktörlerden biridir. Çelikte karbon miktarı ne kadar fazla ise yani çelik ne kadar sertse kesilmesi kısmen de olsa kolaylaşmaktadır [8].

Bu çalışma sonucunda; Ç1040 çelik malzemelerin lazerle kesilmesi sırasında oluşabilecek

boyut sapmalarını en aza indirgeyecek parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

MALZEME VE METOD

2.1. Malzeme

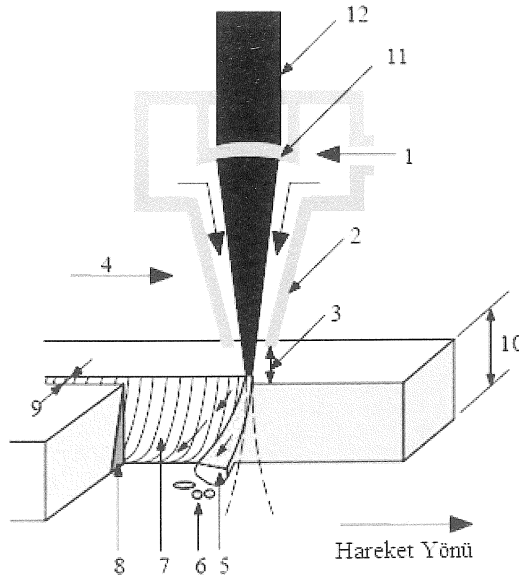
Yapılan deneysel çalışmalarda, endüstride yaygın olarak kullanılan Ç1040 malzemeden hazırlanan 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki numuneler kullanılmıştır. Malzemenin spektral analiz sonuçları ile elde edilen kimyasal bileşimleri Çizelge 1'de verilmiştir [9].

2.2. Lazer Tezgâhı ve Parametreler

Lazer ile kesmede kesilen ürünün boyutları işleme parametrelerine bağlı olarak bir miktar sapma göstermektedir. Büyük oranda kesme parametrelerine bağlı olarak değişen bu sapmaları tespit edebilmek için 4 farklı lazer parametresi belirlenmiştir. Bunlar; lazer gücü, kesme ilerlemesi, odak noktası ve gaz basıncı seçilmiştir. Deney numunelerinin kesiminde 4,4 kW gücündeki BYSPEED 3015 marka CO₂ lazer kesme tezgâhı kullanılmıştır [11]. Lazer tezgâhında kesme işleminin nasıl gerçekleştiğinin daha iyi anlaşılması için kesme ilerlemesi yönü Şekil 1'de gösterilmiştir [10].

Çizelge 1. Ç1040 çelik malzemenin kimyasal analizi

Alaş. Elemnt.	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)													
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	W	Fe
Ç1040	0.217	0.001	0.426	0.026	0.022	0.0001	0.064	0.001	0.001	0.001	0.017	0.001	0.003	99.21



1. İşlem gazı
2. Nozul
3. Nozul-Yüzey arası boşluk
4. Kesme ilerlemesi
5. Dışarıya akan erimiş malzeme
6. Dışarıya atılmış malzeme
7. Kesme çizgileri
8. Isı tesiri altında kalan bölge (ITAB)
9. Kesme aralığı
10. Malzeme kalınlığı
11. Odaklama lensi
12. Lazer ışını

Şekil 1. Lazerle kesme işlemi [1]

Çizelge 2. 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki Ç1040 malzemesinin kesimi için kullanılan bağımsız parametreler

Parametre	Sembol	Birimi	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Güç	W	Watt	3000	3800	4600
Kesme ilerlemesi	F	mm dk	2300	2700	3100
Odak Noktası	ON	mm	3.0	3.5	4.0
Basmaç	P	Bar	0.5	0.55	0.60

Çizelge 2’de görüldüğü gibi, lazer gücü, kesme ilerlemesi, odak noktası ve gaz basıncı parametrelerinin her biri için üç farklı değer kullanılmıştır. Ayrıca 4, 6 ve 8 mm olmak üzere 3 farklı kalınlıktaki malzeme kullanılmış olup her bir kalınlık için 81 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Böylece toplam 243 adet farklı numune kesilmiştir.

2.3. Boyut Ölçümleri

Kesilen deney numunelerinin kesilen kenarlarının istenilen boyutta kesilip kesilmediğini kontrol edebilmek amacıyla DEA marka CMM üç boyutlu ölçme cihazı kullanılmıştır. Bilgisayar kontrollü ve 15 ° ile her yöne dönebilen proba sahip CMM cihazı kullandığı hassas ve pratik ölçümler yapabilmesi sayesinde kesilen kenarların boyut ölçüleri güvenilir bir şekilde elde edilebilmiştir.

