



FİBER LAZER SAVAŞLARI BAŞLIYOR



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 STM ThinkTech

1. GİRİŞ

60 yıl süren sorgulama sürecinin ardından lazerin bir silah olarak kullanılabileceği fikri artık kesinlik kazandı. Her geçen gün ilerleyen teknoloji sayesinde lazer, belirli kalınlıklarda metalleri kilometrelerce öteden kesebiliyor, hedefin zayıf noktasını saptayarak kara, hava ve deniz araçlarını yok edebiliyor. Özellikle ABD, Rusya ve Çin, ordularına lazer silahı kazandırmak için adeta yarış halinde. Bu teknolojiye yatırım yapmaya başlayan ilk ülke olan ABD'nin lazer silahı geliştirmede zirvede olduğunu söylemek mümkün. Peki lazer silahı üretimi bugüne nasıl geldi? Şu anda bu ülkelerin elinde ne gibi silahlar var?

2. ABD'NİN LAZER SİLAHI HENÜZ ZAYIF ANCAK BİR DÖNÜM NOKTASI

ABD ordusunun kesici ve kaynak özellikli yarım düzine lazerden oluşan, toplam gücü ise sadece 30 Kilowatt (kW) olan en gelişmiş lazer silahının, bilim insanlarının on yıllar öncesinde hayalini kurduğu, füzeleri anında yok eden ölümcül silah olduğunu söylemek güç. Hatta ordunun en gelişmiş lazer silahının, hobiye yönelik pahalı bir teleskopa benzediğini dahi söyleyebiliriz. Daha da ötesi, IEEE Spectrum sitesinde Jeff Hecht'in kaleme aldığı, "Fiber Lazerler Işın Silahlarının Habercisi" başlıklı makaleye göre "bu silahın kontrol mekanizması da oyunlarına benziyor!"^[1]

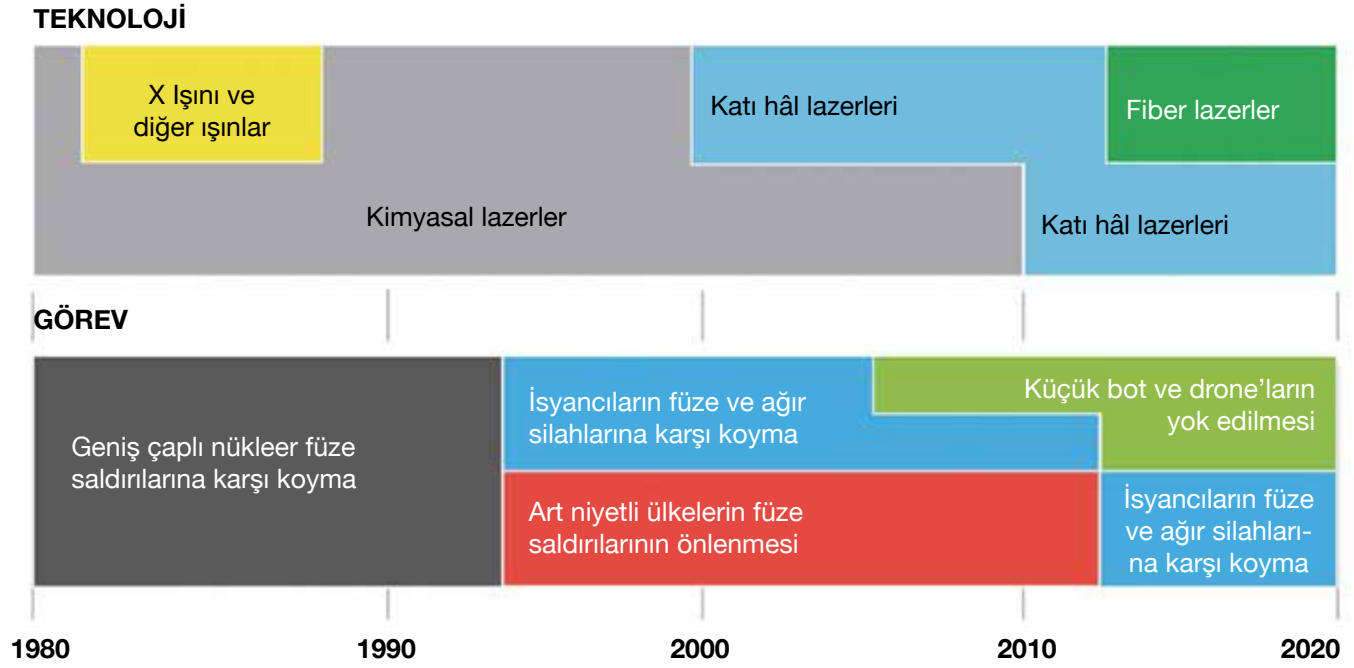
Makaleye göre, orduya ait USS Ponce isimli geminin şasisine monte edilen bu silah, gün boyunca Basra Körfezi'ni tarıyor^[1]. Silahın kontrolörü karanlık bir odada otururken önündeki ekranda, etrafındaki gemiler ve

gemilerin ne taşıdığı, belli belirsiz gösteriliyor. Silahın kızılötesi ışınları ekranda görülmesi de, ekranda hedefin vurulduğu ve metal yığınının suya gömüldüğü gözlemlenebiliyor.

Ordunun elindeki bu silah çok gelişmiş bir teknolojiye sahip olmasa da, uzmanlar tarafından önemli bir dönüm noktası olarak görülüyor. Zira gelecekte yönlendirilmiş enerji silahlarının, harp meydanında kullanılmaları son derece mümkün. Silahın en büyük avantajlarından biri de düşük maliyeti. Örneğin, düşman güçlerine ait, yaklaşık 1000 dolarlık bir füzeyi yok etmek için, bugün 2-3 milyon dolar aralığında maliyete sahip Patriot füze savunma sistemleri kullanılıyor. Ancak yetkililerin beyanına göre fiber lazer silahından gönderilecek bir lazer ışınının maliyeti, 1 dolar. O da, dizel yakıt gider kalem oluyor. Yani binlerce dolarlık bir füzeyi imha etmek için artık 2-3 milyon dolarlık Patriot sistemlerine gerek kalmayacak, 1 dolarlık bir maliyetle bu füzeleri yok etmek mümkün olabilecek^[1].

