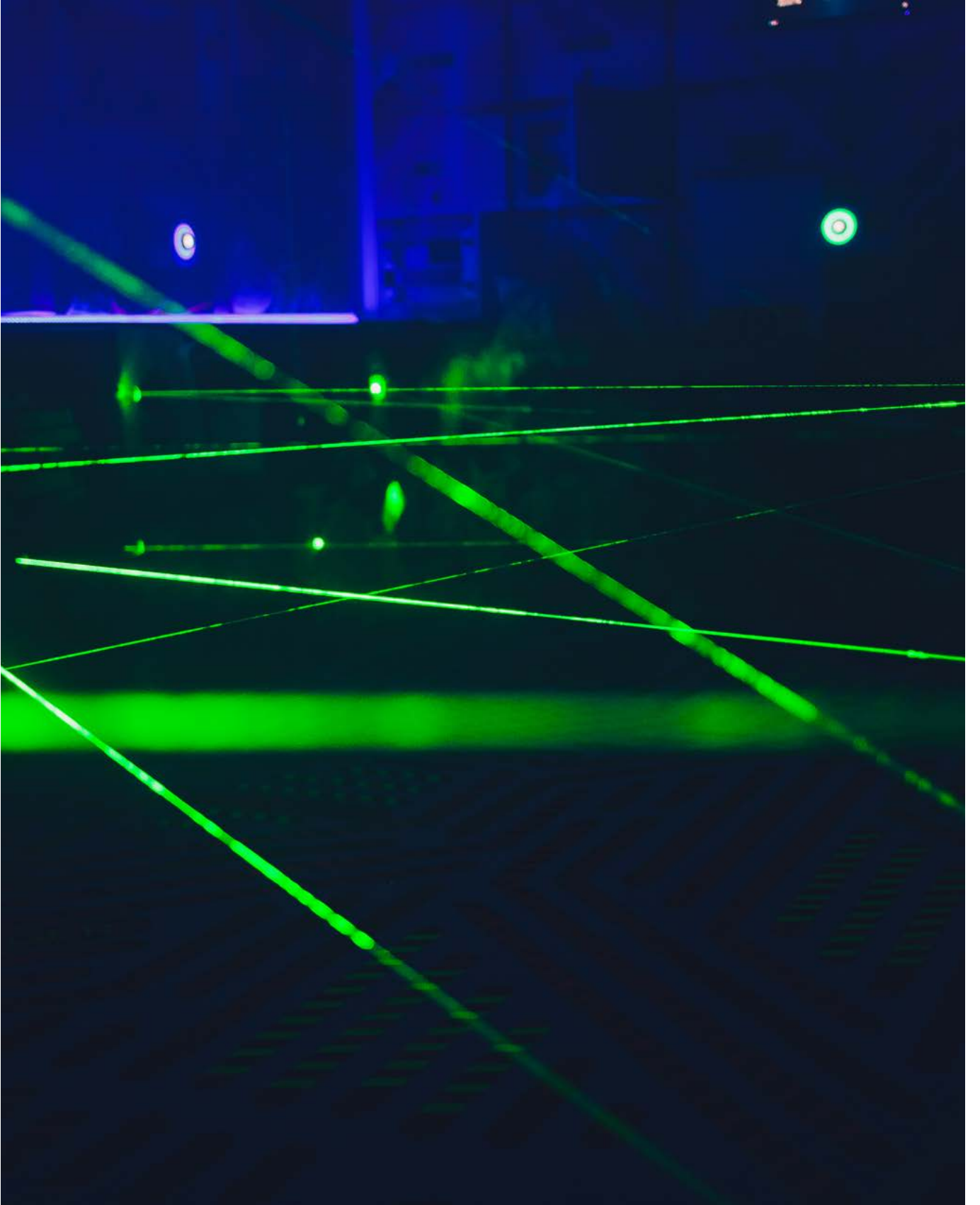




YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ SİLAHLARI: TEKNOLOJİLER, UYGULAMALAR VE BEKLENTİLER



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

21'inci yüzyıl teknolojileri her alanda olduğu gibi savunma ve yurt güvenliği alanında da köklü dönüşümlere yol açmaktadır. Teknolojik ilerlemeler sayesinde benzerlerine ancak bilimkurgu eserlerinde rastlanabilecek silahlar gerçek olmaya başlamıştır. Işık hızında hareket eden, görünmez ancak son derece etkili sonuçlar doğuran bu yeni nesil silah teknolojisine “Yönlendirilmiş Enerji Silahları-YES (Directed Energy Weapons)” denmektedir.

Ortak özelliği elektromanyetik spektrumu kullanmak olan bu yeni silah teknolojisi, henüz tam işlerlik kazanmış değildir ve bazı sorunların aşılması gerekmektedir. Ancak bu silahların operasyonel potansiyeli ülkeleri, savunma konseptlerini gözden geçirmeye zorlayacak niteliktedir. Bu nedenle YES sistemleri ve bunların gelişimindeki dinamikleri anlamak büyük önem kazanmıştır. Bu yazıda YES sistemlerinin geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalara göz atılarak, bu teknolojilerin özellikleri ve ülkelerin bu teknolojileri geliştirmek için izlediği stratejiler aktarılacaktır.

2. YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ SİLAHLARININ ÖZELLİKLERİ

YES sistemlerine ilişkin analizlerde, bu silahların kabiliyetleri açısından harp tarihinde yeni bir silah devrimine yol açabileceği sıklıkla vurgulanmaktadır. Buna göre YES; barut, nükleer enerji ve bilişim sistemlerinin

ardından silah teknolojilerinde dördüncü devrime neden olabilecektir. YES, nükleer silahlar rakipsizliğini korumakla birlikte kimyasal /kinetik güçlü silahlara ciddi bir alternatif olarak gelişmektedir. Zira kimyasal/kinetik silah sistemleri günümüzün karmaşık savunma ihtiyaçlarını karşılamakta etkisiz kaldığı gibi giderek daha pahalı hale gelmektedir^[1].

Elektromanyetik spektrumun ışık ve ses enerjisini kullanan YES sistemleri, muharebe alanlarında kimyasal güçlü silahların yerini almaya başlamıştır. Hedeflerini, ışık hızında nokta atışlarla vurabilen bu silahlar, güvenlik ve savunmaya yönelik tehditlerin arttığı ve karmaşıklaştığı çağımızda pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Amaç dışı hasar ve kayıpları en aza indiren, hedeflere vereceği zararın seviyesi ayarlanabilen bu silahlar, askeri amaçlar dışında anayurt güvenliği alanında da kullanılmaktadır.

Geliştirilen veya yakın gelecekte kullanılmaya başlanacak YES sistemlerinin kullanım alanları şunlardır:

Anayurt Güvenliği Alanında:

- Kalabalıkların kontrolü,
- Hassas bölge ve alanların (Havaalanları, taşımacılık altyapısı, enerji tesisleri vb.) korunması,
- Suç ve terör eylemlerinin önlenmesi,
- Bomba ve mayın gibi tehditlerin bertaraf edilmesi gibi amaçlarla kullanılabilir.

Askeri Alanda:

- Tehdit oluşturan balistik füzeler, roketler, İHA'lar ve diğer otonom silahların hareket halindeyken yok edilmesi veya etkisiz hale getirilmesi,
- Hava, deniz ve kara savaş platformlarının korunması,
- Düşmanın elektronik harp kabiliyetlerinin azaltılması,
- Düşman birlikleri veya terörist unsurların geçici veya kalıcı olarak etkisiz hale getirilmesi gibi amaçlarla kullanılma potansiyeli bulunmaktadır.

YES sistemlerinin saldırı amaçlı kullanılma potansiyeli olmakla birlikte halen yürütülen silah geliştirme programlarında çoğunlukla savunma amaçlı sistemler üzerinde durulmaktadır.

2.1 Yönlendirilmiş Enerjinin Tanımları

Yönlendirilmiş enerji silahlarını cazip kılan özelliklerinin başında bunların elektromanyetik spektrumda çalışması gelmektedir. YES'in vurucu gücünün kaynağı ışık ve sestir. Isı ve sesin enerji aktarabileceğini ise yaklaşık 120 yıl önce iki önemli bilim insanının çalışmaları ortaya koymuştur.

Yönlendirilmiş enerjiye (YE) ilişkin bilimsel araştırmalar 20'nci yüzyıl başında Alman fizikçiler Max Planck ve Albert Einstein'ın kuantum mekaniği üzerine kuramsal çalışmalarına dayanmaktadır. 1918'de Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülen Planck, 1900'de yayınlanan bir makalesinde enerji ile radyasyon frekansı arasındaki bağlantıyı ortaya çıkarmış, enerjinin "kuanta" adını verdiği münferit parçacıklar halinde yayılabileceğini veya emilebileceğini ortaya çıkarmıştır. Einstein ise 1905 yılında yayınlanan makalesinde ışığın "foton" adını verdiği parçacıklar halinde enerji taşıyabileceğini ortaya koymuştur. Einstein, 1917 yılına gelindiğinde "uyarılmış salım" adını verdiği yöntemle elektrotların belli bir dalga boyunda ışık yaymasının sağlanabileceğini öne sürmüştür^[2]. Einstein ayrıca adıyla özdeşleşen $E=MC^2$ denklemiyle enerjinin kütleyle, kütlelerin ise enerjiye dönüşebileceğini ortaya koymuş; böylece elektromanyetik enerjinin uygulanabilir enerji silahına dönüştürülebileceğinin de kavramsal çerçevesini çizmiştir^[3].

Elektromanyetik enerji evrenin her köşesinde bulunmaktadır ve nükleer enerjiyle karşılaştırıldığında çok daha temizdir. Elektromanyetik enerji ayrıca şekillendirilebilir ve yönlendirilebilir. YES sistemleri genel elektromanyetik enerji dalgalarını ve atom altı parçacıklarını hedeflere ışık hızında saldırmak için kullanmaktadır. Nitekim literatürde sıklıkla atıfta bulunulan ABD Savunma Bakanlığının yönlendirilmiş enerjiye ilişkin tanımları bu konudaki kuramsal ve uygulamalı çalışmaları özetler niteliktedir:

- **Yönlendirilmiş Enerji:** Dar kapsamıyla, yoğunlaştırılmış elektromanyetik enerji veya atom ya da atom parçacıklarından ışın üretilmesi teknolojisidir^[4].
- **Yönlendirilmiş Enerji Silahları:** Çok yüksek seviyede enerji üretebilen ve bu enerjiyi bir yönlendirici

ile hedefe göndererek, düşmanın personel ve teçhizatına zarar vermek suretiyle performansını düşüren veya imha/tahrip eden silahlardır^[4].

- **Yönlendirilmiş Enerji Harbi:** Düşman ekipmanları, tesisleri veya personeline doğrudan zarar veren veya onları yok eden ya da elektromanyetik spektrumun düşmanca kullanılıp dost unsurlara hasar verilmesi, bu unsurların yok edilmesi veya kesintiye uğratılmasını engellemek amacıyla YE silahları ve cihazlarının kullanılması veya karşı tedbirlerin alınması eylemleridir^[5].