Numunelerin ölçümleri yapılırken; cihazın prob ucu dış kenarlardan köşelere yakın mesafede her kenara iki kez dokundurularak, kenar üzerindeki bu iki noktadan bilgisayar ortamında bir doğru çizilerek şeklin dış kenarları oluşturulmuştur. Kesilen numunenin ölçüleri Şekil 2’de verilmiştir.

Bu işlemler kesilen tüm numuneler için gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de görülen dış kenar (100x100 mm) ve daire (Çap 40 mm) şekillerde ölçme sistemi; prob uç dış kenara dıştan köşelere

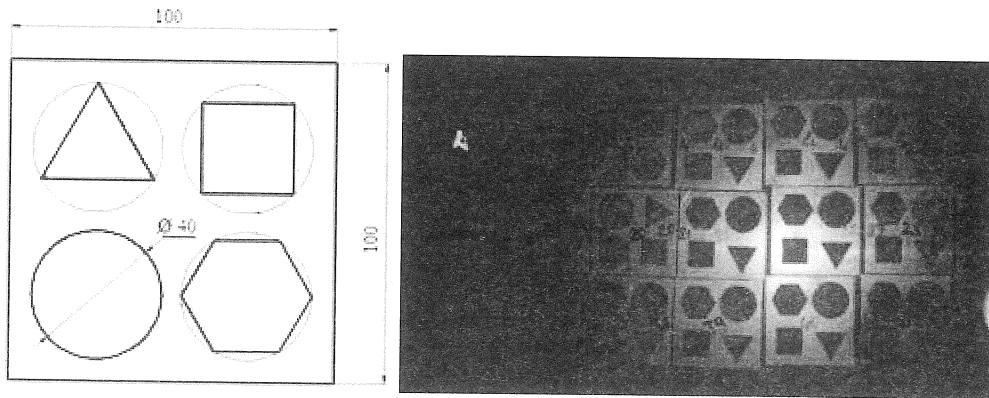
yakın yerlere dokundurularak kenarlar bilgisayar ortamında oluşturulmuştur ve bu kenarların uzunluğu ölçülmüştür. Daire ölçümünde prob uç içten 26 noktaya dokundurularak, bilgisayar ortamında bu noktalarından geçen bir daire çizdirilmiştir. Bu dairenin çapı ölçülen numunedeki dairenin çapını belirlemiştir. Bu şekiller için ölçümlerin ortalamaları alınmıştır. Kullanılan istatistik programı neticesinde Regresyon katsayısı (R^2) bire en yakın değerde tahminsel denklemler bulunmuştur [1].

3. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

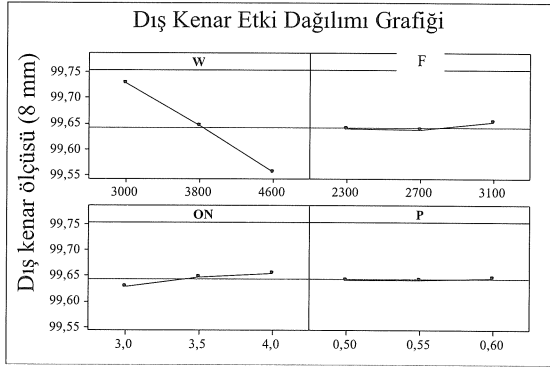
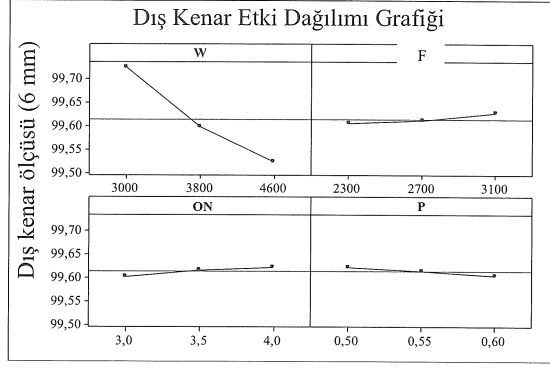
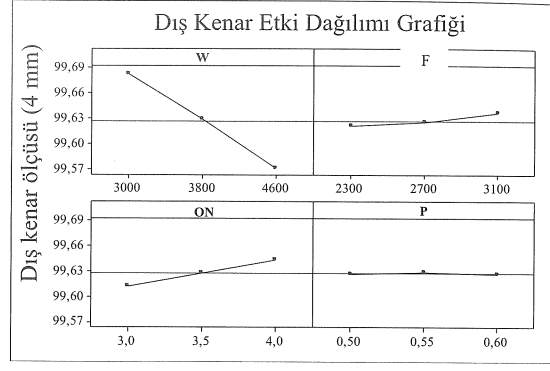
3.1. Boyut Değişimleri ve Tahminsel Denklemleri

