

# Lazer Kesim Gözleme Teknolojisi Karakteristiği ve Uygulamaları

## Characteristic of Laser Cutting Observation Technology and Applications

Uğur Karanfil<sup>1</sup>, Uğur Yalçın<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>AR-GE Mühendisi, Durmazlar Makina  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Uludağ Üniversitesi, Bursa  
ugurkaranfil@yahoo.com

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Uludağ Üniversitesi, Bursa  
\*İletişim Yazarı: uyalcin@uludag.edu.tr

### Özet

Lazer teknolojisinin son yıllardaki hızlı gelişimi lazer makinelerinin kullanım alanlarını oldukça artırmıştır. Bu çalışma, metal ve metal olmayan malzemeleri şekillendirme amacıyla kullanılan lazer kesim makinelerinin delme ve kesme işlemleri ile alakalı sorunları ve bunların çözümleri ile ilgilidir. Lazer ile sac şekillendirme süreci sırasında gaz basıncında değişiklik olması, materyalin çok ısınması, malzemenin kalitesinin iyi olmaması, kesim kafası optiklerinin ısınıp odağın değişmesi gibi kronik sorunlar oluşmaktadır. Bu sorunlar sebebiyle kaynatma denilen problemin yanı sıra kesim kalitesinde bozulmalar oluşmakta zaman ve maliyet açısından büyük kayıplar meydana gelmektedir. Çalışmada bu sorunlara çözüm amacıyla yapılmış olan sistemin işleyiş prensibi anlatılmış ve farklı malzeme türleri üzerinde yapılan uygulamaları gösterilmiştir. Temel olarak lazer kesim kafasında konumlanan sensörler ile delme ve kesme işlemi sürekli gözlem altında tutan bu sistem, gömülü işlemcide çalışan algoritmaları sayesinde sensörlerden gelen analog sinyali işleyerek CNC makine işlemlerini kontrol edebilmektedir.

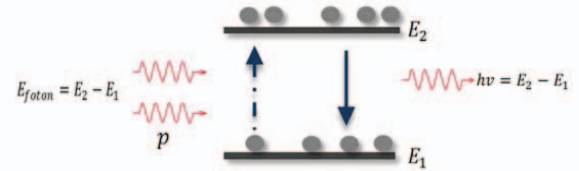
### Abstract

The growth rate of laser technology, expands the application areas of laser machines. This machines are using for shaping metal and non-metal plates, this paper concern about their piercing, cutting problems and solutions. During the metal forming process changing gas pressure, lack of good quality material, cutting head focus changing, material warming can be occur chronically. Due to these problems not only welding but also cutting quality deterioration occurs and it cause large losses in terms of time and cost. This paper described the working principle of the system is meant to solve these problems and demonstrated applications performed on different types of materials. Basically, system observes piercing and cutting process continuously through sensors and send information to the embedded processor. Owing to this signals and special algorithms, processor can control to CNC machine and process.

### 1. Giriş

Uyarılmış ışınım yayılımıyla ışığın kuvvetlendirilmesi kelimesinin akronimi ile adlandırılan lazerler, savunma sanayinden haberleşmeye, tıp alanından optiğe kadar birçok farklı amaçlar için kullanılmaktadır. İşleme ve bakım maliyetinin az olmasının yanı sıra malzeme kesimindeki hız ve doğruluk gelişen endüstrinin sebep olduğu rekabetçi ortamda lazerlerin metal işleme sektöründe kullanılmasını kaçınılmaz kılmıştır.

Lazerlerin oluşumu temel olarak Şekil-1'de görüleceği üzere, atom veya moleküllerin enerji seviyeleri arasındaki elektron geçişlerinde yayılan fotonlarla meydana gelmekte ve bu fotonların enerjileri iki seviye arasındaki farka eşit olmaktadır.