3. LAZER SİLAHLARI NE ZAMAN KULLANILACAK?

Peki bu silahların kullanılacağı "gelecek", ne zaman gelecek? Uzmanlara göre bunun mümkün olması için hem askeri görevlerde hem de teknolojide değişim şart. Askeri görevlerde değişim yıllardır sürüyor. Mesela 1980'lerden 1990'lı yılların ortalarına dek, lazer silaha yüklenen görev geniş çaplı nükleer füze saldırılarına karşı koymasıydı. 90'ların ortalarından 2010'lara kadar ise bu görev, art niyetli ülkelerin füze saldırılarına ve isyancı



Şekil 1: Lazer teknolojisinin orduda kullanımında dönemsel değişiklikler^[1]

grupların füze ve ağır silahlarına karşı koyma şeklinde revize edildi. Günümüzde ve 2020'ye dek ise lazer silahların füze ve ağır silahlara karşı savunma ile ufak bot ve drone'ların yok edilmesinde kullanılması bekleniyor. Yani 1980'lerden bu yana lazer teknolojisinin orduda kullanımının daha ufak hedeflere doğru kaydığını söylemek mümkün (Şekil 1).

Peki bu alanda teknolojiye değişim ne durumda? 1980'li yıllarda, lazer silahının gelişimi, röntgen ve diğer ışınlar, dönemi takiben 2010'a dek ise kimyasal lazer teknolojilerine bağlanmıştır. 2000 yılından itibaren bilim insanlarının gündemine giren katı hâl lazerleri bugün fiber lazerler ile birlikte sektörü domine eden iki teknoloji olarak öne çıkıyor. Uzmanlar teknolojik değişimin çok daha hızlı ilerlediğini, yepyeni bir fiber optik lazere doğru emin adımlar atıldığını belirtiyor. ABD'de hızla büyüyen 2 milyar dolarlık hacme sahip olan bu sanayi; telekomünikasyon için kullanılan hammaddeleri, yepyeni bir amaçla kullanmak için yeniden tasarlıyor. Amaç, metalleri bunlarla kesip, kaynak yapabilecek şekilde yeniden değerlendirmek. Böylece çok daha yüksek güç ve daha yıkıcı bir etki elde etmek mümkün olacak.

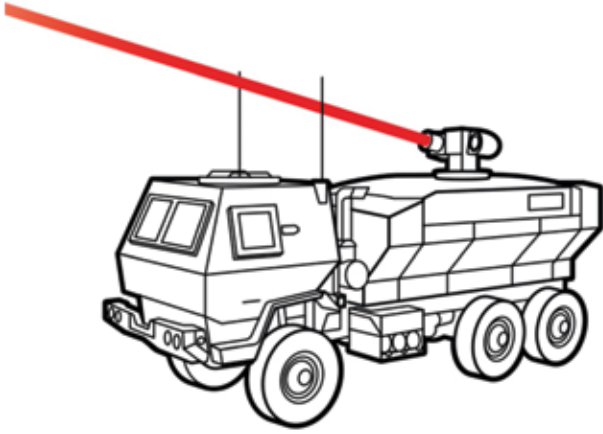
Pentagon yetkilileri, USS Ponce gemisinde test edilen 30 kW lazer silahı gibi yüksek enerjili lazerlerin hem kara hem de denizde pek çok amaca hizmet edebileceği görüşünde. Pek çok fiber lazerin tek bir mercekte geçirilerek tek bir hedefi vurduğu bu silah hem yüksek enerji hem de verimlilik vad ediyor. Test aşamasında silahın hedefi ufak bir teknenin üzerindeki tek bir noktaydı. Bu nokta, ayrı bir takip sistemiyle izleniyordu. Diğer yandan böyle bir lazer basit füzeleri, ağır silahları, drone'ları, silahla donatılmış ufak tekneleri vurabilir. Bunlar, Irak ve Afganistan'da milis güçler tarafından kullanılmıştı.

4. ABD'NİN GELİŞTİRDİĞİ LAZER SİLAHLARI

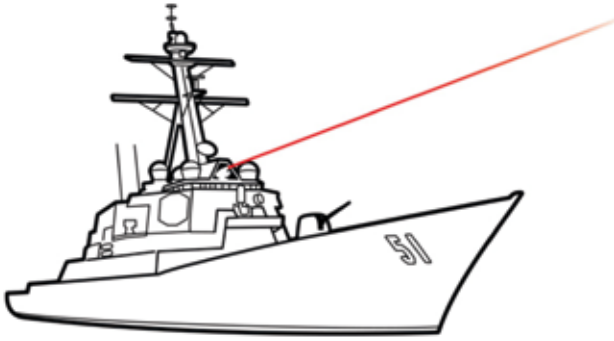
ABD ordusu şimdiye dek kara, deniz ve hava için dört lazer silahı (Şekil 2) geliştirdi. 2022 yılında hizmete alınması beklenen ve 100 kW güce sahip olacak lazer silahı, onun için özel geliştirilmiş bir kara aracına monte edilerek test edilecek. ABD ordusunun lazer silahlı gemisinin ise 2020 yılında kullanıma girmesi hedefleniyor. 60-150 kW aralığında güce sahip olacak bu lazer, bir muhrip savaş gemisinde konumlandırılarak, denizde test edilecek. Bu silah, hükümetin 150 milyon dolarlık yatırımla yürüttüğü HELIOS projesi. Proje yüksek enerjili lazer, onunla entegre optik kamuflaj ve gözetleme teknolojilerini içeriyor. Havada kullanılacak silahın ise 2021'de hazır olması bekleniyor. Onlarca kW gücünde olacak bu lazer, bir savaş jetine monte edilerek, havada test edilecek. 2023'te ordu güçlerine katılacak ikinci silahın gücü ise, "multi kilowatt" olarak belirtiliyor. Bu çalışma kapsamında düşük güç kapasiteli bir lazer, drone'a entegre edilerek düşman güçlerini hedef alacak. 100 kW güce sahip fiber lazerler, kilometrelerce ötedeki hedefleri güvenilir bir şekilde yok edebilecek.

5. LAZER SİLAHI PEŞİNDEKİ ÜLKELER

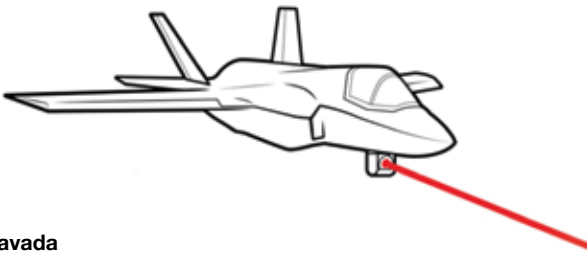
Bu teknolojinin peşinde olan tek ülke elbette ABD değil. Çin'de Poly Technologies, İsrail'de Rafael ve Almanya'da savunma firması Rheinmetall, en az ABD ordusunun USS Ponce ile test ettiğine denk güçte fiber lazerler

**Karada****Konuşlandırma:** 2022**Güç:** 100 kW

Dolaylı Ateşten Korunma Kapasitesi Artışı 2, Yüksek Enerji Lazeri Mobil Test Aracı'ndan test edilecek.