Farklı kalınlıklardaki malzemelerin boyut ölçümleri numune üzerinden birçok ölçüm alınarak saptanmıştır. Bu bağlamda boyut ölçümleri ile alakalı birçok tahminsel denklem ve grafik oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında kare profil kesimi ve daire kesimi incelenmiştir. Bu grafiklerden dış kenar etki dağılımı grafikleri Şekil 3’de, daire çap ölçme sonuçları üzerindeki etki dağılımı grafikleri Şekil 4’de gösterilmektedir. Dış kenar ve daire çap etki dağılımı grafikleri lazer kesimde kullanılan parametrelerin numune dış kenar boyutu ve daire çap değişimi üzerine etkilerini göstermektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmaya göre, 4 mm kalınlığındaki malzemede dış kenar değişimine etki eden en etkili parametrenin “güç” parametresi olduğu görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi değişim çizgisi, gücün artmasıyla azalan ve lineer bir ilişki ortaya koymaktadır. Bu ilişki en geniş değişim aralığına karşılık gelmektedir. “Odak noktası” da güç gibi etkili çıkmıştır. Ancak buradaki odak noktası ve dış kenar ilişkisi lineer olmakla birlikte artan bir değişim ile sonuçlanmıştır.



Şekil 2. Lazer tezgâhında kesilen numune ve ölçüleri



Şekil 3. Ç1040 4, 6 ve 8 mm malzemeler için parametrelerin dış kenar ölçme sonuçları üzerindeki etki dağılımı grafikleri

Bu parametrenin değişim aralığı güçten daha az ve ikinci sırada etkili gözükmemektedir. Bu etki grafikteki odak noktasını gösteren çizginin eğiminden anlaşılmaktadır.

Kesme ilerlemesi parametresinde de odak noktası gibi artan bir değişim gözlenmekle birlikte, değişim daha düşük bir eğimle gerçekleşmiştir. Kesme ilerlemesi parametresi üçüncü sırada etkili olmuştur. Gaz basıncı parametresinin en düşük 0,50 değeri ve en yüksek 0,60 değeri ortalama çizgisi üzerinde gerçekleşirken, aradaki değerlerde sapma olmadığı grafikte gösterilmiştir. Gaz basıncının, 0,50, 0,55 ve 0,60 değerleri hepsi birden dikkate alındığında, dış kenar ölçüsü için çok etkili bir

parametre olmadığı anlaşılmaktadır. Gaz basıncı, diğer parametrelerin dış kenar ölçme sonuçları üzerindeki etkisi ile kıyaslandığında etkisi diğer parametrelere göre az olduğu saptanmıştır. Lazer kesmede gaz basıncının öneminin lazer kesim sırasında cürufun dışarı atılmasında etkili olduğu ortaya çıkmaktadır.

Bu deneysel veriler kullanılarak geliştirilen tahminsel denklem; kesme parametrelerinin etki dağılımları, kareleri ve birbirleriyle olan etkilerinden oluşmaktadır. Tahminsel dış kenar ölçüm ortalamasının değerlerini veren; etki dağılımları, kareleri ve birbirleri arasındaki etkileri de içeren denklem;

$$\begin{aligned}
Dis\ Kenar = & 99,3 + (0,000044 W) + (0,000010 F) + (0,054 ON) + (1,10 P) - (0,0012 ON^2) \\
& - (0,89P^2) - (0,000005 W * ON) + (0,000019 W * P) + (0,000013 F * ON) - (0,000118 F * P) \\
& - (0,018 ON * P)
\end{aligned} \tag{3.1}$$

şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen denklemin standart sapması $S=0,01247$ ve regresyon katsayısı $R^2=0,949$ olarak elde edilmiştir. Bu denklem, istatistik programına göre parametrelerle ölçme sonuçları arasında % 95 anlamlılık seviyesinde geliştirilmiştir. Bu tahminsel denklem kesme parametrelerinin dış kenar ölçüm ortalaması değeri üzerindeki etkilerini % 94,9 seviyesinde olduğunu açıklamaktadır. Minitab programı, denklemde verilmeyen parametrelerin katsayılarını sıfır olarak hesaplamıştır ve parametrelerin etkilerinin olmadığı düşünülerek denklemden çıkarılmıştır. Örneğin, bu denklemde lazer gücünün karesi (W^2) ve kesme ilerlemesinin karesi (F^2) etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.