Şekil 1: Enerji seviyesi diyagramı

Çalışma prensibini bir örnekle anlatmak gerekirse, Şekil 1'de ki gibi, sırasıyla N1 ve N2 elektron yoğunluğuna sahip iki enerji seviyesinde bulunan sistemi düşünelim. Başlangıç durumunda alt enerji seviyesinde bulunan elektronların bir üst enerji seviyesine geçmesi için harici bir etkinin uygulanması gerekmektedir. Pompalama adı verilen bu durum sağlandığında elektronlar uyarılarak bir üst seviyeye geçer. Yarıiletken lazerlerde pompalama işlemi aşırı katkılama ile eklem üzerinden akım geçirmek suretiyle sağlanır [1]. Elektronların üst seviyede kalma süreleri alt seviyede kalma sürelerinden uzun olursa elektron yoğunluğunda  $N2 > N1$  durumu oluşur.

$$E_{foton} = E_2 - E_1 \quad (1)$$

Fakat uyarılmış elektronlar üst enerji seviyesinde sonsuza kadar duramaz ve (1) 'de gösterilen formüldeki enerjiye sahip bir foton yayarak alt enerji seviyesine inerek kararlı duruma geçerler. Yayılan fotonun rastgele hareket ettiği bu olaya kendiliğinden oluşan ışına adı verilir. Eğer yayılan enerji lazer kaynağının iki tarafında bulunan yansıtıcı aynalar aracılığı ile kendi ortamında döndürülür ise elektronların uyarılması süreklilik kazanır. Bu sayede aynı fazda şiddeti artarak uyarılmış ve taşıyan güçlü bir ışınım elde edilir. Lazerin ana çalışma ilkesi olan bu ikinci geçiş sistemi uyarılmış ışına olarak adlandırılır [2].

Metal işleme sektörünün yanı sıra diğer alanlarda kullanılan başlıca lazer çeşitleri başta gaz lazerler olmak üzere optik pompalı katı lazerler, sıvı lazerler, kimyasal lazerler, yarı iletken lazerler, boyar maddeli lazerler, katı hal lazerler ve fiber lazerler şeklindedir. Özellikle son birkaç yılda fiber lazerle malzeme işleme hızı bir gelişime uğramıştır. Yüksek ışın kalitesine sahip olması ve metal yüzeylerde kolaylıkla emilmesi sayesinde fiber lazerleri kalın malzemeleri kesmekte de CO<sub>2</sub> ve Nd:YAG lazerlere meydan okuması beklenmektedir [3,4]. Markalama, oyma, kesme, kaynak yapma, şekil verme gibi yüzey işleme teknikleri geçtiğimiz yıllarda oldukça yaygın hale gelmiştir [5]. Bu tekniklerin ortak özelliği mümkün olduğunca uygun olan çalışma noktasına ihtiyaç duymalarıdır [6].

Endüstride lazerli kesim işlemindeki kesim süresinin yanı sıra ortaya çıkan ürünün kalitesi de oldukça önem arz etmektedir. İş parçasının kalınlığının ya da materyal tipinin değişimi birçok optiksel parametrenin değişmesine sebebiyet vermektedir [7]. Malzemenin termal ve fiziksel özellikleri, kullanılan lazer gücü, dalga boyu, kesme hızı, ağızlık çapı ve mesafesi, kullanılan gazın cinsi ve basıncı ve odak mesafesi kesilen iş parçasının kalitesini belirleyen etmenlerdir. Lazer kesiminin kalitesi, lazer enerjisinin malzemeye nüfuz etme miktarına bağlıdır. Bu sebeple malzemenin termal özellikleri lazerin kesme kabiliyeti ve kesme işleminin kalitesinde büyük rol oynamaktadır [8,9]. Odak pozisyonu optimum kesme kalitesini sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Farklı malzeme tip ve kalınlıkları, odak değişikliği ve lazer ışın yoğunluğunda değişimlere sebebiyet verir [8,10].

Kesme hızı bu işlemdeki en önemli parametrelerden biridir ve lazer gücü ile gaz akış oranına bağlı olarak iyi bir şekilde dengelenmelidir. Kesme hızının artması ile kesim kenarında oluşan şeritler belirgin hale gelmektedir, kesme kenarı altında cüruf biriktirme artarken ve nüfuz etme miktarı azalmaktadır. Örneğin, yumuşak çelik keserken oksijen kullanıldığında, düşük kesme hızları için, kesme kenarlarında erimeler oluşmaktadır. Oluşan bu erimeler kesim kenarın kalitesini düşürür ve ısıdan etkilenen bölgeyi genişletir. Genellikle malzemeler için kesme hızları malzemenin kalınlığı ile ters orantılı olmaktadır. Hızın köşe dönüşlerindeki yanmalardan kaçınmak için azaltılması gerekmektedir [8,11].