**Denizde****Konuşlandırma:** 2020**Güç:** 60-150 kW

Gözetleme (HELIOS) programı ile 150 milyon dolarlık Yüksek Enerji Lazeri ve Entegre Optik Kamufaj bir destroyerde kurulacak ve denizde test edilecek.

**Havada****Konuşlandırma:** 2021**Güç:** Onlarca kW

Kendinden Korunmalı Kapsül Monteli Yüksek Enerji Lazeri Uygulayıcısı, bir savaş uçağı üzerinden uçuş sırasında test edilecek.

**Drone'da****Konuşlandırma:** 2023**Güç:** Multi kilowatt sınıfı

Düşük Güçte Lazer Uygulayıcısı, bir drone'dan uçuş esnasında bir füze hedefleyecek.

Şekil 2: ABD ordusunun kara, deniz ve havada kullanım için geliştirdiği dört lazer silahı^[1]

geliştirmeyi başardılar. İngiltere ise Dragonfire adlı 50 kW güçteki lazeri geliştirmek için 30 milyon sterlin harcıyor. Japonlar, Kuzey Kore'nin balistik füzeleri de dahil olmak üzere kısa menzilli füzelerle yapılabilecek pek çok saldırıyı engelleyecek fiber lazerler için çalışıyor. Diğer yandan bu programı 15 yıl önce başlatan ABD, elektrik gücüyle çalışan yüksek enerjili lazer teknolojisinde lider konumunu koruyor. Ayrıca ABD, IPG Photonics'in liderliğinde gelişen yüksek güçlü endüstriyel fiber lazer sektöründen sonuna dek faydalanıyor. Oxford, Massachusetts merkezli bu firma 1990 yılında Rusya'da kurulsada 1998 yılında merkezini ABD'ye taşımıştı. Şirket bugün tüm dünyaya hizmet veriyor ve küresel fiber lazer sektörünü domine ediyor.

Savunma sanayiinde lazer ve sensör sistemleri üretimi için hükümetle anlaşmalı firmalardan biri olan, Washington'daki Lockheed Martin'in yöneticilerinden Robert Afzal'a göre Savunma Bakanlığı, lazerin keşfedildiği günden bu yana onunla bir silah üretmek amacıyla. IEEE Spectrum'daki makalede^[1] görüşlerine yer verilen Afzal, hedefin bu yüksek güçlü lazerleri ordunun tank, uçak ve gemilerine, mevcut sistemlerinden hiçbir şey çıkarmadan eklemek olduğunu belirtiyor. Gelişme aşamasında başka teknolojiler olsa da, fiber lazer, lazerle silah üretimine hizmet edebilecek ilk teknoloji olacak gibi görünüyor.

6. LAZER SİLAHININ GELİŞİMİ

5.1. Lazerle Silah Geliştirme Fikri Nasıl Doğdu?

IEEE Spectrum'daki makalede bu fikri ortaya atan ilk kişinin fizikçi Gordon Gould olduğu belirtiliyor. Üstün Araştırma Projeleri Merkezi'ne 1959 yılında lazer silahı fikriyle gelen Gould'un, Pentagon'un gözlerini kamaştırdığı ifade ediliyor. Gould bugün, lazeri keşfeden üç isimden biri olarak biliniyor. Bunu bir silaha dönüştürme fikrini çizimlere döken Gould ilk olarak uzun, ince bir silindirin iki ucunda, karşılıklı iki ayna tasarlamıştı. Uzun araştırmaların sonunda lazerin bir ışığa dönüşerek, güçlü bir ışın oluşturabileceğini fark eden Gould, doktora çalışmalarını bırakarak bu keşfinin patentini almak üzere araştırmalara başlamıştı. Hatta 1958'in başında çalışmaya başladığı TRG firmasından da yardım almıştı.

Nükleer füze savunması, ABD Savunma Bakanlığının ajandasındaki öncelikli konular arasında yer alıyordu ve Bakanlık eliyle yepyeni bir araştırma dalı oluşturuldu. ARPA (Bugünkü DARPA'nın 1972'den önceki adı: *The Advanced Research Projects Agency*), Gould'un önerisine 1 milyon dolarlık kaynak sağladı. Bu meblağ bugünün parasıyla 8 milyon dolara denk. Ancak gençliğinde Komünist Parti ile ilişki kurmuş olması, Gould'un kendi projesi üzerinde çalışmasına engel oldu.

Elbette güçlü bir ışın yaratmak için iki aynadan fazlası gerekliydi. Aynaların arasına ışığı emecek materyal konmalı, enerjinin pompalanması için bir çözüm üretilmeliydi. İşlevsel ilk lazerin ana maddesi katı, sentetik bir yakuttu. Sentetik yakutun içindeki ışık emici krom atomları, el fenerinin parlak fotonları ile enerji sağlayabiliyordu.

Helyum ve neon dolu bir tüpten geçen elektrik boşalımının da ışık üretebildiği görüldü. Aynı zamanda, ayna gibi parlak yüzeye sahip galyum arsenitin de. Diğer yandan Pentagon'un istediği yüksek güç, bunların hiçbirleriyle elde edilemezdi. ARPA'nın "Project Seaside" adlı projesinin araştırmacıları birkaç santimetre kalınlığında ve katı halde madde kullanan lazerler, yani "katı hâl lazerleri" üretse de, bu teknikle elde edilen ışın da yetersizdi. Böylece ilk aşamalarda göz önünde tutulan, gaz ve yarı iletken ile lazer üretme yönteminden vazgeçildi.

1960'ların ortalarında, ABD ordusu lazer silahı idealinden tam da vazgeçmek üzereyken, Avco-Everett Araştırma Laboratuvarındaki araştırmacılar yepyeni bir yöntem keşfetti. Hidrokarbon, yani fosil yakıt yakan bilim insanları açığa çıkan sıcak gazı roket benzeri başlıklarla aynalara yönlendirerek onlarca kW gücünde kızılötesi lazer ışığı elde etmeyi başardı.

Akan gaz teknolojisi ABD'nin lazer silah araştırmalarını Soğuk Savaş boyunca sürdürebilmesini sağladı. Yepyeni yakıtlarla ulaşılan megavat seviyesi arttıkça, yörengeye lazer savaş istasyonları kurma hayalleri baş gösterdi. Başkan Ronald Reagan'ın Stratejik Savunma Girişimi ya da daha bilinen adıyla Yıldız Savaşları için milyarlarca dolar harcandı. Hedef, uzay merkezli lazerlerle Sovyetler'in kıtalararası balistik füzelerini vurmaktı.