$$\begin{aligned}
Dis\ Kenar = & 99,4 - (0,000336W) + (0,000348F) + (0,077ON) + (2,27P) + (0,0161ON^2) \\
& - (1,76P^2) + (0,000018W * ON) - (0,000087W * P) - (0,000034F * ON) - (0,000428F * P) \\
& + (0,252ON * P)
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Denklem kesme parametrelerinin dış kenar ölçüm ortalaması değeri üzerindeki etkilerini % 81,3 seviyesinde açıklamaktadır. Şekil 3'de 6 mm kalınlığındaki numunelerin kesme parametrelerinin dış kenar ölçüleri üzerine etkileri gösterilmektedir. Burada genel olarak en etkili parametrenin güç olduğu görülmektedir. Lazer gücü arttıkça dış kenar ölçme sonuçları beklenen ölçme sonucundan (100 mm) düşmektedir. Lazer gücünün en yüksek değeri olan 4600 W gücünde dış kenar en düşük değeri olan 99,53 mm değeri ölçülmüştür. 6 mm lik malzemenin lazer ile kesiminde kesme ilerlemesinin dış kenar ölçme sonuçları üzerinde çok etkili bir parametre olmadığı ortaya çıkmaktadır. 2700 mm/dk ilerlemede ölçme sonuçlarının ortalama değeri olan 99,60 mm değeri ortaya çıkmaktadır. Lazer kesme sırasında kesme ilerlemesinin artırılması ölçme sonuçları üzerinde çok etkili olmadığı anlaşılmaktadır. Kesme

Ç1040 6 mm olan deney numunelerinin lazer kesme ve CMM üç boyutlu ölçme cihazı ile ölçümünden sonra bulunan deneysel veriler kullanılarak geliştirilen tahminsel denklem; kesme parametrelerinin etki dağılımları, kareleri ve birbirleriyle olan etkilerinden oluşmaktadır. Tahminsel dış kenar ölçüm ortalamasının değerlerini veren etki dağılımları, kareleri ve birbirleri arasındaki etkileri de içeren denklem, Eş. 3.2'de verilmiştir.

Eşitliği standart sapması $S=0,0455749$ ve regresyon katsayısı $R^2=0,813$ olarak elde edilmiştir.

ilerlemesinin alt ve üst değerleri ortalama çizgisinden çok az sapmalar göstermiştir. Kesme ilerlemesinin artırmak dış kenar ölçme sonuçlarının artmasına neden olmuştur. Şekil 3'deki ikinci grafikte odak noktasını artırmak ölçme sonuçlarını en fazla 99,63 mm seviyesine çıkarabilmiştir. Bu da odak noktasının etkili bir parametre olmadığı sonucunu doğurmuştur. Aynı grafikten gaz basıncı parametresinin artırılması dış kenar ölçme sonuçlarında 99,60 mm değerine kadar düşürdüğü gözlenmektedir. Aynı şekilde gaz basıncı parametresi 6 mm lik malzemenin kesiminde etkili bir parametre olmadığı anlaşılmaktadır.

Ç1040 8 mm olan deney numunelerinin, tahminsel dış kenar ölçüm ortalamasının tahminsel değerlerini veren; etki dağılımları, kareleri ve birbirleri arasındaki etkileri de içeren denklem aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
Dis\ Kenar = & 101 - (0,000135W) - (0,00068IF) + (0,132ON) - (1,53P) - (0,0209ON^2) + (0,33P^2) \\
& + (0,000003W * ON) - (0,0002W * P) - (0,000012F * ON) + (0,000439F * P) + (0,209ON * P)
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Denklemin standart sapması $S=0,04513$ olurken regresyon katsayısı $R^2=0,769$ olarak bulunmuştur. Regresyon katsayısı, lazer kesme parametrelerinin, dış kenar ölçme sonuçları üzerinde % 76,9 seviyesinde etkili olduğunu açıklamaktadır.