Nozul (Ağızlık), kesme gazının kesilecek olan bölgeye lazer ışını ile birlikte eş eksensli bir biçimde taşınmasını sağlar ve gaz basıncını ayarlar. Ağızlık tasarımı, özellikle de ağız kısmı tasarımı kesme gazı jetinin biçimi ile kesme kalitesini belirlemektedir. 0.8 mm ile 4 mm arasında değişen ağız çapı, malzeme tipi ve sac kalınlığına göre seçilmektedir. [8,11].

İşlem gazının lazer kesimde 5 temel ilkesi bulunmaktadır. Azot gazı kesilmiş malzemeyi kesim bölgesinin altında yeniden katılaşmadan uzaklaştırır. Oksijen ise malzeme ile ekzotermik bir reaksiyona girmektedir. Gaz ayrıca yüksek ışın gücü ile kalın malzemelerin kesiminde plazmanın oluşumunu destekleyen bir rol oynar ve odaklama merceği gaz akışı tarafından kirlenmekten korunur. Kesim kenarı gaz akışı tarafından soğutulur ve böylece ısı tesiri altındaki bölgenin genişlemesi önlenmiş olur. [8,11].

## 2. Yöntem

Yapılan tüm testler Durma HDFL 3015 lazer makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan lineer motorlar sayesinde çok yüksek ivmelenme (30 m/s<sup>2</sup>), yüksek hareket hızı (200 m/s) ve hassas pozisyonlama toleransı (0,03 mm) değerlerine ulaşılmaktadır. Fiber lazer gücü IPG YLS 4000 CUT rezonatöründen elde edilmiş, 100 µm fiber çekirdek çapı ile Precitec kesim kafası kullanılarak delme ve kesme işlemleri yapılmıştır. Cihazların optik karakteristikleri ve teknik özellikleri sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2 'de gösterilmiştir.

Çizelge 1: Rezonatörün Optik Karakteristiği

Çalışma Modu	Sürekli Dalga / Modüle
Polarizasyon	Rastlantısal
Nominal Çıkış Gücü	4000 [W]
Yayılan Dalga Boyu	min. 1068, maks. 1080 [nm]
Çıkış Gücü Modülasyon Oranı	5 [kHz]
Çıkış Gücü Kararsızlığı	tipik ±1% , maks. ±1%
Işın Parametre Ürünü (BBP)	tipik 2.5, maks. 4.0 [mm rad]

Çizelge 2: Kesim Kafasının Teknik Özellikleri

Lazer Dalga boyu	1030 - 1090 nm
Lazer Gücü	6000 W (maksimum)
Odak Uzunluğu	125 mm, 150 mm, 175 mm ve 200 mm
İzin Verilen İvmelenme	45 m/s <sup>2</sup> (maksimum)
Kesim Gaz Basıncı	25 bar (maksimum)
Yardımcı Gaz Basıncı	5 bar (maksimum)
Soğutma Gaz Basıncı	5 bar (maksimum)
Çalışma Gerilimi	24 V ± 10%, 4 A (maksimum)
Çalışma Sıcaklığı	5 – 55 °C

Yüksek basınca dayanıklı otomatik kesme kafası içinde bulunan lens, kesme sürecinde oluşan partiküllerden düşük maliyetli koruma camı ile korunmaktadır. İş parçası olarak kimyasal özellikleri, 1.5% Mn, 0.045% P, 0.045% S, 0.014% N, 0.6% Cu olan yumuşak çelik (ST 37-2), 2.0% Mn, 0.2% P, 0.15% S, 1.0% Si, 0.15% C, 17-19% Cr, 8-10% Ni oranında bileşenlerden oluşan paslanmaz çelik ve 95.8-98.6% Al, 0.04-0.35% Cr, 0.15-0.4% Cu, maksimum 0.7% Fe, 0.8-1.2% Mg, maksimum 0.15% Mn, 0.4-0.8% Si, maksimum 0.15% Ti, maksimum 0.25% Zn bileşenlerini içeren Alüminyum malzeme kullanılmıştır.