Soğuk Savaş akabinde de çalışmalarını sürdüren ABD Hava Kuvvetleri, Boeing 747 ile kullanılabilir büyük bir füze savunma lazeri geliştirmek için milyarlarca dolar harcadı. Bu kez amaç Kuzey Kore gibi düşman kuvvetlerinin saldırılarına karşılık verebilmektir. 2010'da gücü megavatlarla ölçülen bir silah, test sırasında gerçekten de bir balistik füzeyi düşürdü. Bu bir ilk olsa da teknoloji, pratikte uygulanmak için hâlâ yetersizdi. Savunma Bakanlığı Sekreteri Robert Gates ise, "Üniforma giyenler arasında, programın işe yarayacağına inanan yok" açıklamasıyla çalışmaların sonunu getirdi.

Pentagon'un geliştirdiği, daha az güçlü kimyasal lazerlerin de kaderi aynıydı. 1996 yılında ABD ve İsrail, TRW şirketi (Şu an Northrop Grumman şirketinin bir kolu) tarafından geliştirilen 100 kW güce sahip, kimyasal yakıtlı gaz lazeri test etmek için bir programda bir araya geldi. "Taktiksel Yüksek Enerji Lazeri" 2000 ve 2001 yıllarında roket ve topçu mermilerini vurdu. Aynı dönemde, yani 2000 yılında USS Cole'a yapılan intihar saldırısı küçük botların dahi ne denli tehlikeli olabileceğini, onlara karşı bir tedbir alınması gerektiğini gösterdi.

TRW'nin geliştirdiği lazerin geniş çaplı iki sorunu vardı: Öncelikle, çok büyüktü. 18 tekerlekli dört treyler ve ışını yönlendirmek için ayrı bir parçadan oluştuğu için bu silahın pratikte kullanılması çok zordu. İkinci sorun, Pentagon'un lojistik uzmanlarını kaygılandıran özel kimyasal yakıt kullanımıydı. Bu tür özel yakıtların taşınması zorluydu ve en ufak bir kusur silahı tamamen etkisiz hale getirebilirdi. Ayrıca bu kimyasalların kendisi dahi bir silahtı. Uzmanlar, hidrojen florür kullanımına karşı çıktı. Bu kimyasal, silahı kullanan askerlerin kornea, ciğer ve ciltlerine ciddi zarar verebilirdi.

O sırada bir diğer lazer teknolojisi de hızla geliyordu. 1960'larda Rusya'daki Zhores Alferov ve ABD'deki

IEEE Onur Madalyası sahibi Herbert Kroemer yarı iletken cihazların performansını ciddi ölçüde artıran yapılar geliştirdi. Buna diyot lazer de dahildi. Işığı ve mevcut akışı kontrol etmeyi başaran iki bilim insanı, 2000 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştü.

1977'ye kadar süren yedi yıllık süreçte Bell Labs da, fiber optik iletişimde kullanmak için diyot lazerin kullanım ömrünü saniyelerden 100 yıla uzatmayı başarmıştı. Bu gelişmenin akabinde diğerlerinin de gücü ciddi ölçüde arttı. Öyle ki diyot lazerler artık verilen elektriğin yaklaşık olarak yarısını lazer ışığına çevirebiliyordu.

Diyot Lazer Verimi Yüzde 1'den Yüzde 20'ye Çıkardı

Diyot lazerler, silahlar için gerekli ve tek bir alana odaklanan ışınlar üretmiyordu. Ama yepyeni bir olasılığın kapılarını aralamıştı: Katı yapıda bir madde ile çalışan lazerlerde (yani katı hâl lazerlerinde), verilen enerjinin kaynağı olan fenerler, aslında değiştirilebilirdi. Işık emicilerin yerine geçen cam ya da kristal levhalarla çalışan bu lazerlerin fenere karşı üstünlüğü aşikârdı. Zira ışığı çok daha etkin bir şekilde üretiyor, en ufak dalga boyunu emebiliyorlardı. Yarı iletkenin yapısıyla oynanmasıyla yeni lazer ve onun dalga boyutu, onun kristal tarafından tamamen emilmesini, böylece ışığın lazer enerjisine çok daha etkin bir şekilde dönüştürülebilmesini sağlıyordu. Diyot lazer, katı hâl lazeri silahının ilk kez test edilmesini, verilen enerjinin yüzde 20'sinin ise lazer ışınına çevrilebilmesini sağlamıştı. Fenerle geliştirilen lazerlerde bu oranın yüzde 1 olduğunu düşünürsek, ciddi bir ilerleme katedilmişti.

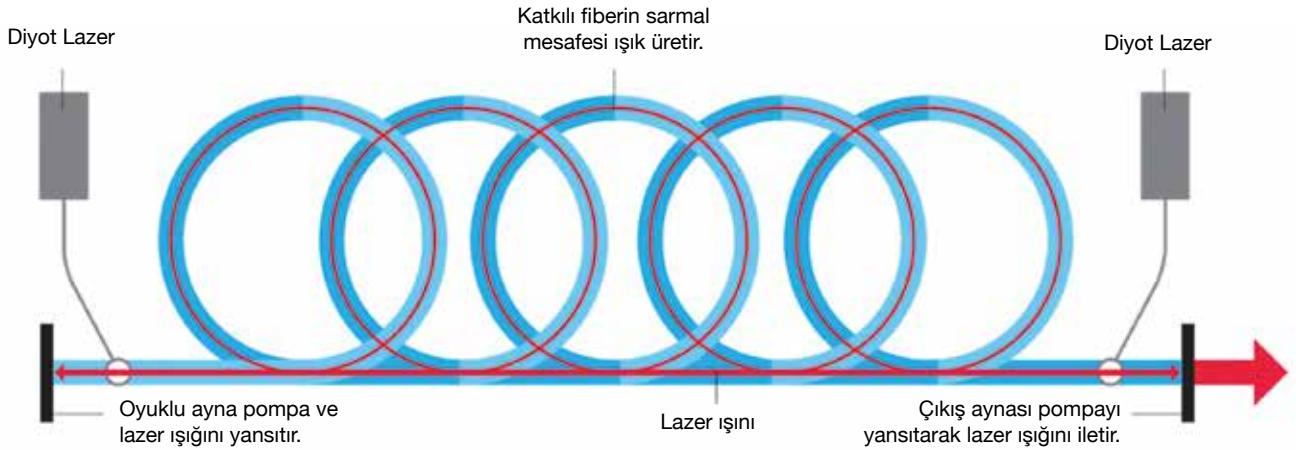
Yüksek verim, Pentagon'un tasarruf etmesinden daha önemliydi, zira verilmesine rağmen enerjiye çevrilemeyen ışık, atık ısıya dönüşüyor; bunun da lazerin verimini düşürdüğü için alınması gerekiyordu. Yani diyot lazer onlarca kW'lık gücü erişilebilir kılmişti. Yine de uzun menzilli füze savunması için, megavatlar gerekiyordu.