8 mm kalınlığındaki malzemenin dış kenar grafiğinde de en etkili parametrenin "güç"

parametresi olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3'deki son etki dağılımı grafiğinde; lazer kesme sırasında lazer gücü artırıldıkça, dış kenar ölçme sonuçları 100 mm olan anma ölçüsünden çıkarılmaktadır. Kesme ilerlemesinin artırılması sonuçların çok az artmasına neden olmuştur. Kesme ilerlemesi dış kenar ölçme sonuçları üzerinde etkili bir parametre olarak

görülmemektedir. Odak noktası artıkça, dış kenar ölçme sonuçları çok az artmıştır. Bu grafikte odak noktası, kesme ilerlemesinden daha etkili bir parametre olarak ortaya çıkmıştır. Grafikte son olarak gaz basıncı parametresinin üç değeri de ortalama çizgisi üzerinde kaldığı gözlemlenmektedir. Bu da gaz basıncı parametresinin; 8 mm kalınlığındaki malzemenin lazer kesiminde, dış kenar ölçme sonuçları üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı

göstermektedir. Grafikte genel olarak bir etki sıralaması yapılırsa en etkili parametrenin güç olduğu, gaz basıncı parametresinin de etkili olmadığı görülmektedir.

4 mm kalınlığındaki malzemede kesilen numuneler üzerinden ölçülen dairenin çap ölçüleri istatistiksel olarak incelendiğinde; tahminsel daire çapını veren etki dağılımı sonuçlarını, karelerini ve birbirleri arasındaki etkilerini de içeren denklem;

$$\begin{aligned} \text{Çap} = & 39,3 + (0,000095W) - (0,00014IF) - (0,28ON) + (3,5P) + (0,00563ON^2) - (3,32P^2) + \\ & (0,000001W * ON) - (0,000006W * P) + (0,000009F * ON) + (0,000043F * P) + (0,26ON * P) \end{aligned} \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen denklemin standart sapması $S = 0,008651$ ve regresyon katsayısı $R^2=0,934$ olarak elde edilmiştir. Denklem kesme parametrelerinin dış kenar ölçüm ortalaması değeri üzerindeki etkilerini %93,4 seviyesinde açıklamaktadır. Şekil 4' de bağımsız parametrelerin daire çap ölçme sonuçlarına etkilerini ayrı ayrı göstermektedir.

Görünen en etkili parametre güçtür. Grafikten de anlaşılacağı gibi değişim çizgisi gücün artmasıyla artan bir ilişki ortaya koymaktadır. Burada lazer gücünün en yüksek değeri olan 4600 W uygulandığında, 40,20 mm çap değeri ölçülmüştür. Kesme ilerlemesinin artmasıyla daire çap ölçme sonucunda azalma meydana gelmiştir. Buradaki ilişki gücün aksine azalan bir değişim ile sonuçlanmıştır. Bu parametrenin değişim aralığı güçten eğimin farklı olması nedeniyle daha az etkili gözükmektedir. Kesme ilerlemesinde; kesme işlemi sırasında

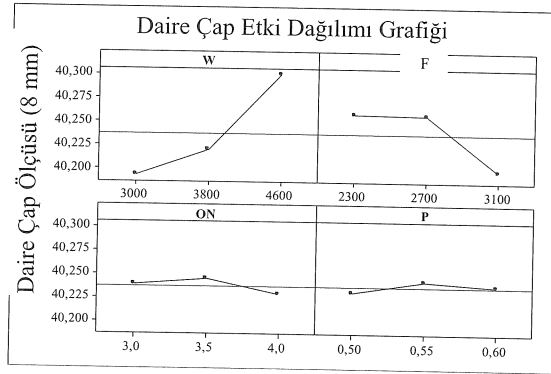
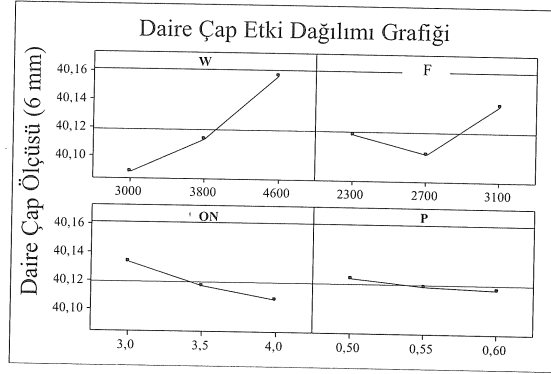
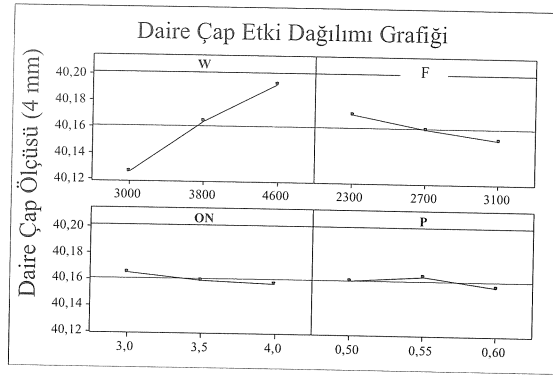
uygulanan en yüksek değerinde (3100 mm/dk) daire çap ölçme sonucu anma ölçüsü (40 mm) değerine en yakın olan 40,15 mm değeri ölçülmüştür. Daire çap ölçme sonuçlarına odak noktası parametresinin etkisi düşük olarak gerçekleştiği gözlenmiştir. Gaz basıncı parametresinde seçilen en büyük değer, daire çap ölçme sonucu üzerinde olumlu bir etki yapmış olsa da, üç farklı çap değeri birlikte dikkate alındığında, daire çap ölçüsü için çok etkili bir parametre olmadığı söylenebilir. Şekil 4'deki ilk grafiğinde; gaz basıncının 0,55 bar değerinde sonuçları yükselttiği görülmüş olsa da; gaz basıncı diğer parametrelere göre en etkisiz parametre sonucuna varılmıştır.