2.2 Yönlendirilmiş Enerji Sistemlerinin Genel Özellikleri ve Operasyonel Avantajları

Yönlendirilmiş enerji konusundaki kuramsal çalışmalar kısa sürede savunma alanının da ilgisini çekmiş, ABD'li yazar H.G. Wells'in *Dünyalar Savaşı* romanında Marslıların kullandığı "Isı Işını" veya "Ölüm Işını"nın gerçek hayata geçirilip geçirilemeyeceği yönünde çalışmalar yapılması daha 1930'lu yıllarda teşvik edilmiştir^[6]. Ancak ilk lazerin geliştirilmesi için 30 yıl daha beklenmesi gerekmiştir. İlk lazerin 1960'ta kamuoyuna tanıtılmasının ardından da başta ABD ve Rusya olmak üzere çok sayıda ülke, lazerli silahların geliştirilmesi için büyük bütçeli programları uygulamaya almışlardır.

Bir diğer YES sistemi olan Yüksek Enerjili Mikroalga Silahı geliştirmenin kuramsal çalışmaları lazerden de eski olmasına rağmen ilk silahların geliştirilmesi için 1980'li yılların beklenmesi gerekmiştir.

Soğuk Savaş döneminde ABD ile Sovyetler Birliği parçacık ışını silahları geliştirme arayışına girmişler ancak partiküllerin atmosferde güç kaybetmesinin engellenmesi için yüksek güçlü elektrik santrallerine ihtiyaç olması pratik görülmediğinden çalışmalar rafa kaldırılmıştır^[7].

Aradan geçen yaklaşık 60 yıla rağmen, lazer ve diğer YES sistemlerinin geliştirilmesi yönünde tatmin edici gelişme sağlanamamakla birlikte bu teknolojilerin geliştirilmesi yönünde çabalar aynı yoğunlukla sürmektedir. Bunda YES sistemlerinin, balistik ve diğer kinetik silah sistemlerine göre bariz operasyonel üstünlük sağlayabilecek kabiliyetlere sahip olması gelmektedir. Aşağıda YES sistemlerinin bu üstünlükleri sıralanmıştır^[3]:

- **Işık Hızında Angajman:** Elektromanyetik enerji ışık hızında yol almaktadır. Dolayısıyla YE silahları da hedeflerine ışık hızına yakın süratte ulaşmaktadır. En hızlı hipersonik füze yaklaşık 7 Mach (8.346 km/s) hızla yol alabilmektedir. Işık hızı ise saatte 300 bin kilometredir (Yaklaşım 872 bin 705 Mach).
- **Tekrarlı ve Sınırsız Atış Kabiliyeti:** YES sistemlerinde mühimmat sınırsızdır ve elektrik gibi kaynakların sürekliliği sağlandığı takdirde atışları sınırsız şekilde tekrarlanabilir.
- **Düşük Maliyet:** Geliştirme maliyetleri yüksek olmakla birlikte YES, angajman maliyetlerini (atış, tamir ve bakım) en düşük seviyeye çekmektedir. Örneğin bir Patriot PAC-3 roketini fırlatma maliyeti 3,3 milyon

dolarken, bir lazer silahın her bir atışının maliyeti 1 dolar civarındadır.

- **Penetrasyon Kabiliyeti ve Uzun Menzil:** Bazı YE silahları, yüzlerce metre ve hatta kilometreler öteden duvarlardan geçebilen enerji yayabilmektedir.
- **İsabet Hassasiyeti:** YES çok uzak mesafelerde bile son derece hassastır. Nokta atışı hassasiyetine sahiptirler. Hedefin tespitiyle atış arasındaki süre düşüktür. Bu da manevra yapabilen hedeflerin takibini kolaylaştırmaktadır. YES, hedef dışında kişi veya nesnelere istenmeyen zarar vermez.
- **Nişan Alma ve İzleme Kolaylığı:** YE silahlarıyla balistik yörünge hesaplaması yapmaya gerek yoktur. Işını hedefe yönlendirmek yeterlidir.
- **Çoklu Hedef Angajmanı:** YE silahlarıyla çok sayıda hedefe aynı anda atış yapmak mümkündür.
- **Reostatiklik (Ayarlanabilirlik/Ölçeklenebilirlik):** YES operatörleri enerji miktarını ve dalga boyunu (frekansını) ayarlayabilirler. Böylece silahların kullanımının etkilerini değiştirebilirler. Örneğin silahın ölümcül veya ölümcül olmayacak miktarda enerji salması sağlanabilir. Silah yok etmeye veya kesinti yaratmaya da uygun hale getirilebilir.
- **Görünmezlik:** YES sessizdir ve çıplak gözle fark edilemezler.

Bu avantajlarının yanı sıra YES sistemleri, elektromanyetik spektrumu kullandıkları için aynı zamanda sensör olarak kullanılabilirler. Dolayısıyla algılama ile ateşleme arasındaki süre de kısalabilmektedir^[8].

3. YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ SİLAHLARI TEKNOLOJİLERİ

YES çalışmaları teknolojik açıdan bugüne kadar dört farklı türde silah sisteminin gelişmesine yol açmıştır. Bunların başında lazerler ve mikrodalga silahları gelmektedir. Örnekleri az olmakla birlikte parçacık ışını silahları ve sonik silahlar da geliştirilmiştir.

3.1 Lazerler

İngilizce "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" (Uyarılmış Işımanın Yayımı İle Işığın Güçlendirilmesi) ifadesinin kısaltması olan lazer, yüksek enerji seviyesine ulaşması için uyarılmış bir atom veya moleküldür. Sözkonusu uyarılma işlemi kimyasal reaksiyon, elektrik akımı veya yoğun ışık yardımıyla gerçekleştirilmekte ve genellikle kullanılan lazer ortamına (Lasing Medium) ve yonteme göre anılmaktadır.

İlk lazer ışını 1960 yılında ABD'nin California eyaletindeki Hughes Araştırma Laboratuvarı bilim insanları tarafından geliştirilmiştir^[2]. İlk lazerler 1 KW ve altında güç üretebilmişlerdir. Yüksek enerjili lazer sınıfında değerlendirilmek için literatürde bir güç eşiği bulunmaktadır. Geliştirilen yüksek enerjili lazer silahları genellikle 10-30

KW aralığındadır. Yüksek enerjili lazer sınıfına giren silahların asgari 1 KW güce sahip olduğu belirtilmektedir^[9].

Lazer ışınlarının silah olarak kullanılma potansiyelinin araştırılması ABD'de başlamış, ABD Savunma Bakanlığına bağlı İleri Savunma Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA) 1960 yılında 100 KW'lık bir lazer geliştirmiştir. Yine ABD'de 1975'te geliştirilen NACL sistemi (Navy-ARPA Chemical Laser) 250 KW güç üretebilmiştir^[10]. Ancak bu lazerler deneysektir. Lazer silahlarında henüz bu güce ulaşılamamıştır. ABD'nin 2020 yılına kadar operasyonel olarak kullanmayı planladığı lazer silahları 100 KW ve 150 KW güçte olacaktır. ABD'nin 2023 hedefi ise 1 MW güçte lazerler üretmektedir^[11]. Lazer silahları hedeflerine yoğun ısı enerjisi yönlendirerek onların yanmasına veya parçalanmasına yol açmaktadır. Lazer silahları termal ve darbe amaçlı saldırılarda kullanılmaktadır. Termal saldırılarda lazerler ışın konsantrasyonu için gerekli uzun bir bekleme süresinin ardından hedefe yönlendirilmekte ve hedefi yakmaktadır. Partikül ışınli lazerler ise bir füze, uydu veya uçağın gövdesinde delik açabilmekte, elektronik sistemlerine ciddi zararlar verebilmekte, füze nükleer başlık taşıyorsa lazerler bunların patlatma sistemlerini yok edebilmektedir^[12].

Bu silah sistemlerinin etkisi ve vereceği zarar, hedeflerinin zafiyetlerine bağlıdır. En yüksek zararın verilebilmesi için lazer silahlarının lazerinin dalga boyunun, darbe şeklinin, enerjisinin ve ışın çapının doğru seçilmesi gerekmektedir. Hedefe verilecek termal hasar sadece eritme şeklinde olmayabilmektedir. Sadece aşırı ısıtarak da termal zarar yaratılabilir.

Ancak lazer ışınları ürettiği platformdan ayrılmasından itibaren dağılmaya başladığı için hedef üzerindeki etkisi mesafeye göre değişmektedir. Örneğin çıkışında 1 santimetre çapındaki bir lazer ışını 1000 kilometre sonra 15 metre çapa ulaşabilmektedir. Bu mesafedeki bir hedef bu yüzden lazer ışınından etkilenmeyecektir. Lazer ışınları ayrıca yağıştan, havadaki toz, bulut, duman ve kimyasal gazlardan da etkilenmektedir^[12]. Ayrıca lazerler, yoğun malzemelerle karşılaştıklarında hasara yol açmakta zorlanmaktadır. Çoğu zaman belirgin bir hasara yol açması için lazerin hedefe birkaç saniye yönlendirilmesi gerekmektedir. Gelecekte lazer silahlarına karşı geliştirilecek önlemler bu silahların operasyon etkinliği azaltabilecektir^[13].

Bir diğer zafiyet ise lazerin hedeflerinde kinetik bir etki yaratmamasıdır. Örneğin lazer, bir araç veya cephanenin kritik öneme sahip savaş başlığı, motor, ısı kalkanı, hedefleme sistemi veya yakıt tankını vuramazsa, hedefin dost güçleri vurmasını engelleyemeyebilir^[13].

Lazer silah sistemlerinin elektrik tüketimi de yüksektir, tehlikeli kimyasal maddeler kullanmakta ve aşırı ısındıklarından gelişmiş soğutma sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu açıdan savaş gemileri şu aşamada lazer silahları için en uygun platformdur.

Bu zafiyetlerine rağmen yukarıda sıralanan operasyonel üstünlüklerinden ötürü lazer silahları önemini korumaktadır. Lazer silahlarının atmosfer koşullarından etkilenmemesi için çalışmalar sürmektedir. Örneğin Boeing, Eylül 2014'te yağış, rüzgâr ve sisten etkilenmeyen 10

kilovatlık bir yüksek enerji lazeri testinin başarıyla tamamlanmış olduğunu duyurmuştur^[14].

Lazer silahlarının ağırlık, soğutma ve hacim sorunlarına da çözümler getirilmeye başlanmıştır. Örneğin, DARPA'nın son aşamaya getirdiği Yüksek Enerjili Sıvı Lazer Bölgesel Savunma Sisteminin (High Energy Liquid Laser Area Defense System -HELLADS) sıvı soğutma sistemi ile ısınma sorununu ortadan kaldıracak nitelikte olduğu belirtilmektedir. 154 KW güç üretecek olan HELLADS ayrıca, sadece 750 kg ağırlığı ve geniş bir buzdolabı kadar olan hacmi ile, bir uzay aracına bile yüklenilecek nitelikte tasarlanmıştır^[11].

3.1.1 Düşük Enerjili Lazerler

Savunma ve güvenlik alanında iki temel lazer grubu kullanılmaktadır: Düşük enerjili lazerler ve yüksek enerjili lazerler. Düşük enerjili lazerler, en çok 1 MW çıkışlılardır. Bu yüzden daha çok fotokimyasal olarak etki etmektedirler. Düşük enerjili lazer; düşük güçlü lazer, düşük seviyeli lazer veya yumuşak lazer gibi isimlerle anılmaktadır^[15].