HEL-JTO, yani Yüksek Enerjili Lazer Birliği Teknoloji Ofisi, katı hâl lazer silahı geliştirmek için kuruldu. Cam ya da kristal levhaların kullanıldığı sistemler, Northrop Grumman firmasının dahil olmasıyla, Mart 2009'da zirveye ulaştı. Çalışmalar sonucunda tam beş dakika boyunca, sabit 105 kW gücünde bir ışın verilebildi. Bu lazer özel yakıt gerektirmiyor, zehirli gazlar açığa çıkarmıyordu. Ama 7 ton ağırlığında ve 10,8 metreküp büyüklüğündeydi. Yani, büyük bir çimento kamyonu kadardı.

HEL-JTO Fiber Lazeri Tanıttı

ABD ordusu elbette bir çimento kamyonundan daha küçük bir lazer istiyordu. Bu da yine bir HEL-JTO programı olan "Güçlü Elektrik Lazer Girişimi" tarafından başarıldı. Programda 100 kW gücündeki lazer, 1,2 metreküp büyüklükte üretilebildi. Üstelik kilogram başına 150 Watt (W) daha fazla enerji üretiliyor; bu da en az yüzde 30 verimlilik anlamına geliyordu. HEL-JTO'nun dört projesinden ikisi lazer makineleri için yepyeni bir teknolojiyi tanıttı: Fiber lazer.

Peki fiber lazerin o güne dek geliştirilmiş lazerlerden farkı neydi? Fiber lazerin, geliştirilmiş bir optik fiber olduğunu söylemek mümkün. Fiber lazer onu çevreleyen cam levhaya göre kırılma endeksi daha yüksek bir merkezi



Şekil 3: Fiber Lazer Silahı^[2] - Fiber lazer silahında diyot lazerden elde edilen enerji, iterbiyum atomlarınca tetiklenen ve bunun için özel olarak geliştirilmiş optik fibere pompalanır. Lazer bu fiber boyunca yolculuk yaparken, onun iki ucundaki aynalardan yansır.

çekirdeğe sahip. Optik lazerde de benzer bir yapı mevcut; bu düzenek, aktarıcıdan gönderilen optik sinyalleri merkezi çekirdeğe aktarmak için kullanılıyor. Bu merkezi çekirdek ise son derece saf ve kaybı neredeyse sıfıra indiren silikadan, yani silisyum dioksitten üretiliyor. Fiber lazerde ise bu merkezi çekirdek çoğunlukla iterbiyum olmak üzere, ışık emici atomlar içeriyor.

5.2. Fiber Lazer Nasıl Çalışıyor?

Fiber lazer, ışık emici merkezi çekirdek ile onu sarmalayan plaka arasında ekstra bir katmana daha sahip. Dış çekirdek ya da iç kabuk olarak adlandırılan bu katmanın kırılma endeksi de bu iki katmanın ortalamasıdır. Bu katman yüksek saflıkta camdan yapılır; zira görevi, ışığı dışarıdaki pompalayıcı lazerlerden, dış katmana iletmektir. Bunu yaparken ışık, pek çok ayrı optik fiberden geçer. Bu aşamada ışık, iç ve dış katmanlar arasında gidip gelir ve fiber boyunca yol alır. Sürekli olarak iterbiyumun bulunduğu iç çekirdekten geçer. Burada iterbiyum fotonları yakalar ve lazer ışığı oluşturur. Dış katmanın şekli değişkendir. D şeklinde, elips ve hatta üçgen olabilir. Bu şekiller çekirdeğe en fazla ışığın yönlendirilmesini sağlar. Fiber lazer silahında ise diyot lazerden elde edilen enerji, iterbiyum atomlarınca tetiklenen ve bunun için özel olarak geliştirilmiş optik fibere pompalanır. Lazer bu fiber boyunca yolculuk yaparken, onun iki ucundaki aynalardan yansır (Şekil 3).

Işık; iterbiyum atomları tarafından fiberoptik telekomünikasyondaki sinyaller gibi emilir ve merkezi çekirdekte kalır. Ancak fiber lazerde ışık sıradaki optik amplifikatöre ya da alıcıya doğru, tek yönde onlarca kilometre gitmez. Daha ziyade ışık; fiberin uçlarına konmuş reflektörler arasında ileri geri gider. Her geçişte daha fazla iterbiyum atomu ışık yükseltir ve lazer gücü açığa çıkarır. Fiber lazer, üç katmanlı optik fiberden oluşur. En dış katman, kırılma endeksi de en düşük olandır. Dış katmanın içinde, biraz daha yüksek kırılma endeksine sahip dış çekirdek bulunur. Aralarındaki bu fark, fiber boyunca yol alan ışığın pompalanmasını ve dış çekirdekten yansımalarını sınırlar. Işık iç çekirdekten

geçerken, iterbiyum atomlarının lazer ışığını emmesini tetikler. İç çekirdek, yüksek bir kırılma indeksine sahiptir (Şekil 4).

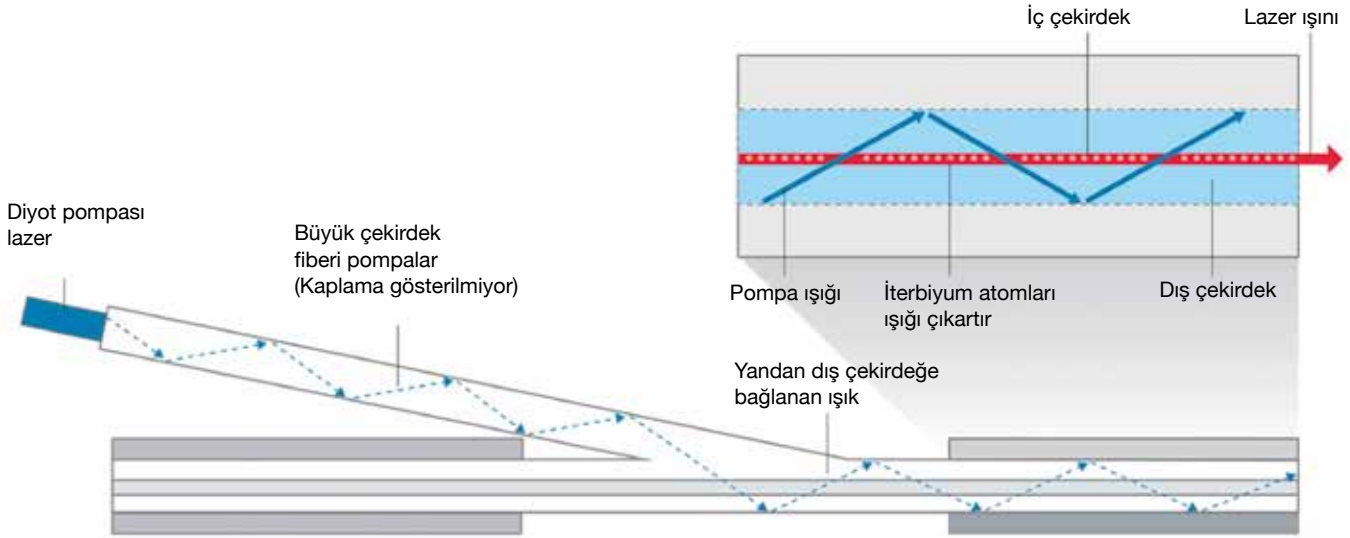
Fiber optikte iç ve dış katmanlar arasındaki sıkı bağ, iterbiyum atomları tarafından olabildiğince fazla ışığın emilmesini sağlar. Bu yüzden bu teknoloji verimlilik açısından oldukça ileride. 2016 yılında IPG Photonics, elektrik gücünün yarısından biraz fazlasını ışığa dönüştürebildiğini; bunun da kristal, cam gibi katı haldeki malzemelerin kullanıldığı lazerlerin veriminin çok üzerinde olduğunu belirtmişti.