Ç1040 6 mm numunelerin kesme parametrelerinin daire çap sonuçları üzerine etkilerinin, istatistiksel olarak değerlendirilmesiyle türetilen tahminsel denklem Eş. 3.5' deki gibi gerçekleşmiştir.

$$\begin{aligned} \text{Çap} = & 38,4 - (0,00034W) + (0,000989F) + (0,182ON) + (3,39P) - (0,0436ON^2) - (4,02P^2) + \\ & (0,000008W * ON) + (0,000208W * P) + (0,000013F * ON) - (0,000106F * P) + (0,157ON * P) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Oluşturulan bu denklemde standart sapma $S=0,0151281$ ve regresyon katsayısı $R^2=0,941$ olarak bulunmuştur. Bu denklem kesme parametrelerinin daire çap ölçme sonuçları üzerindeki etkilerini, %94,1 seviyesinde açıklamaktadır. Şekil 4'deki ikinci grafik; lazer gücünün artmasıyla çap ölçme sonuçlarının arttığı gözlenmektedir. Burada en ideal ölçme sonucu 3000 W lazer gücü uygulanan numunelerde ortaya çıkmıştır. Grafik, gücün ortadaki seçilen değerine kadar düşük bir eğimle değişim gösterirken, en yüksek değerine kadar olan sonuçlarda, daha yüksek bir eğimle doğru çizmiştir. Gücün artması lazer kesmede, kesmenin kolay yapılmasını sağlarken, çap ölçme sonuçları üzerinde olumsuz sonuçlar ortaya koymaktadır. Grafikte

kesme ilerlemesi parametresinin etkisine bakıldığında; 2700 mm/dk olan değeri çap ölçme sonuçlarında, anma ölçüsü değerine en yakın olan 40,10 mm değerinin ölçülmesiyle sonuçlanmıştır. Odak noktasının kesme sırasında artırılması, malzemenin kesitinden bakıldığında daha derinlerinden odaklanmasını sağladığı için ölçme sonuçlarının da istenilen değere yakın çıkması beklenmektedir. Grafikte de bu sonuç karşımıza çıkmaktadır. 6 mm malzemelerde gaz basıncı parametresi için gaz basıncının artırılması kesim sırasında cürufun atılmasına yardımcı bir parametre ölçme sonuçları üzerinde ki etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın genelinde, gaz basıncı dış kenar ya da çap ölçme sonuçları üzerinde etkili olmadığı görülmektedir.



Şekil 4. 4, 6 ve 8 mm kalınlığındaki malzemeler için parametrelerin daire çap ölçüm sonuçları üzerindeki etki dağılımı grafikleri

Ç1040 8 mm malzemede daire çapını veren; etki dağılımı sonuçlarını, karelerini ve birbirleri arasındaki etkilerini de içeren denklem Eş. 3.6' da verilmiştir. Bu denklemin standart sapması $S=0,01894$ ve regresyon katsayısı $R^2=0,801$ olarak elde edilmiştir. Denklem kesme parametrelerinin daire çap ölçme değerleri üzerindeki etkilerini %80,1 seviyesinde açıklamaktadır. Bu denklem, istatistik programına göre parametrelerle ölçme sonuçları arasında %95 anlamlılık seviyesinde geliştirilmiştir.