Kullanılan her plakanın boyutu 500 mm uzunluk x 200 mm genişliğinde olup 4, 8, 20 mm gibi farklı kalınlıklarda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Delme ve kesim işlemlerinde yardımcı gaz olarak 99.99% oranında saf oksijen gazı ile azot kullanılmıştır.

Odak ve ağızlık (nozül) mesafesi uygulamanın adım mantığı ile yapılmasından dolayı farklılık göstermektedir. Yapılan ölçüm kayıtları adımli delme işleminin yanı sıra düz, eğri ve köşe kesimleri de içermektedir. Delme ve Kesim testlerindeki işlem parametre aralıkları Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3: İşlem Parametreleri

Lazer Gücü [kW]	Kesim Hızı [m/dk]	Yardımcı Gaz Basıncı [bar]	Odak [mm]	Nozul Mesafesi [mm]
20 mm Yumuşak Çelik				
2.1 ~ 4	0.4 ~ 0.7	0.6 ~ 0.8	-15 ~ -2.2	2.2 ~ 15
8 mm Alüminyum				
2.6 ~ 4	0.3 ~ 1.6	12 ~ 15	-7 ~ -4	1 ~ 4
4 mm Paslanmaz Çelik				
2 ~ 4	2 ~ 5	15 ~ 20	-4.2 ~ -1	1 ~ 4

Lazer ışını standart optik fiber kablo ile taşınmıştır, polarizasyon etkileri çalışmaya dahil edilmemiştir. Maksimum kesim hızı kesilecek olan iş parçasının, plakanın bütününden tamamen ayrılabilmesi şartına bağlı kalarak ayarlanmıştır. Kenar kesimi ve delme kalitesi görsel test ile değerlendirilmiştir. Kesim ve delme süreçlerini izlemek için 0-10 V analog çıkış veren sensörler kullanılmış, alınan bu değerler gömülü işlemci de özel algoritma ve yazılımlarla işlenerek CNC lazer makinesi kontrol edilmiştir.

### 3. Sistemin Çalışma Prensipleri

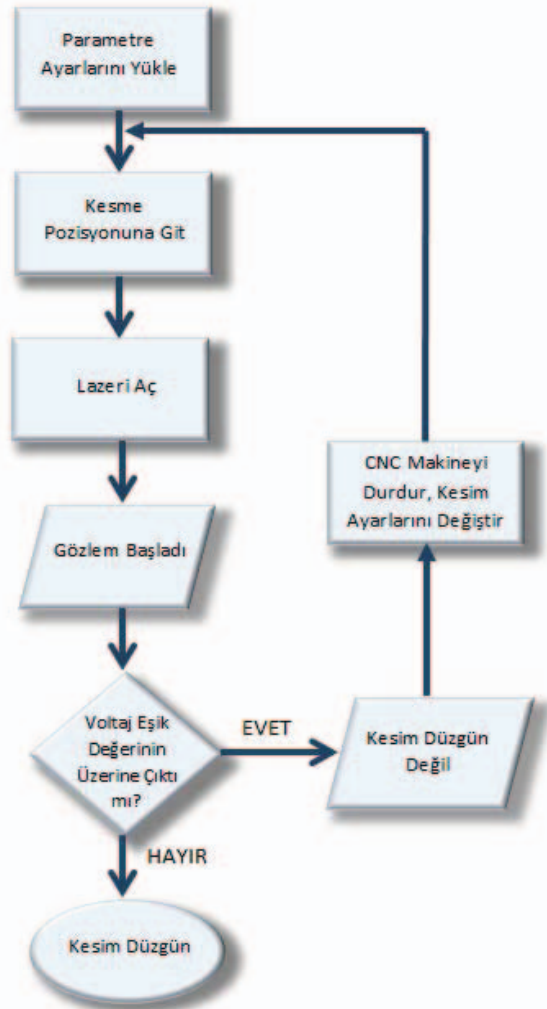
Sistemin çalışma prensibi temel olarak kızılötesi ya da görünür ışık sensörleri ile kesilecek plakadaki sıcaklığı ya da ışık şiddetini kontrol etmeye dayanmaktadır. Bunlardan delme gözlem sisteminin işleyişi şu şekildedir:

Öncelikle işlenecek malzemenin veri tabanındaki optiksel değerleri makineye yüklenir. Bu veriler odak uzaklığı, kesim gazı ve basıncı, nozul yüksekliği, delme alanı gibi birçok parametreyi içermekte, makine bu değerleri PLC’de ayarlayarak işlem yapmaktadır. Buna ek olarak daha önceden ölçüm yapılarak belirlenmiş olan eşik değerleri de takip sistemine yüklenmektedir. Lazer teknolojisinde delme ve kesme işlemleri birbirinden oldukça farklıdır. Delme işleminde daha çok adım mantığı kullanılmakta kafa yüksekliği, odak ve lazer gücü delmenin farklı zamanlarında değişkenlik göstermektedir. Delmenin başlangıç değerleri CNC makinede ayarlandıktan sonra lazer ışığı açılır.

Lazerin açılmasıyla PLC, sensörleri uyku modundan çıkarıp delme gözlem sistemini çalıştırma moduna geçirir. Takip ilk olarak bu aşamada başlar. Her materyal tipi ve kalınlığının verilen lazer gücüne karşı gösterdiği davranış farklıdır. İşlemlerin başında işlenecek malzemeye özel olarak yüklenen eşik değeri bu aşamada sensörlerin ölçüm alıp analog voltaja çevirdiği değer ile kıyaslanmaktadır. Eğer anlık ölçülen değeri eşik değerinin altında belirli bir süre kalırsa gömülü işlemci

delme işleminin tamamladığını anlayarak makineye sinyal gönderir. CNC makine PLC sayesinde lazeri ışını kapatır ve kesim işlemine hazır hale gelir. Aksi durumda ise anlık analog voltaj değerinin eşik değerinin altına inmemesinden dolayı sistem delme işlemine devam eder. Takip sistemi sayesinde eşik değeri bu sırada sürekli kıyaslanır.

Kesme takip sistemi temel olarak delme işlemine oldukça benzemektedir. İkisi arasındaki en önemli fark eşik değerinin konumudur. Bu sisteme geçilmesi için CNC makineye delme işleminin bittiğinin ve kesim için hazırlanması bilgisi verilmelidir. Şekil 2’de gösterilen algoritmayı adım adım izlemek gerekirse:



Şekil 2: Kesme Takip Algoritması

Adım 1: Delme işlemi bittikten sonra lazer ışını kapatılır. Delme işlem parametreleri yerine artık kesim parametreleri çağırılır. İşlenecek malzemenin veri tabanındaki optiksel değerleri makineye yüklenir. Bu veriler aynı delme işlemindeki gibi odak uzaklığı, kesim hızı, kesim gazı ve basıncı, nozul yüksekliği gibi birçok parametreyi içermektedir. Buna ek olarak daha önceden ölçüm yapılarak belirlenmiş olan eşik değerleri de takip sistemine bu adımda yüklenmektedir.

Kesim işlem parametrelerinin bir farkı da kesim başlangıcının, başlangıç sonrasının ve köşe dönüşlerinin parametrelerinin ayrı olmasıdır.

Adım 2: Delme işlemlerinde lazer kafasının saca olan pozisyonu kesime göre yüksek olmak zorundadır. Atış ve adım mantığıyla delme işlemini yukarıdan yapan sistem gazın saca daha iyi nüfus etmesi için kesim işleminde delik olan noktaya oldukça yaklaşır.

Adım 3: Kesmenin başlangıç değerleri CNC makine de ayarlandıktan sonra lazer ışığı kesim için ilk kez burada açılır.

Adım 4: Lazerin açılmasıyla PLC, sensörleri uyku modundan çıkarıp kesme gözlem sistemini çalıştırma moduna geçirir. Takip ilk olarak burada başlar.

Adım 5: Bu adımda aynı delme işlemindeki gibi eşik değerlerinin anlık ölçüm değerleri ile sürekli bir kıyaslaması yapılmaktadır. Eğer anlık ölçülen değeri eşik değerinin belirli bir süre üzerinde kalırsa sistem Adım 7'ye geçer, aksi durumda ise Adım 6'ya geçiş yapar.

Adım 6: Bu adımda gömülü işlemci herhangi olumsuz bir durum algılamadığı için kesim işleminin düzgün devam ettiğini düşünerek herhangi bir müdahalede bulunmaz. Kesilecek olan parça tamamlandıktan sonra CNC makine PLC ile lazeri ışınını kapatır, sensörleri ve sistemi uyku moduna geçirir.