Düşük enerjili lazer sistemlerinin en bilineni Dazzler lazerleridir. Kelime anlamı "göz boyayıcı" olan Dazzler lazerleri, düşük enerjili yeşil lazer ışını veya kızılötesi ışınlar kullanarak geçici körlük yaratmak için kullanılan YES sistemleridir. Dazzler silahlarının bilinen ilk kullanımı 1982'teki Falkland Savaşı sırasında olmuştur. İngiliz donanması Arjantin uçaklarına karşı bu silahı kullanmıştır. ABD 2006 yılında M-4 piyade tüfeklerine dazzler lazeri yerleştireceğini ve bunların Irak'ta kontrol noktalarında durmayan sürücülerini öldürmeden etkisiz kılacağını açıklamıştır^[16].

Düşük enerjili lazer silah sistemleri, savunmada en tartışmalı konulardan biridir. Çünkü anti personel amaçlı kullanılan düşük enerjili lazer silahları ölümcül olmamakla birlikte, geçici veya kalıcı körlük; geçici bilinç, denge ve duyu kayıplarına yol açabilmektedir. Körleştirici silahların kullanımı 1995'te Birleşmiş Milletler kararı ile yasaklanmıştır^[17]. Ancak, ABD^[18] ve Rusya'nın^[19] geçici körlük yaratan ya da ölümcül olmayan düşük güçlü lazer silahları geliştirmeyi sürdürdüğü ileri sürülmektedir.

Düşük enerjili lazer silah sistemleri, test amaçlı olarak da geliştirilmektedir. Örneğin ABD Füze Savunma Ajansı (MSA) 2018 yılında, aralarında Lockheed Martin'in de bulunduğu savunma şirketlerine, "Bir insansız hava aracına monte edilerek, çok yüksek irtifadan, yer platformlarından fırlatılan füzeleri vurabilecek yüksek enerjili bir lazer silahına" model teşkil edecek düşük enerjili lazer modeli geliştirme ihalesini vermiştir^[20].

3.1.2 Yüksek Enerjili Lazerler (High Energy Lasers -HELs)

Yüksek enerjili lazerler (HELs), YES silah sistemleri geliştirme çalışmalarında en çok tercih edilen ve uygulama alanı bulan teknolojidir. Yapılan piyasa araştırmaları HELs teknolojisinin YES piyasasına kısa ve orta vadede hakim olacağını göstermektedir^[21].

Silah sistemlerinde kullanılacak dört ana yüksek enerjili lazer türü bulunmaktadır. Bu lazerler dalga boyu uzunlukları ve çıktı güçlerine göre farklılık göstermektedir:

● Katı Hal Lazerleri (Solid State Lasers)

Aktif ortam olarak katı formdaki lazer materyalleri kullanan lazerlerdir. Bu tür lazerlerde iletim elementi olarak iterbiyum, neodimyum, disprosyum, praseodim ve tulyum gibi nadir elementlerin iyonları kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra safir (AL₂O₃), YLF (YLiF₄), YAG (Y₃Al₅O₁₂), LiSAF (LiSrAlF₆) gibi kristaller veya Silikat (SiO₂), fosfat (P₂O₅) gibi bileşikler de kullanılmaktadır. Katı hal lazerleri aktif ortam olarak kullandıkları materyallere göre örneğin, Yakut (Ruby) Lazer, Neodimyum, YAG ve Ti (Titanium) - Safir Lazerler gibi adlarla anılmaktadır^[22].

Bunun yanı sıra görece yeni bir teknoloji olan "Fiber Lazerler" de kullandıkları lazer ortamı bakımından katı hal lazerleri kategorisinde anılmaktadır. Fiber lazerlerde, ışın fiber optik kablo kanallarından geçirilmektedir^[23]. Fiber optik katı hal lazerleri çok sayıda lazer ışını tek bir ışın haline getirerek çok daha büyük bir güç oluşturduğu için silah araştırmalarının odağı haline gelmiştir^[24]. Dünyada fiber lazer silah çalışmaları henüz test aşamasındadır. Bu kapsamda Türkiye'de TÜBİTAK BİLGEM çatısı altında fiber lazer konusunda yürütülen çalışmalarda tek fiber kanalında 5 KW güce ulaşıldığı bildirilmiştir. Zırhlı araçlara monte edilmek üzere tasarlanan lazerlerin toplam gücünün 25 KW'ye çıkacağı belirtilmektedir^[25].

Katı hal lazerlerinin pek çok avantajı bulunmaktadır. Bunların başında üretilen lazerin son derece güçlü ve etkili olması gelmektedir. Katı hal lazerlerinin kullanımı basittir, elektrik enerjisiyle harekete geçirilebilir ve tehlikeli kimyasallar içermedikleri için görece güvenlidirler. Katı hal lazerleri ayrıca diğer lazer sistemlerine göre daha hafif, sağlam ve portatiftir. Ancak daha fazla güç ürettikleri için soğutma problemi yaşatmaktadır^[24].

● Kimyasal Lazerler

Enerji üretmek için kimyasal reaksiyonlardan yararlanan lazer tipidir. Gelişmiş kimyasal lazerlerde birden fazla gazın karışımları da kullanılmaktadır. Soğuk Savaş döneminde ABD ve Sovyetler Birliği uzmanlarının lazer silahı geliştirme çabalarında metalleri kesebilen daha güçlü kızılötesi ışınlar üretebildiği için karbondioksit lazerlerine odaklanılmıştır^[26]. ABD ile İsrail'in 1996'da başladığı Taktik Yüksek Enerjili Lazer (Tactical High Energy Laser -THEL) projesinde döteryum florür kimyasal lazerleri kullanılmıştır. Roket saldırılarına karşı savunma oluşturmak üzere geliştirilen lazer 2000 ve 2001 yıllarında 28 Katyuşa roketini havada imha etmeyi başarmıştır. Ancak THEL, aşırı yüksek bütçesi, denemelerdeki başarısızlıklar ve bir araca yüklenmesini imkânsız kılan geniş hacminden ötürü 2006 yılında rafa kaldırılmıştır^[8].

"Eksimer lazer (Excimer) adı verilen lazer türlerinde yüksek güçlü lazer üretmek için uçucu ve kimyasal tepkimeye hazır kimyasallar kullanılmaktadır. Örneğin Northrop Grumman'ın uçakları balistik füzelerden korumak amacıyla yürüttüğü Airborne Laser

Testbed (ALTB) projesinde, Kimyasal Oksijen İyodin Lazerleri'nde (Chemical Oxygen Iodine Laser -COIL) kullanılmaktadır. COIL, klor gazı ile hidrojen peroksit ve potasyum hidroksit karışımı kimyasal reaksiyona girerek kızılötesi ışın elde edilmektedir^[27].

● Serbest Elektron Lazerleri

Serbest elektron lazerleri 1971 yılında Stanford Üniversitesinden John Madey tarafından icat edilmiştir. Partikül hızlandırıcılarına elektron demetleri eklenmesi ile elde edilirler. Elektronlar ışık hızına çıkıncaya dek hızlandırılırlar. Bir dizi mıknatıstan geçirilen elektronlar belli bir dalga boyunda lazer ışını yayarlar. Teorik olarak serbest elektron lazerleri elektromanyetik spektrumun herhangi bir bölümüne yerleştirilebilirler. ABD'nin özellikle donanmanın gemilerini saldırılardan korumak amacıyla serbest elektron sistemlerine ilgi duyduğu bilinmektedir. Boeing, 2009 yılında, geleceğin yüzde 100 elektrikli gemileri için bir serbest elektron lazer silahı geliştirmek için araştırmalara başladığını duyurmuştur^[28]. 2017 yılına gelindiğinde ABD donanmasının 100 KW gücünde bir serbest elektron geliştirmek için proje başlattığı bildirilmiştir^[29]. Söz konusu lazerlerin Zumwalt sınıfı destroyerlere konuşlandırılacağı ifade edilmektedir^[30].

● Nükleer Pompalı Lazer (Nuclear Pumped Lasers)

Teorisi 1963'te ortaya atılan nükleer pompalı lazer, nükleer reaksiyonların ürettiği iyonların lazer üretiminde kullanılması fikrine dayanmaktadır. Yüksek güçlü lazerlerin kısa dalga boylarına sahip olması bunların güçlü pompalama gücüne ihtiyaç duymasına neden olmaktadır. Bir nükleer patlamanın yaydığı enerjinin belli bir miktarını yönlendirilmiş ışık haline getirerek ışının çok uzun mesafelerdeki hedeflerin yok edilmesinde kullanılması fikri, Ronald Reagan yönetiminin de dikkatini çekmiş, "Yıldız Savaşları" projesinde düşman füzelerinin uzaydan yok edilmesinde nükleer pompalı lazerlerin kullanılabileceği fikri taraftar bulmuştur. Zira nükleer pompalı lazerler, nokta hedefleri yok edebilen, yeni nesil nükleer silahlar olarak da kullanılabilecektir. Ancak 1983'ten 1992'ye kadar yapılan araştırmalar çalışabilir bir sistemin geliştirilmesiyle sonuçlanamamıştır. Günümüzde Dünya'ya tehdit oluşturulabilecek göktaşlarının yok edilmesinde nükleer pompalı lazerlerin kullanılabileceği, bu nedenle araştırmaların sürmesi gerektiğini savunan görüşler ortaya atılmaktadır^[31].

3.2 Mikrodalga Silahları

Yüksek enerjili mikrodalga silahları (High Energy Microwave Weapons -HPM) radyo frekansı veya elektromanyetik spektrumun mikrodalga kısmını, bir hedefe enerji göndererek yıkıcı veya bozucu etki yaratmak için kullanan YES sistemleridir^[32].

Mikrodalga ve lazerlerin her ikisi de elektromanyetik spektrumda işleyiş kazanmaktadır. Her ikisi de ışık ve radyo dalgalarından oluşan elektromanyetik enerji aktarmaktadır. Ancak lazerin dalga boyu mikrodalgalardan 10 bin kat daha kısadır ve mesafe uzadıkça daha

az dağılma göstermektedir^[33]. Bu nedenle yüksek enerjili lazer silahları uzun mesafede isabet hassasiyeti gerektiği durumlarda mikrodalga silahlarına göre üstünlük sahibidir. Buna karşılık daha geniş bir alanda çok sayıda hedefe enerji aktarımına ihtiyaç duyulduğu durumlarda mikrodalga silahları daha etkili olabilmektedir^[34]. Yüksek enerjili mikrodalga silahları (High Energy Microwave Weapons -HMW) geliştirilmesi amacıyla yapılan araştırmalar, lazer çalışmalarıyla hemen hemen aynı zamanda başlamıştır. Ancak bu çalışmalar çoğunlukla gizli tutulmakta, kamuoyuna çok az sayıda silahın tanıtımı yapılmaktadır.

Bilinen ilk yüksek güçlü mikrodalga silahını 1970'li yıllarda Sovyetler Birliği geliştirmiştir. Söz konusu silahın yaydığı mikro dalganın 1 GW gücünde olduğu belirtilmektedir. ABD'nin ise 1991'deki Körfez Savaşı sonrasında, Irak'ın başkenti Bağdat'ta bir F-117'den fırlattığı füze de deneysel bir mikrodalga başlığı taktığı yıllar sonra ortaya çıkmıştır. Bu silah Bağdat'ta elektronik cihazları fiziksel olarak deforme etmeden etkisiz hale getirmiştir^[35]. ABD'nin Afganistan'da da yola döşenmiş el yapımı bombaları etkisiz hale getirmek için yüksek enerjili bir mikrodalga silahı kullandığı belirtilmektedir^[8].