Uzun, ince fiber çekirdeğinde üretilen ışık ayrıca uzun mesafelerde dahi tek noktaya odaklanabilen bir ışın oluşturabiliyor. Bu da birkaç kilometre ötedeki hedefleri yok etmek için tam da ihtiyaç duyulan şey. 125 ile 400 mikrometre aralığında ince bir çapa sahip olduğu için fiber lazerlerin yüzey-hacim oranı da yüksek. Bu da fiber lazerin ısıyı daha kısa ve kalın lazerlere göre daha hızlı yaymasını sağlıyor.

İlk Fiber Lazeri Üreten Şirket Bugün Pazarın Üçte Birine Hakim

Fiber lazerler ufak adımlarla, daha çok 1990'larda uzun mesafeli telekomünikasyon için geliştirilen amplifikatörlerin bir alt dalı olarak ilerlemişti. Onları odak noktası yapan ise Oxford merkezli kurulan IPG Photonics olmuştu. 1995'te 1-W fiber lazeri üreten şirket, bu teknolojiye 2012'ye dek her üç yılda bir yeni bir boyut kazandırmıştı. Lazerleriyle birlikte büyüyen şirketin 2017 yılı satış hacmi 1,4 milyar dolara ulaştı. Bu da o yıl endüstriyel lazerlerin sahip olduğu tüm pazar hacminin yaklaşık üçte birine denk geliyor.

Endüstriyel fiber lazerler son derece güçlü olabilir. IPG kısa zaman önce Japonya'daki NADEX Laser R&D şirketine, 30 santimetre kalınlığa kadar metal parçalara kaynak yapabilen 100 fiber lazer sattı. Ama lazerin böyle güçlü olması için ışının çok uzakta dahi tek noktaya odaklanabilmesi özelliğinden feragat edilmesi gerekiyor. Ya da, hedefin sadece birkaç santimetre mesafede olması şart. Tekli fiber lazerler en yüksek güçteyken ışını



Şekil 4: Fiber Lazerlerin İçerisi^[2] - Fiber lazer, üç katmanlı optik fiberden oluşur. En dış katman, kırılma endeksi de en düşük olanıdır. Dış katmanın içinde, biraz daha yüksek kırılma endeksine sahip dış çekirdek bulunur. Aralarındaki bu fark, fiber boyunca yol alan ışığın pompalanmasını ve dış çekirdekten yansımalarını sınırlar. Işık iç çekirdekten geçerken, İterbiyum atomlarının lazer ışığını emmesini tetikler. İç çekirdek, yüksek bir kırılma indeksine sahiptir.

yüzlerce metre ötedeki hedefe dahi yeterince iyi odaklayabiliyor, ancak bu durumda gücü 10 kW oluyor. Yine de bu, savaş meydanında bırakılan, patlamamış savaş gereçleri gibi sabit hedefler için yeterli.

Yeterince Güçlü Tek Bir Işın İçin Umud Vadeden İki Yaklaşım

10 kW'lık güce sahip bir lazerin, bomba taşıyan sürat motorunu durduramayacağı, makalede açıkça belirtiliyor. Ordunun USS Ponce üzerinde denediği lazer, IPG'nin ürettiği endüstriyel fiber lazerlerden yarım düzine içeriyordu. Her biri 5,5 kW gücünde olan bu lazerler aynı teleskoptan atış yaparak 30 kW'lık bir ışın oluşturabiliyor. Ama ışığı daha endüstriyel lazerlerle, daha büyük bir teleskoptan geçirmek; 100 kW gücünde, hızlı, keskin ve uzaktaki hedefleri yok edebilecek bir ışın yaratmıyor. Pentagon'un bunun için 100 kW'lık ayrı bir sisteme ihtiyacı var. Bu lazer hedefin hareketini takip etmeli, motor ya da patlayıcı yük gibi zayıf noktasına yoğunlaşmalı ve onu yok etmeli.

Ne var ki Spectrum'daki makalede^[1], bunun mevcut yaklaşımla mümkün olmadığını altı çiziliyor. 100 kW'lık bir lazerin harika olsa da geliştirmesinin zor olduğunu ifade eden Lockheed yetkilisi Afzal, "Tek fiber lazerle yüksek güce ulaşmak için yepyeni bir teknoloji gerekiyor. Mevcut sistemde farklı fiber lazerlerden gelen pek çok ışın, kontrollü bir şekilde bir araya getiriliyor" diyor. Yine de makalede, tek lazerle istenen gücün elde edilmesi için umut vadeden iki yaklaşım olduğu belirtiliyor.

Bu yaklaşımlardan ilki, aynı fiber lazerlerden çıkan çok sayıda ışık dalgalarının fazlarını eşleştirerek hepsinin tek ve çok güçlü bir ışın yaratması fikri. Her fiber lazerin ışık dalgaları, uyumludur, yani emilen dalgalar kusursuz bir şekilde bir araya gelebilir. Prensip, çok sayıda fiber

lazerden çıkan ışınları uyumlu bir şekilde bir araya getirmek, güçlü tek bir ışın yaratabilir. Bu ışın da kilometrelerce ötedeki hedefe kilitlenebilir. Faz dizi antenler bu yöntemle uyum içinde bir araya gelebiliyor ama bu ışıkla daha zor. Çünkü ışık dalga boyları, radarla karşılaştırılırsa yaklaşık 1 mikrometre daha kısa. Bu da dalgalarının birbirlerini kesmeden, birbirlerini destekleyecek şekilde toplanmasını son derece zor kılıyor.