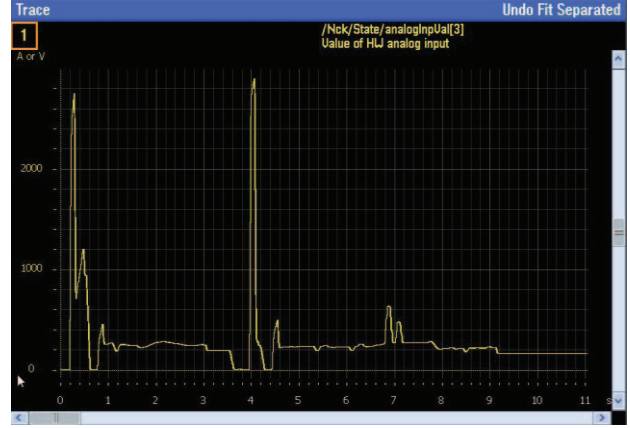
Adım 7: Anlık analog voltaj değerinin eşik değerinin belirli bir süre üzerinde kalmasından dolayı. Sistem olumsuz bir durum olduğunu tespit eder ve makineye hatalı kesim olduğunu belirten sinyal gönderir.

Adım 8: Kesim hatası sinyali alan CNC makine hemen lazer ışınını kapatır ve hareket eden eksenleri durdurur. Lazer kafası kesim pozisyonundan yukarı doğru kalker kesim yolunda belirli bir miktar geri gelir. Kesim hızında ve parametrelerinde bazı değişiklikler yapar ve tekrar Adım 2'ye geri döner. Bu işlemi ilgili kontur için 3 kez tekrar eder. Eğer hala kesimde hata sinyali tespit ederse diğer parçaya atlar. Parçalar ve konturlar arası geçişlerde orijinal değerleri tekrar yükleyen sistem geçiş yaptığı parçada yine aynı durumla karşılaşır bu sefer makinayı tamamen durdurup alarm mesajı ile operatörü uyarır.

#### 4. Ölçümler ve Analiz

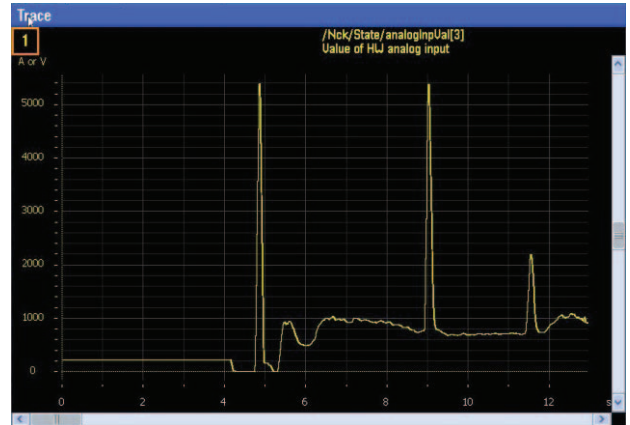
Testler materyal tiplerinin ve kalınlığının sisteme karşı nasıl karakter gösterdiğini anlayabilmek için farklı olarak seçilmiştir. Lazer gücünün etkisini gözlemlemek için 2-4 kW arasında güç kullanılmıştır.

Şekil 3 'te 4 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik malzemesinin delme ve kesme grafiği gösterilmektedir. Delme işlemi için 2 kW lazer gücü uygulanırken kesim işleminde bu güç 4 kW'a çıkarılmıştır.