Mikrodalga silahlarının canlılar üzerindeki etkileri tartışma konusudur. Bu tür silahlarla yapılacak saldırıları fark etmek ve failerini ortaya çıkarmak oldukça güçtür. Bu nedenle ABD ile eski Sovyet ülkeleri birbirlerine zaman zaman mikrodalga silahlarıyla saldırı suçlamaları yöneltmektedir. Örneğin Rusya, 1998-1999 Kosova Savaşı sırasında ABD'nin Kosova Sırplarına karşı mikrodalga silahı kullandığını ileri sürmüştür^[36]. ABD ve bazı NATO müttefikleri 2016-2018 yılları arasında Küba ve Çin'in elçilik personellerine karşı, işitme sorunları yaratan, bulantı ve denge kaybına yol açan bir tür mikrodalga silahı veya sonik silah kullandığını ileri sürmüştür^[37]. Günümüzde HMW silah sistemleri iki ana kategoride gruplandırılmaktadır: Milimetrik Mikrodalga Silahları (Milimetric MicroWave Weapons -MMW) ve e-bomba. Her iki silah sistemi de Megavat düzeyinde enerji üretmektedir.

3.2.1 Milimetrik Mikrodalga Silahları (Milimetric Microwave Weapons-MMW)

Milimetrik dalga teknolojisine dayanan silahlara ilişkin çalışmalar lazer öncesine kadar gitmektedir. Uyarılmış Radyasyon Emisyonunun Mikrodalga ile Güçlendirilmesi (Microwave Amplification by Stimulation Emission of Radiation -Maser) (ya da Mazer) ışınlarına ilişkin ilk çalışmalar 1954 yılında başlamıştır^[38]. Mazer teorik olarak elektromanyetik spektrumun tümünden görülebilmektedir ve bu anlamda lazerleri de kapsamaktadır. Milimetrik mazer teknolojisine dayanan ilk silah sistemi ise 1990'lı yıllarda ABD'de geliştirilmiş ancak 10 yıl kadar gizli tutulmuştur. Raytheon tarafından geliştirilen Active Denial Technology (ADT), milimetrik dalga bandında çalışan bir mazer türüdür. Kamuoyuna ancak 2001'de açıklanan ilk ADT silahı olan Active Denial System (ADS), 95 GHz frekansta, 3.2 milimetre dalga boyunda elektromanyetik dalga yayan yüksek güçlü mikrodalga silahıdır^[39]. Silahın menzili saklı tutulmakla birlikte, 1 kilometreye ulaşabildiği ifade edilmektedir.

İnsanlar üzerinde kullanıldığında ADS'nin MMW ışınları, bedendeki suyu buharlaştırarak katlanılması güç bir yanma hissi yaratarak hedeflerini kısa süreliğine etkisiz hale getirmektedir. Öldürücü olmamakla birlikte protesto gösterileri gibi eylemlerde kalabalıkları dağıtmak veya etkisiz hale getirmek amacıyla geliştirilmesi bu silahın kullanıma yönelik eleştirilerin artmasına yol açmıştır^[3]. Öte yandan daha güçlü, daha kompakt ve daha az güç harcayan ADT sistemlerinin geliştirilmesi çalışmaları sürmektedir. İkinci nesil ADS'nin bir buzdolabı büyüklüğünde olduğu belirtilmektedir^[40]. Öte yandan ADS sisteminin insansız hava araçlarına monte edilerek ölümcül olmayan anti personel silahı olarak kullanılması yönünde de proje yürütülmektedir^[41].

3.2.2 E-Bomba

Elektromanyetik darbe bombası, elektromanyetik bomba veya e-bomba gibi farklı isimlerle anılmakta olan YE sistemleri, hedefe elektromanyetik enerji göndererek özellikle elektronik sistemleri etkisiz hale getirmekte kullanılmaktadır. E-bombaların yarattıkları darbeler, yıldırım veya nükleer patlama darbelerine benzemektedir. Sözkonusu silah 100 MHz ile 20 GHz frekans aralığında yüksek güçte, bazen 100 megavattan daha fazla elektromanyetik enerjiyi hedef alana gönderebilmektedir. E-bombaların menzili yüzlerce metredir. Ancak bu menzilin 15 kilometreye kadar çıkabildiği de ileri sürülmektedir^[39].

E-bombalar, yarattıkları elektromanyetik patlamalarla elektronik devreleri, iletişim sistemlerini yok edebilirken genelde canlılara zarar vermezler. E-bombalar özellikle elektronik harp tekniklerinde istisnai bir önem kazanmıştır^[42]. Kara, hava ve deniz platformlarına yerleştirilerek taşınır hale getirilebilen e-bombalar ile füzeler, uçaklar, kara araçları, tekneler, iletişim sistemleri, bilgisayarlar, ağlar, radarlar ve telsiz haberleşmesi devre dışı bırakılabilir, tetikleme sistemleri çalışmaz hale getirilebilir. E-bombalarla şehirlerin elektrik şebekeleri de hedef alınabilir. Bu kabiliyetlerinden ötürü çok sayıda ülkede e-bomba geliştirme çalışmaları yürütülmektedir. ABD'nin yanı sıra Rusya, Çin, İran ve Kuzey Kore'nin güçlü e-bombalar geliştirdiği ileri sürülmektedir^[43]. Türkiye'de de 2012 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi bilim insanlarının bir e-bomba geliştirdiği bildirilmiştir^[44].

3.3 Parçacık Işın Silahları (Particle Beam Weapons)

Yüksek enerjili silah sistemlerinin son dönemde dikkatleri üzerinde toplayan yeni bir türü parçacık ışınli silahlardır. Parçacık ışınli silahlar elektrik yükü olmayan atom parçacıklarını, özellikle nötronları ışık hızında hızlandırarak hedefe yönlendirmektedir^[45]. Oluşan yüksek güçlü ışın, hedefin atomlarıyla çarpıştığında onları dağıtır. Işının vurduğu alan hızla ısınır ve hedef patlar^[46]. Bu açıdan parçacık ışınları, H.G. Wells'in "Isı Işını" veya Nicola Tesla'nın 20'nci yüzyıl başında tasarladığı ama hayata geçiremediği "Ölüm Işını"na^[47] benzemektedir. Lazerlerden farklı olarak, parçacık ışınları sadece hedefin yüzeyini yakmakla yetinmez, içine de sızar ve örneğin elektronik cihazlarını yakar ve/veya varsa yakıt depolarını patlatabilir. Lazerler aynaya benzer parlak yüzeylerden

yansıyabilirken, parçacık ışınlarını yanıltmak mümkün değildir^[45].

Parçacık ışını silahlarının lazerlere göre bir üstünlüğü de atmosfer olaylarından etkilenmemesidir. Parçacık ışınları havada seyahat ederken çevresinde iyonlaşmış bir kanal oluşur. Bu kanal ışının artan mesafeye dağılmasını ve sapmasını engeller^[46].

ABD, 1980'li yıllardan beri parçacık ışını araştırmalarına destek vermektedir. Yapılan araştırmalar, biri atmosfer ortamında diğeri uzayda kullanılmak üzere iki tip parçacık ışını silahının geliştirilmesine yol açmıştır. Ancak özellikle yeryüzüne konuşlu parçacık silahının hızlandırıcıları, sürekli ve yüksek güçte elektrik enerjisi gerektirdiği için sorunlarla karşılaşmaktadır. Uzaya yerleştirilecek bir parçacık ışını silahının ise hacim sorunu bulunmaktadır. Yeni teknolojilerle parçacık silahının uzağa yerleştirilme olasılığı artmıştır. Nitekim ABD'nin 2023 yılında bir parçacık silahını uzaya konumlandırmayı hedeflediği belirtilmektedir^[48].

3.4 Yüksek Güçlü Sonik Silahlar (High Power Sonic Weapons)

Hedeflerine yüksek enerjili ses yönlendiren YES sistemleri üzerine ilk araştırmalar İngiltere ve Japonya'da yapılmıştır. İngiliz ordusunun 1970'li yılların başında Kuzey İrlanda'da IRA yanlısı gösterileri dağıtmak için "squawk box" adını verdiği bir ultrason ses silahı kullandığı ortaya çıkmıştır^[49].

Sonik silahların hedefi canlılardır. Frekans ve gücüne bağlı olarak psikolojik (Korku, endişe, depresyon vb.) ve biyolojik (Bulantı, kusma, organ hasarı, yanık ve ölüm) etki yaratmaktadır^[50]. Sonik silahların büyük bölümü 1 Hz ile 30 KHz arası frekans aralığında kullanılmaktadır ve frekans aralığına göre çeşitli türlere ayrılmaktadır:

- **Ses Ötesi (Infrasound) Silahlar:** 1 Hz ile 30 Hz arasındaki aşırı düşük frekansta (EFL) insan kulağının duyma eşiğinin altında çalışırlar. Ses ötesi dalgalar, uzun mesafeler katedebildiği, çoğu binadan ve vasıtalarından etkilenmediği için tercih edilmektedir^[49]. Ses ötesi silahlar, 100 ile 140 desibel güce ulaştıklarında insanlar üzerinde ölümcül olmayan ama onları etkisiz kılacak fiziki etkiler yaratmaktadır. 140 desibelin üzerine çıkan "infrasound" ise ölümcül olabilmektedir^[51]. 2001'de yayınlanan bir araştırmaya göre yüksek desibelde "infrasound" bazı binalarda minik depremlere bile yol açabilmektedir^[49].
- **Ultrason Silahlar:** 20 kHz, yani insan kulağının duyabileceğinin üzerinde frekanslarda çalışmaktadır. Infrasound silahlarının kabiliyetlerine ek olarak aşırı ısıtma ve yakma özelliği de bulunmaktadır.
- **Uzun Menzilli Akustik Cihazlar (Long Range Acoustic Device - LRAD):** İnsan kulağının işitebileceği frekanstaki 150 desibellik ses ışınlarını, azami 1 kilometre mesafede bulunan kişi veya kişilere yönlendirip psikolojik ve fiziksel etkiler yaratan silahlardır^[52]. LRAD, atmosfer olaylarından etkilenmemesi, düşük

enerji tüketimi ve taşınabilir olması gibi avantajlarının da etkisiyle bugün aralarında Türkiye'nin de bulunduğu^[53] çok sayıda ülkenin orduları ve emniyet teşkilatları tarafından kullanılmaktadır. LRAD ile ses transferi de yapılabilmektedir. Silah ile özellikle belli bir mesafedeki kalabalıklara önce sesli uyarı yapmak mümkündür. Bu nedenle LRAD'lar belli bölgelerin insan ve diğer canlılardan arındırılması (Örneğin havaalanları pistlerinden kuşların uzaklaştırılmasında) ve kalabalıkların kontrolünde kullanılabilir^[52].