Şekil 4'de 8 mm için en etkili parametre en geniş ölçme aralığını kapsamaması nedeniyle güç parametresidir. Lazer kesme sırasında güç artırılmasıyla; ölçme sonuçları 40 mm olması gereken değer üstünde gerçekleşmiştir.

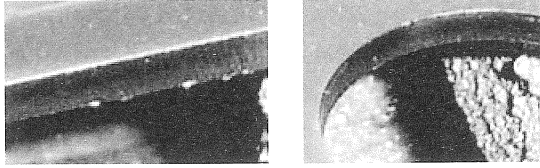
Kesme ilerlemesi parametresinin daire çap ölçme sonuçlarına etkisi, 2700 mm/dk değerinde bir değişme göstermemiştir. 3100 mm/dk en yüksek değerinde istenilen ölçme sonucuna en yakın ölçme sonucu ortaya çıkmaktadır. 8 mm kalınlık için en iyi kesme ilerlemesi değeri 3100 mm/dk olan değerdir. Odak noktasının kesme sırasında artırılması, malzemenin kesitinden bakıldığında daha derinlerinden odaklanmasını sağladığı için ölçme sonuçlarının da istenilen değere yakın çıkması beklenmektedir. Grafikte de bu sonuç karşımıza çıkmaktadır. Gaz basıncının buradaki etkisinin sadece fiziksel olduğu; yani çapak oluşumunu önlemek amacıyla olduğu anlaşılmaktadır.

$$\begin{aligned} \text{Çap} = & 41,1 - (0,000046W) - (0,000585F) - (0,147ON) + (3,33P) + (0,0138ON^2) + (0,58P^2) - \\ & (0,000005W * ON) - (0,000047W * P) + (0,000009F * ON) - (0,000403F * P) + (0,058ON * P) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Genel olarak grafikler incelendiğinde dış kenar boyutu ve daire çap ölçme sonuçları üzerinde etkili parametrenin lazer gücü (W) olduğu görülmektedir. Dış kenar ölçme sonuçlarında lazer gücünü arttırmak istenilen sonuca yaklaşmayı sağlarken, daire çap ölçme sonuçlarında aksi bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Diğer parametrelerden kesme ilerlemesi dış kenar ölçme sonuçlarında 4, 6 ve 8 mm malzemeler için aynı etkiyi ortaya çıkarmıştır. Çap ölçme sonuçlarında ise 4 ve 8 mm için kesme ilerlemesinin artması istediğimiz sonucu ortaya çıkarırken 6 mm için tersi oluşmuştur. Genelde Gaz basıncı ve odak noktası parametrelerinin dış kenar ve çap ölçme sonuçları üzerinde çok etkili parametreler olmadığı grafiklerden okunmaktadır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada lazer ile kesme işleminde lazer kesmeyi etkileyen birçok parametre içinden en etkili olduğu bilinen lazer gücü, kesme ilerlemesi, odak noktası ve gaz basıncı parametrelerinin farklı kombinasyonda Ç1040 malzemenin 4, 6 ve 8 mm kalınlığında numuneler kesilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda çıkarılan bulgulara dayanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:



Şekil 5. Dış kenar ve daire kesme kenarı

- Dış kenar ve çap ölçme sonuçlarının boyutsal doğruluğu üzerine güç ve kesme ilerlemesi parametrelerinin en etkili parametreler olduğu saptanmıştır.
- Boyutsal doğruluğun sağlanmasında, malzeme kalınlığı da göz önünde bulundurularak, kesim sırasında düşük lazer gücü kullanmak istenilen ölçüye en yakın ölçünün elde edilmesini sağladığı tespit edilmiştir.
- Kalınlığı 4 mm olan malzeme en iyi kesim ve istenilen geometrik boyutunun elde edilmesi için uygun parametreler; lazer gücü 3000 W kesme ilerlemesi 3100 mm/dk, odak noktası 4 mm olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, bu malzeme lazer kesimi yapılırken gaz basıncının boyut

değişimi üzerinde etkili bir parametre olarak görülmediği saptanmıştır.