Şekil 3: 4 mm Paslanmaz Çelik Delme ve Kesme Ölçümü

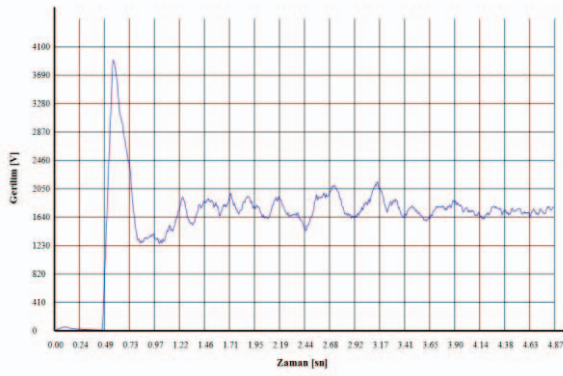
Elde edilen verilere göre paslanmaz çelikte delme eşik değeri için 800 V ideal gözükmemektedir. Yapılan denemeler 10 ms bekleme süresinin sistemin kararlılığı açısından uygun görülmüştür. Kesim sürecinde ise sinyal 250 V civarında seyretmiştir, ölçümlerde bozulma anlarında paslanmaz çeliğin verdiği tepkimelerdeki genliğin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple kesim için eşik değeri 800 V ve 10 ms olarak uygulanmıştır. Sonuç olarak, 4 mm paslanmaz çeliğin delme süresi azot ile yaklaşık olarak 0.3 - 0.4 saniye aralığında olduğundan bu kalınlık için sistem çok fark yaratmamıştır. Bunun yerine 2 saniye delme süresine sahip 12 mm ve üzeri paslanmaz çelikte fark daha belirgin olacaktır. Kesim işlemi her zaman bir avantaj sağladığından materyal kalınlığının ya da tipinin önemi yoktur.



Şekil 4: 8 mm Alüminyum Delme ve Kesme Ölçümü

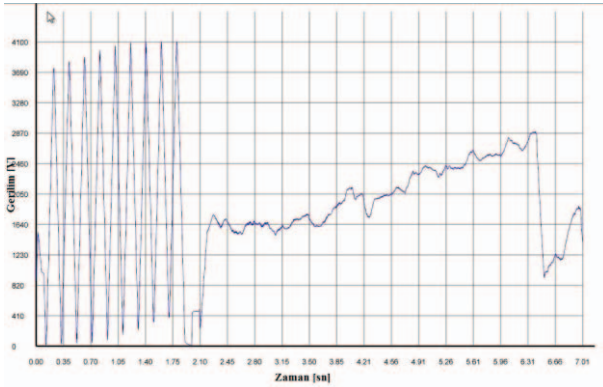
Şekil 4' te 8 mm kalınlığındaki Alüminyum malzemesinin ölçüm grafiği verilmiştir. Delme işlemi için 4 mm yükseklikten tek adımda 3 kW lazer gücü kullanılmış, eşik değeri için 1200 V, karar süresi için 10 ms uygun bulunmuştur. Kesim işleminde sinyal 1000 V civarında seyretmiştir. Alüminyumunda bozuk kesim de aynı paslanmaz çelikte olduğu gibi yüksek genlikte bir sinyalle reaksiyon gösterdiği tespit edilmiş bu sebeple 2500 V eşik değeri 20 ms kararlılık süresi seçilmesi uygun görülmüştür. Kesim sırasında 1 mm yükseklikten 4 kW güç uygulanmış ve azot gazı kullanılmıştır.

## 5. Sonuç



Şekil 5: 20 mm Yumuşak Çelik Standart Delme ve Kesme Ölçümü

Ölçümlerin son aşamasında delinmesi diğerlerine göre zor olan 20 mm kalınlığındaki yumuşak çelik kullanılmıştır. Delme işlemi için standart (Şekil 5) ve darbeli (Şekil 6) olmak üzere iki yöntem kullanılarak ölçümler alınmıştır.



Şekil 6: 20 mm Yumuşak Çelik Darbeli Delme ve Kesme Ölçümü

Delme işlemlerinde 4 kW lazer gücü 8-15 mm yükseklikten 4 adımda uygulanmış, gaz olarak 0.6 bar oksijen kullanılmıştır. Darbeli yöntemin sac üzerindeki etkisinin standart yöntemde göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Standart yöntemde daha fazla erime, cüruf denilen partikül fırlamasının daha fazla olduğu görülmüştür.

Oksijenli kesim yapılan yumuşak sacda sıcaklık artışı daha belirgin olduğundan görünür ışığa nazaran kızılötesi sensör kullanımı daha güvenilirdir. Yapılan testlerde delme işlemi için 2460 V eşik değeri ile 150 ms kararlılık süresi uygun görülmüştür. Kesim işlemi ise sacın 2.5 mm yüksekliğinden 0.65 bar basınç ve 3.3 kW lazer gücü uygulanarak yapılmıştır. Düzgün kesim sırasında genliğin 1640 – 2050 [V] arasında seyrettiği gözlemlenmiştir.