- **Ses Tüfekleri ve Ses Topları (Sonic Rifles and Canons):** Yüzlerce metre öteye ses mermileri (Sonic projectiles) gönderebilen YE silahlarıdır. Görünmez sonik mermiler hedefte yakıcı, kesici veya parçalayıcı etkisi olmayan darbeler yaratmaktadır. İkinci Dünya Savaşı sırasında Almanya'nın düşman uçaklarını düşürebilecek kabiliyette ses topları geliştirdiği ileri sürülmektedir^[54]. 1990'lı yıllarda da Rusya'nın hedefe beyzbol topu büyüklüğünde 10 Hz sonik mermiler gönderen sonik toplar geliştirdiği duyurulmuştur. Söz konusu ses mermilerinin fiziki rahatsızlıklardan ölüme kadar varan farklı sonuçlar yaratacak şekilde ayarlanabildiği de belirtilmektedir^[51]. ABD'nin de 2002'den beri sonik top sahibi olduğu ileri sürülmektedir^[51].

4. ÜLKELERİN YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ SİLAHI STRATEJİLERİ

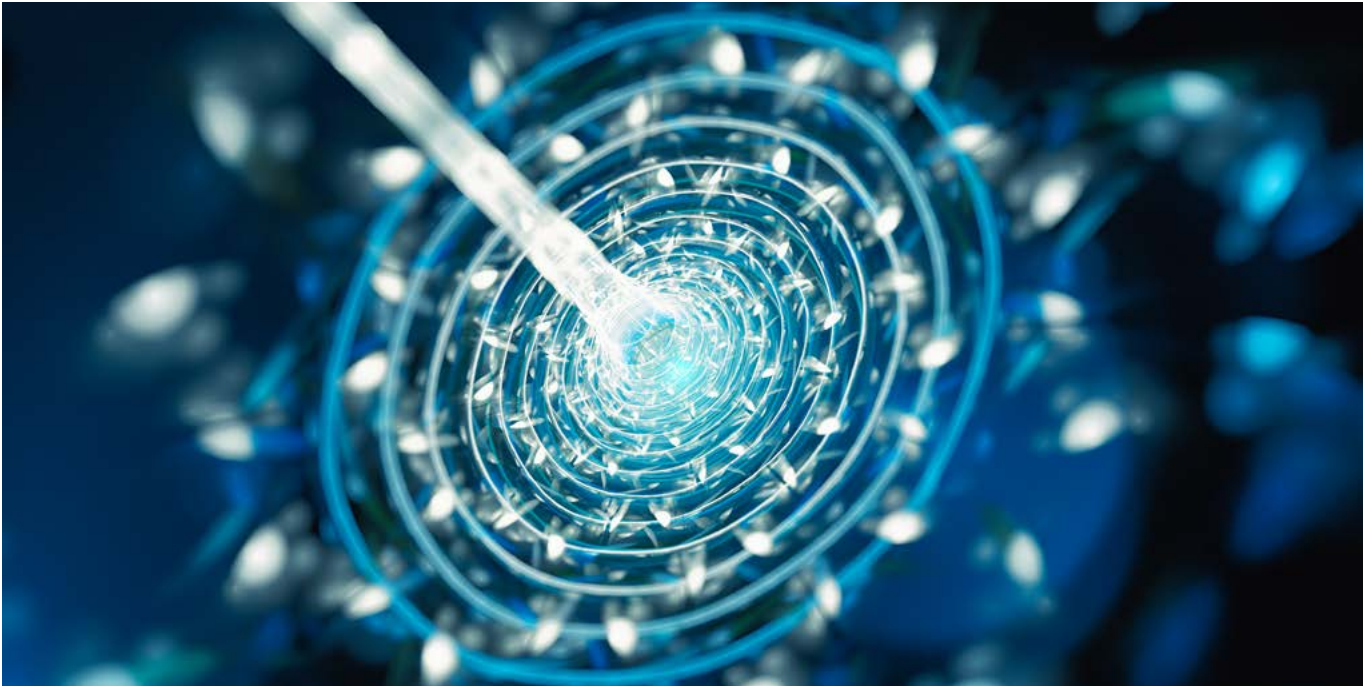
Yönlendirilmiş enerji silahlarının savunma ve anayurt güvenliği alanlarında sunduğu operasyonel üstünlükler, savunma stratejilerinde değişime yol açmıştır. Günümüzde çok sayıda ülke silah geliştirme programlarına YES sistemlerinin geliştirilmesini de eklemiştir.

Yukarıda değinildiği üzere YES sistemlerinin geliştirilmesi çalışmaları çoğunlukla gizlilik seviyesi yüksek programlardır. Dünya kamuoyu ile paylaşılan programların başarı ve olgunluk seviyesine ilişkin açıklamaların propaganda ve dezenformasyon amaçlı olabileceği de unutulmamalıdır. Yine de bu tür açıklamalar, YES sistemlerinin potansiyeli ve savunma çevrelerinin bu sistemlerden beklentilerini ortaya koyması açısından dikkate almaya değerdir. Bu nedenle aşağıda bazı ülkelerin YES sistemleri geliştirme yönündeki strateji ve uygulamalarından bazı örnekler verilmiştir.

4.1 ABD'de 5 Kuruluş YES Geliştiriyor

ABD, YES sistemleri geliştirme yönünde 1950'li yıllardan bu yana yoğun çaba sarf etmektedir. 1960'ta başlatılan ilk YES programından itibaren bu alanda yapılan araştırmalara harcanan miktarın 60 milyar doları bulduğu ifade edilmektedir^[55]. Soğuk Savaş dönemi boyunca ABD ordusu çok sayıda YES programı başlatmış, kısmi ilerleme sağlamış ancak çoğunlukla programlar pratik bulunmayarak terk edilmiştir. Bunlar arasında hava savunma YES sistemlerinin ilklerinden olan ABL (Air Born Laser) de bulunmaktadır. Hava araçlarını füze tehdidinden korumayı amaçlayan ABL sisteminin çalışmaları 1996'da başlatılmış, 2004'te başarılı test sonuçları alınmasına rağmen 2006'da terk edilmiştir^[56].

Bu çalışmaların kırılma noktası, ABD eski Başkanı Ronald Reagan'ın 1983'te açıkladığı, ülke topraklarını kıtalararası balistik ve nükleer füzelerden koruyacak bir savunma sistemi kurulması amacını taşıyan "Stratejik Savunma İniyatifi" (Strategic Defense Initiative -SDI) olmuştur. Düşman füzelerinin uzaydan vurulması seçeneğini de kapsadığı için, medya tarafından "Yıldız Savaşları Projesi" olarak lanse edilen^[57] SDI, yüksek enerjili lazer ve mikrodalga silahları ile parçacık ışını araştırmalarının önünü açmıştır. Bu araştırmalar, zamanın teknolojileriyle



uzaydan nükleer füzelerin vurulmasını sağlayacak bir sistemin geliştirilmesi için yeterli olmayacağı sonucuna ulaşmakla birlikte YES araştırmalarının önünü kesmemiştir^[58]. Soğuk Savaş sonrasında 11 Eylül terör olayları ve ABD'nin Irak ve Afganistan müdahaleleri, YES silahlarının asimetrik savaşta etkin bir araç olabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle ABD ordu ve savunma zümresi kadar siyasetçiler de YES silahlarının geliştirilmesi yönünde inisiyatiflerini ortaya koymuştur. ABD Kongresinde 2011 yılında Yönlendirilmiş Enerji Komisyonu kurulmuştur^[6]. ABD Kongresinde bu silahların geliştirilmesine yönelik itirazların sona erdiği, hatta 2015'ten itibaren bu sistemlerin geliştirilmesi için fonların artırılması gerektiği görüşünün genel kabul görmeye başladığı belirtilmektedir^[71]. ABD Savunma Bakanlığının YES projelerini tamamlamak için 700 milyar dolar kaynağa ihtiyacı olduğu kaydedilmiştir^[59].

ABD'de YES araştırma ve geliştirme çalışmaları çok sayıda kurum çatısı altında yapılmaktadır. Savunma Bakanlığı araştırmalarını DARPA ile yaparken, Donanma, Hava Kuvvetleri, Kara Kuvvetleri (Uzay ve Füze Savunma Komutanlığı) ve hatta Özel Operasyonlar Komutanlığı (SOCOM) kendi projelerini yürütmektedirler. ABD'nin savunma şirketleri de bir yandan savunma kurumlarının ihalelerini üstlenirken öte yandan kendi YES sistemlerini geliştirmeye çalışmaktadırlar. Uzay ve Füze Savunma Komutanlığı, zırhlı kara araçlarıyla taşınabilir kısa ve uzun menzilli, 50 ve 100 KW gücünde lazer savunma sistemleri (HEMIT, HELTVD, MEHEL ve MMHEL) üzerinde çalışmaktadır. Bu sistemlerin 2019 ile 2022 yılları arasında çalışır hale geleceği belirtilmektedir^[60].

ABD Kara Kuvvetleri ayrıca, zırhlı kara araçlarına monte lazer silahları geliştirmek üzere de çalışmalar yürütmektedir. Bunlardan biri olan Zeus lazer silahının mayınlar ve el yapımı patlayıcıları etkisiz hale getirmekte yüzde 98 başarı kazandığı belirtilmektedir^[61]. Lockheed Martin tarafından geliştirilen 160 KW gücündeki kara zırhlı araçlarına takılabilecek High Energy Laser Mobile Demonstrator (HEL MD) testleri de 2017'de başlamıştır^[62]. ABD Özel Operasyonlar Komutanlığı Haziran 2017'de yapılan bir denemede Apache AH-64 helikopterinden ateşlenen bir lazerin 1,7 kilometre ötedeki bir insansız hava aracını vurduğunu duyurmuştur^[63].

ABD Donanması, işleyen lazer savunma sistemlerine şimdiden sahiptir. 2014 yılında USS Ponce gemisine yerleştirilen 30 KW gücündeki AN/SEQ-3 lazer silahının Basra Körfezi'nde sürat tekneleri ile insansız hava araçları üzerinde denendiği ve başarı kaydettiği açıklanmıştır^[64]. ABD Donanma Araştırma Laboratuvarı ile Kratos, AN/SEQ-4 tipi lazer silahının testlerine de başlamıştır. Katı hal lazerli yeni sistemin deniz üzerindeki küçük metal nesnelere ve İHA'ları vurabildiği, motorları yakabildiği ve patlayıcı maddeleri etkisiz hale getirebildiği belirtilmektedir^[65]. ABD Donanmasının ODIN (Optical Dazzling Interdictor) adını verdiği insansız hava araçlarını köreltmeyi amaçlayan bir lazer dazzler üzerinde çalıştığı da belirtilmektedir^[66].

ABD Deniz Kuvvetleri ayrıca AN/SEQ-3'ten iki kat daha güçlü lazer silahı sistemi olan HELIOS'un geliştirilmesi için Lockheed Martin ile Mart 2019'da 150 milyon dolarlık bir sözleşme imzalamıştır^[67]. Katı hal lazerleri kullanan HELIOS sisteminin, hem düşman İHA'larını durdurmak hem de uzun menzilli istihbarat, gözetim ve keşif amaçları için kullanılabilmesi ifade edilmektedir. Testlerine 2020 yılında başlanacak olan HELIOS sisteminin Arleigh Burke sınıfı destroyerlere konuşlandıracağı belirtilmektedir^[24].