- 6 mm kalınlığındaki malzeme aynı koşullarda kesilen numunelerin en iyi kesim ve istenilen geometrik boyutu için uygun parametreler; lazer gücü 3000 Watt, kesme ilerlemesi 3100 mm/dak, odak noktası 4 mm ve gaz basıncı 0,5 bar olarak ortaya çıkmıştır.
- 8 mm kalınlığındaki malzemenin kesilen; geometriler için en uygun parametreler, lazer gücü 3000 Watt, kesme ilerlemesi 3100 mm/dak, odak noktası 4 mm olarak belirlenmiştir. Bu 8 mm'lik numunelerde gaz basıncı kesilen bölgede boyut değişimi yerine kesme sırasında cürufun dışarı atılmasında etkili olduğu görülmüştür.
- 8 mm kalınlığındaki malzemenin kesilen daire geometrisinde, farklı olarak kesme ilerlemesi 2700 mm/dk ve gaz basıncı 0,6 bar olarak belirlenmiştir. Daire geometrisinin lazer kesimi sırasında, lazerin duraklaması gereken herhangi bir köşe olmadığından dolayı ve malzeme kalınlığının artmasına bağlı olarak daha yavaş bir kesme ilerlemesinde daha iyi kesme sonuçları ortaya çıkarmıştır. Bu durum 6 ve 8 mm kalınlıklarda daha net olarak görülmüştür.
- Kesim bölgeleri incelendiğinde; genel olarak gaz basıncının kesilen parçada boyut değişimi üzerine çok etkili olmadığı söylenebilir. Ancak, gaz basıncının kesme sırasında cürufun dışarı püskürtülerek atılması konusunda etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, odak noktasının boyut değişimleri üzerinde etkisi olmadığı; yalnız odak noktasının seçimi malzeme kesme kalitesi üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır. Bu durum Şekil 5'de görüldüğü gibi numunelerin kenar görüntülerinden anlaşılmaktadır.

THE INVESTIGATION OF EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON THE DEVIATION AMOUNT FROM NOMINAL DIMENSION DURING CUTTING OF Ç1040 STEEL WITH LASER

Laser cutting method for cutting of metals is widely used in industry. If the appropriate cutting parameters are selected at laser cutting method, burr-free is done without need for tool and without contact with the material and quickly. There are many parameters that determine dimension of cut part with

laser cutting. In this study, AISI 1040 steel has 4, 6 and 8 mm thickness were cut using CO₂ laser cutting method. As cutting parameters, laser power (W), feed rate (F), focus point (ON) and gas pressure (P) were used. 100x100 mm square and 40 mm diameter profiles hole were cut with laser and then deviation from dimension of the outer edge and diameter was measured. According to the study, changes in dimensional stability were observed depend on laser parameters. For 4 mm AISI 1040 material, minimum dimension value on outer edge is 99.535 mm and maximum value is 99.735 mm. In addition, the most important parameters effects on dimension are cutting power and feed rate.

Keywords: laser cutting, laser power, focus point, dimension change

KAYNAKÇA

1. Durukan, Z., "Lazer ile Kesmede İş ve İşleme Parametrelerinin Geometrik ve Boyut Değişimlerine Etkilerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 40-51 (2010).
2. Kurt, M., "Plastik malzemelerin (PTFE ve POM) lazer ile kesilme özelliklerinin deneysel incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 6-7 (2006).
3. <http://www.konlazer.com/tr/main.swf>, (2010).
4. Cemal, M., "Lazer ile kesme ve Endüstriyel Uygulamaları" Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya*, 32-37 (2006).
5. Taşal, E., "Yüksek güçlü sürekli-dalgalı infrared karbondioksit lazer dizaynı" Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir*, 36-40 (1997).
6. Anık, S., Ögür, A., Vural, M., "Termik Kesme Teknolojisi" *Gedik Eğitim Vakfı 2, İstanbul*, 115-118 (1996).
7. Güven, O., Ünal, S., "Lazer Kesme", Araştırma Yazısı, *Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Mersin*, 1-2 (2002).
8. Sevinç, A., "CNC Lazer Kesme Tezgahında Üç Boyutlu Sac Parçaların Kesme ve Delik Delme İşlemlerinin CAD-CAM-CNC Entegrasyonu ile Yapılması" *Tofaş ARGE Notları, Bursa*, 1-3 (2000).
9. Kaya, S., Demirören H., Korkut M. H., "St-37 düşük alaşımli çelik ve AISI 304, 304L, 316 östenitik paslanmaz çelik numunelerinin şeker fabrikaları kule difüzör ünitesindeki korozyon davranışlarının deneysel araştırılması" *Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğt. Böl., Elazığ*, (2003).
10. Öner, U., "Lazerle Kesme İşleminde Kesme Parametrelerinin Kesme Aralığı ve Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 14 (2008).
11. Bystronic Lazer AG, "Byspeed Kullanma Klavuzu", İsviçre, 229-231, (2002).