Bozuk kesimde sacın oldukça ısındığı ve erimenin çok fazla olduğu tespit edilmiştir. Buna göre yapılan ölçümlerde kesim için 3000 V eşik değeri ile 130 ms kararlılık süresi kullanılmasına karar verilmiştir.

Sonuç olarak farklı materyal ve kalınlıklarla yapılan ölçümler ile malzeme karakteristiğine göre sensör tipinin, delme ve kesme eşik değerinin, kararlılık süresinin değişken olduğu ortaya çıkarılmıştır. Ölçüm ve analiz için endüstride çok fazla kullanılan sac tiplerinin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Uygulanan lazer gücü arttıkça özellikle yumuşak çelikte genlik değerinin oldukça arttığı ortaya çıkarılmıştır. Paslanmaz çelik ve alüminyumda kesim sırasındaki bozulmaların verdiği tepkimenin, yumuşak çeliğe oranla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sac işlemeye etki eden birçok etmen mevcutken aynı parametrelerle farklı malzemelerin işlenemeyeceği sonucu ortadadır. Bu sebeple bu tarz makinaların akıllı çalışan bir sisteme olan ihtiyaçları kaçınılmaz olmaktadır. Lazer kesim gözlemeleme teknolojisi, materyalin delme ve kesme işlemi sırasında bozulmasını engellediği gibi yapılmakta olan işleme direk müdahale etmektedir. Bu sayede önerilen sistemin diğer sistemlere göre sac maliyetini azaltma, zamandan tasarruf etme, kaynatma sebebiyle oluşan bozulmaları ve iş gücü kaybını önleme gibi avantajları ön plana çıkmaktadır. Bunların yanı sıra otomatik çalışması sebebiyle operatörün gözle göremediği olayları hızlı bir şekilde anlamlandırıp algoritması içinde değerlendirerek uygulamaya geçmektedir. Bu özellik ile sacın gereksiz yere ısınmasını engelleyip erimelerin önüne geçerek normal makinalardan daha küçük bir delik oluşumu ve kaliteli kesim elde edilebildiği yapılan ölçüm ve analizler ile ortaya çıkarılmıştır.

## 6. Kaynaklar

- [1] Süle, P. "Düşük güçlü fiber lazer diyetli kesme sistemlerinde ışın kalite faktörünün iyileştirilmesi", Y.L Tezi, Syf. 4, 2013.
- [2] Erdoğan, Ş. "Lazerle delmede işleme parametrelerinin delik kalitesine olan etkisinin deneysel araştırılması", Y.L Tezi, Syf. 15, 2010.
- [3] Wandera C., Kujanpfifi V., "Characterization of the melt removal rate in laser cutting of thick-section stainless steel," 1. Laser Appl., Cilt 22, Syf. 62-70, 2010.
- [4] M. Sobih, P.L. Crouse, L.Li, "Striation-free fibre laser cutting of mildsteel sheets," Appl. Phys., Cilt 90, Syf. 171-174, 2007.
- [5] V. Kovalenko, R. Zhuk, "Systemized approach in laser industrial systems design," J. Mat. Processing Technol. 149 (1-3), Syf. 553-556, 2004.
- [6] Jezersek M., Gruden V. ve Mozina J. "High-speed measurements of steel-platedeformations during laser surface processing" OSA Syf. 1, 2004.
- [7] Fox M., French P., Peters C., Hand D., Jones J. "Applications of optical sensing for laser cutting and drilling" OSA, Cilt 41, No.24, Syf 4988, 2002.
- [8] Ürgüplü M. ve Köksal S. "Lazer İle Kesme İşlemlerinde Kesim Kalitesine Etki Eden Parametreler" Sakarya Üniversitesi Syf 868.
- [9] Natarajan R. "An experimental and theoretical study of heat transfer effects during a laser-cutting process", Doktora Tezi, Syf. 1, 10-12, 69, 1990.
- [10] Anon., "Facts about: Laser cutting techniques", AGA Group Ltd, Syf. 4-12
- [11] John C. Ion, "Laser Processing of Engineering materials", ISBN 0 7506 6079 1, Syf. 347-365