ABD Donanması, 150 KW gücünde lazer savunma sistemleri üzerinde de çalışmaktadır. Katı hal lazerleri kullanılan SSL-TM (Solid State Laser- Technology Maturation) test kodu verilen sistemin ilk ürünü olan Ruggedized High Energy Laser (RHEL) adlı sistemin denemelerinin 2019 yılında başlaması beklenmektedir^[66].

ABD Deniz Kuvvetleri, savaş gemilerini balistik füze ve roketlerden koruma amacıyla da bir lazer sistemi geliştirmeye çalışmaktadır. High Energy Laser Counter-Anti-Ship Cruise Missile Program (HEL CAP) adı verilen programla seyir füzelerinin vurulma olasılığı da değerlendirilmektedir^[68].

ABD Hava Kuvvetleri, hava platformlarını tehditlerden koruyacak lazer sistemleri üzerinde çalışmaktadır. Yüksek enerjili mikrodalga silah sistemi THOR'un denemeleri Nisan 2019'da başlamıştır. Sistemin aynı anda çok sayıda roket veya İHA'yı vurabilecek kabiliyette olduğu belirtilmektedir^[69]. CHIMERA adı verilen ikinci projede ise uzun menzilli bir yüksek enerjili mikrodalga silahı geliştirilmeye çalışılmaktadır. Sistemin 2020 yılına yetiştirilmeye çalışıldığı belirtilmektedir^[69].

ABD Hava Kuvvetleri ayrıca DARPA ile birlikte 150 KW gücünde ancak muadillerinden çok daha küçük hacimli ve hafif HELLADS sistemini geliştirmeye çalışmaktadır. Yüksek enerjili likit soğutmalı katı hal lazer sistemi olan HELLADS, hava platformlarını füzeler, roketler, toplar ve havan mermilerinden korumak için tasarlanmıştır^[70]. Geliştirilmesinde son aşamaya geldiği belirtilen HELLADS'ların toplam ağırlığının 750 kilograma kadar düşürülerek uzay araçlarına sığacak hale getirileceği ve gelecekte uzay füze savunma sistemlerinde kullanılabilmesi ifade edilmektedir^[11].

ABD Hava Kuvvetlerinin ayrıca Self-protected High-Energy Laser Demonstration (SHIELD) projesi kapsamında 10 KW üstü lazer sistemleri üzerinde çalıştığı ve ilk örneklerin 2020 yılında tanıtılacağı belirtilmektedir. Mayıs 2019'da yerden yapılan testlerde SHIELD test lazerinin çok sayıda füzeyi vurabildiği duyurulmuştur^[71]. Aynı program kapsamında uzun menzilli bir savunma sisteminin tanıtımı ise 2022 yılında yapılacaktır. Projenin nihai hedefi 300 KW ve üstü güce ulaşarak uzun mesafeden düşman uçaklarını ve yer hedeflerini vurabilecek bir YES sistemi geliştirmektir^[72].

ABD'de YES sistemlerinin geliştirilmesi yönünde sivil ve askeri karar alıcıların kararlılığı sürmekle birlikte, bütçe sorunları bu çalışmaların hızlanmasındaki en önemli engel olarak durmaktadır. Nitekim mevcut projelerin hayata geçirilmesi için gerekli miktarın 700 milyar doların üzerinde olduğu ifade edilmektedir^[59].

4.2 Rusya, Gizliliği Tercih Ediyor

Sovyetler Birliği'nin çöküşünün ardından silah sistemleri geliştirilmesi çabalarını arka plana atan Rusya, son yıllarda özellikle ileri teknoloji silah geliştirme yönünde yeniden bir irade ortaya koymaktadır. 1980'lerde Sovyet yönetimi tarafından lazer araştırma laboratuvarı haline getirilen Ilyushin II-76MD tipi kargo uçağının (Beriev A-60 Lazer Laboratuvarı) hâlâ aktif olduğu ve havadan karaya ve havadan havaya lazer silahları geliştirme çalışmaları yürüttüğü belirtilmektedir. Beriev A-60'ta düşman uydularını vurabilecek lazer sistemlerinin geliştirilmeye çalışıldığı da ifade edilmektedir^[73]. 2015 yılında Rusya'nın düşman uçakları ve insansız hava araçlarıyla uydularının elektronik sistemlerini devre dışı bırakacak bir yönlendirilmiş enerji silahı geliştirildiği duyurulmuş ancak ayrıntılar paylaşılmamıştır^[74].

Rusya'nın, karadan havaya lazer sistemleri üzerinde çalıştığı bilinmektedir. Ancak bu çalışmalar gizlilik seviyesi yüksek olarak sürdürülmektedir. Nitekim Aralık 2018'de Peresvet adı verilen zırhlı kara araçlarına monte edilebilen bir lazer silahının Rusya Silahlı Kuvvetleri envanterine katıldığı duyurulmuş ancak silah sisteminin özellikleri hakkında ayrıntı verilmemiştir^[75]. Aralık 2018'de Peresvet'in donanma gemilerine de takıldığı bildirilmiştir^[75].

Rusya'nın ayrıca uçak ve helikopterlerinin savunması için lazer sistemleri geliştirdiği ifade edilmektedir^[8]. Bir başka iddiaya göre ise Rusya insansız hava araçlarına yüksek güçlü mikrodalga silahları monte etmeyi planlamaktadır^[8]. 2010 yılında kabul edilen Rusya'nın yeni askeri doktrininde planlanan silahlar arasında sonik silahlar da bulunmaktadır^[76].

Rusya'nın dazzler lazeri geliştirip donanma gemilerine konuşturduğu bildirilmektedir. Ruselectronics tarafından geliştirilen "5P-42 Filin" sisteminin, yüksek yoğunlukta ışık radyasyonu ile öldürücü olmadığı ancak 500-700 metre öteden optik yanılsamalarla düşmanda halüsinasyonlara, kusmaya ve yönünü bulamamaya yol açtığı kaydedilmektedir^[65].

4.3 Çin'in Işık Harbi

YES geliştirme çalışmaları 1960'ta başlayan ancak 2010'lu yıllara kadar ilerleme kaydedemeyen Çin Halk Cumhuriyeti'nde, askeri uzmanlar geleceğin harplerinin en önemli unsurlarından birinin YES sistemleri olacağına inanmaktadır. 2015'te Çin ordusu tarafından yayınlanan *Işık Harbi* adlı kitapta gelecek 10 veya 20 yıl içinde, harp konseptini belirleyecek etmenler olarak "Büyük veri, yapay zekâ/otomasyon ve yönlendirilmiş enerji silahları" sayılmaktadır. Bu kapsamda Çinli yetkililere "Dünya yörüngesinde otonom hareket eden lazer silahlarının konuşlandırılması" da tavsiye edilmektedir^[8]. Batı medyasında Çin'in 2023 yılında uzaya beş tonluk bir lazer silahı yerleştirmeyi planladığı iddia edilmiştir^[24].

Çin'in bu amaçla yüksek enerjili lazer ve mikrodalga sistemleri, dazzler lazerleri, karadan havaya ve havadan havaya lazerli savunma sistemleri ve hatta bir lazer tüfeği^[77] üzerinde çalıştığına dair haberler Batı medyasında yansımaktadır. Buna karşılık, gizlilik seviyesi yüksek

programlarda elde edilen ilerlemeye ilişkin olarak resmi paylaşımlar hayli azdır.

Birleşik Arap Emirlikleri'nin başkenti Abu Dabi'de 2017'de sergilenen "Silent Hunter" bunlardan biridir. Fiber optik lazer sistemi olan Silent Hunter, "Alçak İrtifa Lazer Savunma Sistemi" olarak tanıtılmasına rağmen bir kamyon büyüklüğündedir ve bu yüzden hava platformlarına veya uydulara konuşlandırılması mümkün görülmemektedir. Sistemin 30 KW güç ürettiği ve 4 km menzilli olduğu belirtilmektedir^[78]. Nisan 2019'da Çin Devlet Televizyonu yeni lazer silahının deneme atışlarına ilişkin bir video yayınlamıştır. Kısa menzilli silahın, tehdit oluşturan küçük tekneler ve İHA'lara karşı geliştirildiği belirtilmiştir^[79].

4.4 İngiltere Atağa Geçti

İngiltere 1970'li yıllardan beri YES teknolojisi konusunda araştırma yapmaktadır. 1982'deki Falkland Savaşı'na ilişkin yıllar sonra açılan gizli dosyalarda, İngiliz savaş gemilerinin kendilerine saldıran Arjantin savaş uçaklarına karşı köreltilen lazer ışını kullandığı ortaya çıkmıştır^[80]. Ancak bu tedbire rağmen savaşta altı gemisini yitiren İngiltere, deniz platformlarının korunması amacıyla YES sistemleri geliştirilmesi çalışmalarını yoğunlaştırmıştır.

Bu çabaların en önemli meyvesi 2019'da denemeleri başlanan Droganfire sistemi olmuştur. İngiliz, Alman ve İtalyan şirketlerin oluşturduğu MBDA liderliğindeki bir konsorsiyum tarafından geliştirilen 50 KW gücündeki^[61] Droganfire sisteminin kara unsurlarına da uyarlanacağı belirtilmektedir^[81].

İngiltere Savunma Bakanlığı Temmuz 2019'da üç yeni YES sisteminin geliştirilmesi için ihaleye çıkılacağını duyurmuştur. Bütçesi 162 milyon dolar olarak açıklanan programla ne tür YES sistemleri geliştirileceği açıklanmamıştır ancak sistemlerin 2023'te hazır hale getirilmesinin istendiği ve hem deniz hem de kara platformlarına uygunluğunun aranacağı belirtilmiştir^[82]. İngiltere'nin 2030'lu yıllarda envanterine katacağı yeni nesil savaş uçağı Tempest'lerin bu lazer sistemine sahip olmasının istendiği ileri sürülmektedir^[61].

4.5 İsrail "Demir Işın" Geliştiriyor

İsrail Silahlı Kuvvetlerinin ilk YES programı "Nailitus" 1996'da başlamıştır. ABD ile Tactical High Energy Laser (THEIL) projesi başlatılmış, 2000'li yıllarda sistemin çok sayıda Katyuşa roketini imha edebildiği açıklanmıştır. Ancak sistemin yeterince pratik olmadığı gerekçesiyle ABD 2006'da projeden çekilmiş, İsrail ise "Iron Beam (Demir Işın)" adı verilen projeye yönelmiştir^[8]. Ancak 2.000'den fazla roket saldırısını önlemekle birlikte, önlediği her roket için yaklaşık 80 bin dolar harcayan Iron Dome sistemi pahalı bulunmaktadır^[83]. İlk kez 2014'te tanıtılan Iron Beam, İsraili şirket Rafael tarafından geliştirilmektedir. İsraili topraklarını roket, top ve havan topu saldırılarından korumayı amaçlayan ve 2011'de kullanılmaya başlanan sistemin saldırıların yüzde 90'ında başarılı olduğu bildirilmiştir^[84]. Iron Beam'in lazer gücünün 100 KW'nin üzerine çıkarılacağı belirtilmektedir^[85].

İsrail’de deniz platformları için de yüksek enerjili lazer sistemi geliştirme çalışmaları sürmektedir. Elbit şirketi Elop adını verdiği bir katı hal lazerli sistemi geliştirdiğini duyurmuştur. Sistemin son derece kompakt olduğu belirtilmiştir^[65].