İkinci yaklaşımda ise yine çok sayıda fiber lazerden gelen ışınları birleştirmek hedefleniyor. Ancak bu kez bu ışınların birbirini kesmemesi için fiber lazerlerin her birine, ışını belirli bir spektral yörüngede tutacak optikler ekleniyor. Böylece pek çok ışın tek ışın haline geldiğinde, çeşitli dalga boylarına sahip olsalar da, birbirlerini kesmeyecekler. Buna "Spektral Işın Birleşimi" adı veriliyor.

Bu teknolojiyi uygulamayı amaçlayan Lockheed, farklı fiber lazerlerden farklı açılardan gelen ve çeşitli dalga boyutlarına sahip ışınları kırabilecek özel bir optik geliştirdi. Bu optik basitçe, ışığı renk tayfına ayırabilen prizmalarla aynı yöntemi kullanıyordu. 2014'te şirket 30 kW'lık güçteki lazeri, fizik ve basit mühendislik açılarından test etti. Sistem, her biri 300 vat gücündeki farklı dalga boyutlarındaki 96 ışını bir araya getirerek toplamda 30 kW'lık tek bir ışın yaratabildi. Lazerlerin nispeten düşük gücünde çalıştırıldığında, yüksek kalitede ışın üretebildiğini belirten Afzal, bu sayede ortaya çıkan ışınları, daha güçlü ve aynı kalitede tek bir ışın elde etmek için birleştirmenin de daha kolay olduğunu ifade ediyor.

Lockheed bu teknolojiyi 60 kW güce eriştirerek ABD ordusuna sundu. Teknoloji geçtiğimiz yıl, savaş meydanına çıkmaya hazır bir araç üzerinde denendi. Ordunun yüksek enerjili lazer teknolojisi geliştirme bölümü yetkililerinden Adam Aberle'nin demecine göre bu lazer, en

yakın rakibine yüzde 40'lık fark atarak dünyanın en verimli katı hâl lazeri oldu. Bu verimlilik de ısı yönetimi sorununu büyük ölçüde ortadan kaldırıyor. Öyle ki lazer sistemi, 100 kW'a erişen güçteki ışınlarıyla 150 kW'tan az atık ısı açığa çıkarıyor. Northrop Grumman'ın 2009'daki fiber olmayan lazerinde aynı güçteki ışın için açığa çıkan atık ısı miktarı 400 kW idi.

1 Mart 2018 tarihinde Lockheed, 2020 yılına dek ABD ordusuna en az bu özelliklere sahip, HELIOS isminde iki lazer sunacağını açıkladı. Ordu bunlardan birini savaş gemisine yerleştirerek geminin savaş yönetim sistemine entegre edecek. Diğerini ise karada, New Mexico'daki ordu test bölgesi White Sands Missile Range'de test edecek.

Sıra, Lazerin Nasıl Kullanılacağında

Pek çok ışının birleşiminden bir araya gelen güçlü bir fiber lazer geliştirme fikrinin, bir yapbozun son parçası olduğunu dile getiren Afzal, diğer yandan, lazer silah geliştirme arayışının bitiş çizgisine çok uzakta olduğunu da ekliyor. Yüksek enerjili lazer teknolojisinin artık uygulanabilir görüldüğünü aktaran Afzal, şimdi ordunun bunları savaş meydanında nasıl ve neye karşı değerlendirebileceğini çözmesi gerektiğini söyledi. Bu görevlerin sonunda işin tasarım, yapım ve test aşamalarına geleceğini açıklayan Afzal, "Daha sonra da bu güçlü lazer teknolojisinin taşınabilir bir silah sistemine dönüştürülmesi için sadeleştirilmesi gerekecek. Böylece kara araçları, gemiler ve uçaklar bu lazeri taşıyabilecek. Sensör ve bilgisayar sistemleri hedefleri belirleyip izini sürebilecek. Güç yönetimi sistemleri lazere elektriği taşıyacak, soğutucu sistemler lazerin fazla ısınmasını engelleyecek. Optikler ise lazerin hareket eden hedeflere dahi odaklanabilmesini, onları yok edebilmesini sağlayacak" diyor^[1].

Donanım bu işin tek zorlu yanı değil. Ordunun araştırma ve geliştirme grupları güçlü lazerlerini deniz kuvvetleri gibi daha operasyonel gruplara yönlendirme eğiliminde olacak. Böylece bu yeni teknoloji muharebe planlarına entegre edilecek ve sahada uygulanacak prosedürler belirlenebilecek. Bu operasyonel gruplar ayrıca lazerin potansiyel hedeflere karşı kullanımının test edilmesinden ve lazeri sahada kullanma strateji ve taktiklerinin geliştirilmesinden de sorumlu.

Kısacası, havaya birkaç roket fırlatıp test yapmak, lazer silahların orduda ciddi bir yere sahip olmasını sağlayamayacak. Lazer silahların savaşta gerçekten kullanılabilmesinin anlaşılması dahi 60 yıl sürdü. Ama Spectrum'daki makalede Pentagon'un piriçten silah ve roketlerden de sıkılmışa benzediği, artık yeni bir dönemin geldiğine inanıldığının altı çiziliyor. Yine de çok geniş kapsamlı bir destek olmadan, mevcut sistemlerden çok farklı bu silah için yapılması gereken zor ve pahalı çalışmalar için yeterli destek sağlanamayabilir. Lazer silahları kullanarak düşman kuvvetlerine fark atabilmenin tek yolu da gerekli desteği sağlamak.

Çin'in Taktiksel 8 Lazer Silahı

Lazer silah için çalışmaları destekleyen Çin ve Rus hükümetleri de bunun farkında. 2018'in Mayıs ayında *Business Insider*'da yayımlanan Liu Zhen imzalı

makalede, Pekin ile Pentagon arasında diplomatik bir krize sebep olan olaya yer veriliyor. Pentagon'un iddialarına göre ABD ordusunun iki pilotu, Djibouti'deki ABD üssüne çıkarken, Çin üssünden yollanan ve pilotların gözlerini hedef alan lazerlerle yaralandı. Pekin iddiaları reddetse de Çin son birkaç yılda taktik lazer silah geliştirmeye hızla devam ediyor. Aynı makalede Çin'in lazer içerikli sekiz taktiksel silahına yer veriliyor. Bunlar; Low-air Guard-I, The Silent Hunter, Guorong-I anti-drone sistemi, Light Shield kapsamlı optoelektronik defans sistemi ve dört tekil lazer silahı. Tekil silahların isimleri ise BBW-905, WJG-2002, PY132A ve PY131A. En dikkat çekici silah, Low-air Guard-I. Yere ya da bir araca sabitlenen bu lazer silah sistemi 10 kW'lık güce sahip ve 12 metre karelik bir alanı kapsayabiliyor. 30'dan fazla hava aracını vurmak için kullanılan sistemin kurbanları arasında sabit kanatlı hava taşıtları, multikopterler ve helikopterler bulunuyor. Testlerde yüzde 100 başarı oranını yakalayan sistem iki kilometre çapında yer alan ve 500 metreden alçak uçuş yapan insansız hava araçlarını yaklaşık beş saniyede yok edebiliyor. The Silent Hunter ise 4 kilometrelik kapsama alanına sahip. Geliştiricisi China Poly Technologies'e göre The Silent Hunter 5 milimetrelük çelik plakaları 1 kilometre öteden, 2 milimetrelük 5 katlı çelik plakaları ise 800 metre öteden kesebiliyor^[3].