4.6 Almanya 100 KW Lazere Çok Yakın

YES çalışmalarında son yıllarda Alman şirketlerinin başarılı test denemeleri dikkat çekmektedir. Savunma şirketi Rheinmetall, Mayıs 2019’da 100 KW’a kadar güce sahip lazer sistemlerini taşıyabilecek bir lazer silah istasyonu geliştirdiğini duyurdu. Aynı şirket Aralık 2018’de 20 KW gücünde bir lazer silahını denemiştir. Geliştirilen yeni lazer silah istasyonunun boyutlarının kara, hava ve deniz platformlarına uygunluk gösterebileceği belirtilmiştir^[66].

4.7 Türkiye’nin YES Envanteri Çeşitleniyor

Savunma alanında stratejik özerkliğe kavuşmak, ulusal savunma sanayiini uluslararası alanda rekabet edebilir hale getirmek için son yıllarda atılan adımlar Türkiye’nin modern savunma sistemleri geliştiren ve ihraç eden sayılı ülkeler arasında sayılmasını sağlamıştır. Türk savunma sanayii bugün kara, hava ve denizde tüm harp unsurlarının ihtiyacı olan modern silah ve elektronik sistemlerini üretebilmektedir. Buna yönlendirilmiş enerji silah sistemleri de dahildir.

Bunun son örneği ROKETSAN’ın geliştirdiği yönlendirilmiş enerji silah sistemi AKKA’dır. Roketsan’ın Mayıs 2019’da tanıttığı AKKA, hava araçları (İHA) ve meskûn mahallerdeki bombalı tuzaklar ile yol kenarlarına yerleştirilen el yapımı patlayıcıların güvenli uzaklıktan imha edilebilmesi için geliştirilmiş bir lazer platformudur. AKKA’nın lazer menzili 500 metredir ve 1 kilometre menzilli elektronik tahrir sistemine de sahiptir.

Türkiye’de savunma amaçlı kısa menzilli bir lazer silahı geliştirilmiştir. ASELSAN’ın Lazer Savunma Sistemi (LSS), 500 metre menzile kadar, insansız araçlarla yapılacak saldırılara, 200 metre ve üzeri mesafede EYP (el yapımı patlayıcı) ve şüpheli paketlere karşı geliştirilmiştir^[87].

ASELSAN, bir de yüksek enerjili mikrodalga sistemi geliştirmiştir. “Ejderha” adı verilen sistem tek darbe veya bir dizi darbe aracılığı ile kısıtlı bir süre boyunca, yüksek güçlü elektromanyetik (EM) ışına yapabilmektedir. Yüksek güçlü mikrodalga kaynakları tarafından üretilen elektromanyetik enerji, hedef alınan elektronik cihazların çalışmasının engellenmesi, hatalı çalışmaya sevk edilmesi veya hasara uğratılarak çalışamaz hale getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ejderha özellikle el yapımı patlayıcıları etkisiz kılmakta başarı göstermiştir. Ejderha istihbarat amaçlı kullanılan elektronik cihazları da yok edebilmektedir^[88].

Yönlendirilmiş enerji silahlarının TSK’ya kazandırılması için başlatılan çalışmaların hedefinde bir de elektromanyetik top bulunmaktadır. Bu amaçla Savunma Sanayii

Başkanlığı ve Anadolu Yönlendirilmiş Enerji Teknolojileri A.Ş. (YETEKNOLOJİ) arasında Mayıs 2018’de bir anlaşma imzalanmıştır. Anlaşma ile YETEKNOLOJİ’nin prototipini ürettiği ve ŞAHİ 209 adı verilen silah 2018’in Temmuz ayında Savunma Sanayii Başkanlığı tarafından tedarik edilmiştir^[89].

ŞAHİ 209, yüksek akımla oluşturulan manyetik alanı, mühimmat ya da mermiyi ses hızının beş katı gibi çok yüksek hızlarla itebilmektedir^[90]. 1000 gramlık hipersonik hızlı bir mermiyi 50 kilometre menzile ulaştırabilen Şahi 209 Blok-2’nin testleri de sürmektedir^[91].

5. SONUÇ

Yönlendirilmiş enerji silahlarının ve sistemlerinin geliştirilmesi yönündeki çabalar bu sistemlerin henüz “Geleceğin silahları” nitelemesinden çıkmadığını ancak, teknoloji geliştirme aşamasına gelindiğini göstermektedir. Yürütülen programların takvimleri, gelişmiş ve etkili YES sistemlerinin 2020’lerin ilk yarısında prototip aşamasına gelebileceğini, 2030 ve sonrasında da tam operasyonel hale gelebileceğini göstermektedir.

Ancak başta hız ve düşük maliyet olmak üzere YES sistemlerinin sahip olduğu avantajlarla, yakın gelecekte, tıpkı otonom nesnelere (İHA’lar, otonom araçlar ve robotlar), enformasyon teknolojisi (Yapay zekâ, büyük veri, nesnelere interneti vb) ve uzay teknolojisi gibi, harp alanlarında orduların vazgeçilmez bileşeni olacağını tahmin etmek güç olmayacaktır. Uzun menzilli ve yüksek isabet hassasiyetli YES sistemleri, sivil kayıpları en aza indirerek, uluslararası kamuoyunun askeri operasyonlara tepkilerinin azalmasına neden olabilecek niteliktedir.

Nükleer ve balistik füzelerin yaygınlaştığı; siber tehditlerin arttığı; terörizm ve asimetrik savaş taktiklerine sıklıkla başvurulduğu, küçük sürat teknolojileriyle saldırıların çoğaldığı, silahlı İHA sistemlerinin ve İHA sürülerinin kullanımının yaygınlaştığı günümüzde, mevcut kinetik sistemlere oranla çok daha düşük maliyet ve ışık hızında savunma imkânı tanıyan YES sistemlerine ilginin artması tesadüfi değildir.

Öte yandan öldürücü olmayan ancak fizyolojik ve psikolojik etkiler yaratan YES sistemlerinin kullanımı ile YES sistemlerinin uzaya taşınması gibi konular gelecekte üzerinde çokça tartışma yaratacak niteliktedir. Her teknolojik yenilik gibi YES de kendi hukukunu yaratmak zorunda kalabilir.

Ne var ki konvansiyonel silah sistemlerinin çağın tehditlerine yanıt veremediği bir dönemde evrenin en bol bulunan enerjisi olan elektromanyetik radyasyona dayanan YES teknolojisi en makûl savunma alternatifi olarak ortaya çıkmaktadır. Üstelik YES teknolojisi herhangi bir ülkenin tekeli altına girebilecek nitelikte de değildir. Bu nedenle Türkiye’nin başlattığı YES sistemi geliştirme çabalarının artırılarak sürdürülmesi gereklidir.

KAYNAKÇA

- [1] Obering III, Henry "Trey"; (2018), "3 reasons why the time is now for directed energy", *DefenseNews*, (2 Ağustos 2018), <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2018/08/01/3-reasons-why-the-time-is-now-for-directed-energy/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [2] Rose, Melinda; Hogan, Hank; (2019), "A History of the Laser: 1960 – 2019", *Photonics Media*, (Haziran 2019), <https://www.photonics.com/Article.aspx?AID=42279>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [3] Bilet, Jerome; (2017) "Directed-Energy Weapons, The Oncoming Revolution In Weaponry", *Hartland Capital*, (20 Ocak 2017), http://www.hartlandcapital.com/index_htm_files/Jerome%20Bilet%20--%20Directed-Energy%20Weapons%20%20--%2017%20Jan%202015.pdf. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [4] *Joint Chiefs Of Staff*, (2019), "DOD Dictionary of Military and Associated Terms", (Temmuz 2019), <https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/dictionary.pdf?ver=2018-07-25-091749-087>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [5] *Military Factory*, "directed-energy warfare", https://www.militaryfactory.com/dictionary/military-terms-defined.asp?term_id=1679. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [6] *Tesla Research*, "The 'death ray'", <https://teslaresearch.jimdo.com/death-ray/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [7] Kochems, Alane; Gudgel, Andrew; (2006), "The Viability of Directed-Energy Weapons", *The Heritage Foundation*, (28 Nisan 2006), <https://www.heritage.org/missile-defense/report/the-viability-directed-energy-weapons>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [8] Feickert, Andrew; (2018), "U.S. Army Weapons-Related Directed Energy (DE) Programs: Background and Potential Issues for Congress", *Congressional Research Service*, (12 Şubat 2018), <https://fas.org/spp/crs/weapons/R45098.pdf>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [9] Kendrick, Kip R.; (2018), "Army looks to optimize lethality with high-energy lasers", *Army.mil*, (8 Şubat 2018), https://www.army.mil/article/200308/army_looks_to_optimize_lethality_with_high_energy_lasers. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [10] Olson, Melissa; (2012), "History of Laser Weapon Research", *dtic.mil*, <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a557756.pdf>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [11] Wang, Brian; (2018), "US targets a megawatt laser by 2023 and then deployment in drones and satellites for hypersonic and ICBM defense", *Next Big Future*, (15 Ağustos 2018), <https://www.nextbigfuture.com/2018/08/us-targets-a-megawatt-laser-by-2023-and-then-deployment-in-drones-and-satellites-for-hypersonic-and-icbm-defense.html>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [12] Sheehan, Kathy; (2010), "Lasers as Weapons", *Spie*, (1 Nisan 2010), <https://spie.org/news/spie-professional-magazine/2010-april/lasers-as-weapons?SSO=1>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [13] Roblin, Sebastien; (2017), "The Coming Laser Wars?", *National Interest*, (3 Temmuz 2017), <https://nationalinterest.org/blog/the-buzz/the-coming-laser-wars-21401>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [14] *Boeing*, (2014), "Boeing Laser Demonstrator Destroys Targets through Wind and Fog", (4 Eylül 2014), <https://boeing.mediaroom.com/2014-09-04-Boeing-Laser-Demonstrator-Destroys-Targets-through-Wind-and-Fog>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [15] Boyraz, İsmail; Yıldız, Ahmet; (2016), "Lazer Çeşitleri ve yüksek yoğunluklu lazer kullanımı", *Dergipark*, (16 Haziran 2016), <https://dergipark.org.tr/download/article-file/270657>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [16] *Wikiwand*, "Dazzler (weapon)", [https://www.wikiwand.com/en/Dazzler_\(weapon\)](https://www.wikiwand.com/en/Dazzler_(weapon)). (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [17] *United Nations Treaty Collection*, (1995), "Disarmament", (30 Haziran 1995), https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVI-2-a&chapter=26&clang=en. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [18] Ross, Valerie; (2011), "'StunRay,' a Light Weapon That Overstimulates the Brain", *Discover*, (5 Nisan 2011), <http://blogs.discovermagazine.com/sciencenotfiction/2011/04/05/stunray-a-light-weapon-that-overstimulates-the-brain/#.XTjgp-j7Qae>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [19] Miley, Jessica; (2019), "Russia Deploys Powerful Light Weapons That Make Enemies Hallucinate", *Interesting Engineering*, (6 Şubat 2019), <https://interestingengineering.com/russia-deploys-powerful-light-weapons-that-make-enemies-hallucinate>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [20] Keller, John; (2018), "Project moves forward to use UAV laser weapons to destroy enemy ballistic missiles in boost phase", *Military&Aerospace Electronix*, (4 Eylül 2018), <https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/16726633/project-moves-forward-to-use-uav-laser-weapons-to-destroy-enemy-ballistic-missiles-in-boost-phase>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [21] *Grand View Research*, ("Directed Energy Weapons Market Analysis, Market Size, Application Analysis, Regional Outlook, Competitive Strategies, And Segment Forecasts, 2015 To 2022", <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/directed-energy-weapons-market>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [22] Arslan, Mücahit; (2017), "Katı Hal Lazerleri Nedir", *Mühendis Beyinler*, (9 Ekim 2017), <https://www.muhandisbeyinler.net/kati-hal-lazerleri-nedir/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [23] *Machinery Market*, (2013), "Decision time - fibre laser or CO2?", (Kasım 2013), <https://www.machinery-market.co.uk/news/4640/digital.aspx>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [24] Szondy, David; (2018), "Laser weapons: Is this the dawn of the death ray?", *New Atlas*, (21 Mart 2018), <https://newatlas.com/laser-weapons-future-warfare/52801/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [25] *Savunma Sanayii Dergilik*, (2019), "TÜBİTAK BİLGEM'in lazer silah sistemleri", (13 Mayıs 2019), <http://ssdergilik.com/tr/Haber-Dergilik/TuBITAK-BiLGEM-in-lazer-silah-sistemleri>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [26] Kramnik, Ilya; (2010), "How Real Is The Threat Of Laser Weapons", *Space Daily*, (24 Şubat 2010), http://www.spacedaily.com/reports/How_Real_Is_The_Threat_Of_Laser_Weapons_999.html. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [27] *Northrop Grumman*, "Chemical High-Energy Laser Systems", <https://www.northropgrumman.com/Capabilities/ChemicalHighEnergyLaser/Pages/default.aspx>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [28] *Defense Update*, (2009), "Boeing Launches Free Electron Laser (FEL) Weapon Demonstrator to Protect Future All-Electric Vessels", (16 Nisan 2009), https://defense-update.com/20090416_fel_160409.html. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [29] Akulov, Andrei; (2017), "Analysis: Advantages and Disadvantages of US Seaborne Laser Weapon System", *Strategic Culture Foundation*, (20 Temmuz 2017), <https://www.strategic-culture.org/news/2017/07/20/analysis-advantages-disadvantages-us-seaborne-laser-weapon-system/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [30] Osborn, Kris; (2019), "U.S. Navy Stealth Destroyers Will Soon Be Armed with Laser Weapons", *The National Interest*, (16 Mayıs 2019), <https://nationalinterest.org/blog/buzz/us-navy-stealth-destroyers-will-soon-be-armed-laser-weapons-57807>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [31] Zau, Claire; (2018), "Nuclear Pumped Lasers and the Strategic Defense Initiative", (16 Mart 2018), *Stanford University*, <http://large.stanford.edu/courses/2017/ph241/zau2/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)