Çin'in lazer sisteminin, hedefi yaklaşık 5 saniyede yok edebilmesi etkileyici görünebilir. Diğer yandan Rusya, 2018'in Mart ayında tanıttığı yeni lazer silahıyla düşman hedefin işini bir saniyeden kısa sürede bitirebiliyor. *Newsweek*'teki Tom O'Connor imzalı makalede, Putin'in 1 Mart konuşmasına gönderme yapılıyor. Putin bu konuşmada yeni ve gelişmiş silahları tanıtmış, kara aracına monte edilen bir lazer sisteminin de yer aldığı kısa bir video göstermişti^[4]. Rusya, bu silah konusunda ayrıntı vermekten kaçınıyor. Ancak bu üç ülkenin eşzamanlı olarak, çok güçlü lazer silahlar için ciddi adımlarla ilerlediği kesin.

7. TÜRKİYE'DE FİBER LAZER ÇALIŞMALARI

Türk savunma sanayii de geleceğin silahları arasında gösterilen lazer sistemlerini geliştirmeye yönelik çalışmalarını sürdürüyor.

Türkiye, ilk etapta alçak irtifa tehditleri için kendi 'Lazer Savunma Sistemi'ni üretti. Üretilen sistem, özellikle roket, füze, savaş uçağı gibi havadan gelebilecek tehditlere karşı bir numaralı savunma sağlayacak. Aselsan tarafından üretilen Lazer Savunma Sistemi 500 metre menzile kadar, mini ve mikro İHA (insansız hava aracı) / İDA (insansız deniz aracı) tehditlerine, meskun mahalde terör unsurları tarafından kullanılan kamufyajlara ve 200 metre ve üzeri mesafede EYP (el yapımı patlayıcı) ve yol kenarı şüpheli paketlere karşı geliştirildi. Lazer Savunma Sistemi, enerji santralleri, hava alanları, sınır karakolları, karargah binaları ve konvoy geçiş güzergahlarının güvenliğini

sağlamakta kullanılabilir. Sistem, yüksek lazer çıkış gücüne sahip fiber lazer kaynağı, odaklayıcı atış kontrolcüsü, kızılötesi/gündüz kamera, lazer mesafe ölçüm cihazı, yönlendirme birimi, ilgili güç/kontrol elektronikleri, yazılımlar, soğutma ve güç üretme/depolama alt bileşenlerinden oluşuyor^[5].

Savunma Sanayii Başkanlığı koordinasyonunda sürdürülen Yüksek Güçlü Lazer Sistemi Geliştirilmesi (IŞIN) Projesi kapsamında ise, kara, deniz ve havada tehdit unsuru oluşturan sabit ve/veya hareketli hedeflerin algılanmasını, takibini ve imhasını sağlayacak, isabet oranı yüksek, tek atım maliyeti düşük, yüksek güçlü bir lazer sisteminin milli imkânlarla geliştirilmesi amaçlanıyor^[6].

TÜBİTAK Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi (BİLGEM) tarafından yürütülen IŞIN projesi kapsamında geliştirilen Işın Lazer Sistemi ve Araca Monteli Fiber Lazer Sistemi ile 2018'in Temmuz ayında yapılan atışlarda çelik plakalar başarıyla tahrip edildi. Savunma Sanayii Başkanı İsmail Demir'in de katıldığı bu atış testlerinde, entegrasyon çalışması yapılan 20 kW'lık (4x5 kW) lazer güç kaynağıyla belirlenen hedeflerin imhası gerçekleştirildi. Testte, 22 milimetre kalınlığındaki gemi zırhı çeliği 500 metre mesafeden lazer silahıyla tahrip edildi. Proje sonunda, yüksek güçlü lazer sisteminin milli olarak geliştirilmesi amaçlanıyor. Geliştirilen sistemle 20 kW'lık (4x5 kW) lazer güç kaynağıyla bin 500 metre mesafede saniyede 20 metre hızla ilerleyen havan temsili (3 milimetre cidar kalınlığına sahip çelik) bir unsurun 10 saniye içinde etkisiz hale getirilmesi hedefleniyor.

8. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Gelişen teknolojilerin savunma sanayiinde kullanılmasıyla güvenlik ve savunma alanlarında öne geçme yarışının unsurlarından biri olan fiber lazer teknolojisi, yıllar içinde ciddi aşama kaydetmekle beraber günümüzde halen geliştirilmeye muhtaç teknolojiler arasındadır. Ancak bu alanda yaşanan ilerlemelerin hızı da hatırı sayılır boyuttadır. Geleceğin silahları arasında gösterilen bu teknoloji özellikle ABD, Çin, Rusya gibi gelişmiş ülkelerin gündeminde önemli yer tutuyor. Türkiye de son yıllarda savunma sanayiinde yakaladığı ivmeyi bu alanda da sürdürüyor ve fiber lazer çalışmalarında boy gösteriyor. Bu çalışmaların hızlandırılıp çeşitlendirilmesi, geleceğin teknoloji odaklı muharabe anlayışında geride kalmamanın anahtarlarından biri olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- [1] Jeff Hecht, «Fiber Lasers Mean Ray Guns Are Coming, » IEEE Spectrum, 27 Mart 2018. <https://spectrum.ieee.org/aerospace/military/fiber-lasers-mean-ray-guns-are-coming>
- [2] İllüstrasyonlar: MCKIBILLO; IEEE Spectrum
- [3] Liu Zhen; «8 tactical laser weapons China has recently developed,» *Business Insider*, 12 Mart 2018. <http://www.businessinsider.com/china-laser-weapons-2018-5>
- [4] Tom O'Connor, «Russia's Military Has Laser Weapons That Can Take Out Enemies In Less Than A Second,» 4 Mayıs 2018. <http://www.newsweek.com/russia-military-laser-weapons-take-out-enemies-less-second-841091>
- [5] Türk yapımı 'Lazer Silahı'; *Yeni Şafak*; <https://www.yenisafak.com/ekonomi/turk-yapimi-lazer-silahi-2905490>
- [6] Milli lazer silahı 500 metreden gemi zırhı çeliği böyle deldi; *Hürriyet*; <http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/milli-lazer-silahi-500-metreden-gemi-zirhi-celigi-boyle-deldi-40888523>



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