- [32] Wang, Brian; (2018), "Navy seeking high power microwave weapons against speedboats", Next Big Future, (5 Eylül 2018), <https://www.nextbigfuture.com/2018/09/navy-seeking-high-power-microwave-weapons-against-speedboats.html>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [33] *Defence Point*, (2019), "Directed Energy Weapons Market Report 2019-2029", (20 Şubat 2019), <https://defence-point.com/2019/02/20/directed-energy-weapons-YES-market-report-2019-2029/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [34] New World War, "Introduction to Directed-Energy Weapons", <http://www.newworldwar.org/YESintro.htm>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [35] Guoqi, Ni; Junwei, Lu;, Benqing, Gao; (2005), "Research on High Power Microwave Weapons", *Griffith University*, <https://research-repository.griffith.edu.au/bitstream/handle/10072/2648/30861.pdf>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [36] Ghosh, C.N.; "EMP Weapons", *IDSA*, <https://www.idsa-india.org/an-oct-00-8.html>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [37] Broad, William J.; (2018), "Microwave Weapons Are Prime Suspect in Ills of U.S. Embassy Workers", *The New York Times*, (1 Eylül 2018), <https://www.nytimes.com/2018/09/01/science/sonic-attack-cuba-microwave.html>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [38] Stanford University, "What is a MASER?", <https://einstein.stanford.edu/content/faqs/maser.html>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [39] *New World War*, "High-Powered Microwaves" <http://www.newworldwar.org/hpm.htm>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [40] *U.S. Department of Defense Non-Lethal Weapons Program*, "Active Denial System FAQs", <https://jnlwp.defense.gov/About/Frequently-Asked-Questions/Active-Denial-System-FAQs/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [41] Hambling, David; (2016), "Raytheon's New Radar Tech Could Realize the Pentagon's Pain Ray", *Popular Mechanics*, (4 Nisan 2016), <https://www.popularmechanics.com/military/research/a20264/raytheons-gallium-nitride/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [42] Zohuri, Bahman; (2019), "Directed-Energy Beam Weapons", *Springer*, <https://www.springerprofessional.de/directed-energy-beam-weapons/16863048>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [43] *Sputnik Türkiye*, (2019), "Rus yapımı elektromanyetik süper bomba, ABD'yi endişelendiriyor", (28 Ocak 2019), <https://tr.sputnik-news.com/savunma/201901281037340042-rusya-elektromanyetik-super-bomba-abd/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [44] Erçakır, Mehmet; (2012), "Türk bilim adamları elektromanyetik bomba geliştirdi", *Radikal*, (4 Mayıs 2012), <http://www.radikal.com.tr/turkiye/turk-bilim-adamlari-elektromanyetik-bomba-gelistirdi-1086977/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [45] Mizokami, Kyle; (2019), "The Pentagon Wants to Test a Space-Based 'Particle Beam' by 2023", *Popular Mechanics*, (18 Mart 2019), <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a26858944/pentagon-particle-beam-space-2023/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [46] Ghosh, C.N.; "Directed Energy Weapons", *IDSA*, <https://www.idsa-india.org/an-feb-7-01.html>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [47] Nicholson, Oliver; (1990), "The Death Ray of Nikola Tesla", *Tesla Universe*, (Ocak 1990), <https://teslauniverse.com/nikola-tesla/articles/death-ray-nikola-tesla>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [48] Greenwood, Matthew; (2019), "The Pentagon Wants a Particle Beam Weapon", *Engineering.com*, (4 Nisan 2019), <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/18844/The-Pentagon-Wants-a-Particle-Beam-Weapon.aspx>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [49] Altmann, Jürgen; (2001), "Acoustic Weapons - A Prospective Assessment", *Science & Global Security*, <http://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs09altmann.pdf>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [50] *New World War*, "Sonic Weapons", <http://www.newworldwar.org/sw.htm>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [51] BitCAD Sonic Business System, (2018), "Sonic Weapons", *Medium*, (31 Mart 2018), <https://blog.bitcad.io/sonic-weapons-ddc0d6d688a2>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [52] *Lrad Corporation*, "Fact Sheet", <https://www.lradx.com/about/lrad-public-safety-applications-fact-sheet/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [53] *Hürriyet*, (2008), "Cop yerine LRAD geliyor", (11 Mart 2008), <http://www.hurriyet.com.tr/gundem/cop-yerine-lrad-geliyor-8426503>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [54] Zadeh, Joe; (2014), "A History of Using Sound as a Weapon", *Vice.com*, (30 Temmuz 2014), https://www.vice.com/en_us/article/4x3ajjn/a-history-of-using-sound-as-a-weapon. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [55] Freedberg Jr., Sydney J.; (2015), "The Laser Revolution: This Time It May Be Real", *Breaking Defense*, (28 Temmuz 2015), <https://breakingdefense.com/2015/07/the-laser-revolution-this-time-it-may-be-real/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [56] *Air Force Technology*, "Airborne Laser System (ABL) YAL 1A", <https://www.airforce-technology.com/projects/abl/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [57] *Atomic Heritage Foundation*, (2018), "Strategic Defense Initiative (SDI)", (18 Temmuz 2018), <http://www.atomicheritage.org/history/strategic-defense-initiative-sdi>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [58] *Lexington Institute*, "Directed-Energy Weapons - Technologies, Applications and Implications", <https://www.lexingtoninstitute.org/wp-content/uploads/directed-energy-weapons.pdf>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [59] *Military&Aerospace Electronix*, (2018), "Directed-energy weapons like laser weapons, microwaves, and particle beam weapons are future of defense", (20 Aralık 2018), <https://www.militaryaerospace.com/sensors/article/16712203/directed-energy-weapons-like-laser-weapons-microwaves-and-particle-beam-weapons-are-future-of-defense>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [60] *Army.mil*, (2018), "Army Directed Energy Weapons", (19 Eylül 2018), <https://www.army.mil/standto/2018-09-19>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [61] *Defence IQ*, (2018), "Inside The Rapidly Growing Directed Energy Systems Market", <https://www.defenceiq.com/content-uto-download/5c9b49f93120252ec023c263>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [62] Judson, Jen; (2017), "US Army gets world record-setting 60-kW laser", *Defense News*, (16 Mart 2017), <https://www.defensenews.com/digital-show-dailies/global-force-symposium/2017/03/16/us-army-gets-world-record-setting-60-KW-laser/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [63] Judson, Jen; (2017), "US Army tests laser on Apache helicopter", *Defense News*, (26 Temmuz 2017), <https://www.defensenews.com/2017/06/26/us-army-tests-laser-on-apache-helicopter/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [64] *Global Security*, "AN/SEQ-3 (XN-1) Laser Weapon System (LAWS)", <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/systems/laws.htm>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [65] Hussein, Talal; (2019), "HEL on high water: the top navy laser weapon systems", *Naval Technology*, (1 Nisan 2019), <https://www.naval-technology.com/features/navy-laser-weapon-systems/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [66] Mizokami, Kyle; (2018), "The U.S. Navy Is Funding Lasers and Killing the Railgun (Corrected)", *Popular Mechanics*, (15 Şubat 2018), <https://www.popularmechanics.com/military/research/a17764166/navy-four-laser-weapons/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [67] *PR Newswire*, (2018), "Lockheed Martin Receives \$150 Million Contract to Deliver Integrated High Energy Laser Weapon Systems to U.S. Navy", (1 Mart 2018), <https://www.prnewswire.com/news-releases/lockheed-martin-receives-150-million-contract-to-deliver-integrated-high-energy-laser-wea>

- pon-systems-to-us-navy-300606676.html. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [68] Eckstein, Megan; (2019), "Navy to Field High-Energy Laser Weapon, Laser Dazzler on Ships This Year as Development Continues", *USNI News*, (30 Mayıs 2019), <https://news.usni.org/2019/05/30/navy-to-field-high-energy-laser-weapon-laser-dazzler-on-ships-this-year-as-development-continues>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [69] Mayfield, Mandy; (2019), "Services Report Progress on Directed Energy Programs", *National Defense*, (19 Haziran 2019), <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2019/6/19/services-report-progress-on-directed-energy-programs>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [70] *Air Force Technology*, "High Energy Liquid Laser Area Defense System (HELLADS) Programme", <https://www.airforce-technology.com/projects/high-energy-liquid-laser-programme/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [71] Liptak, Andrew; (2019), "The US Air Force successfully tested a laser system to shoot down missiles", *The Verge*, (5 Mayıs 2019), <https://www.theverge.com/2019/5/5/18530089/us-air-force-research-laboratory-shield-laser-weapons-system-test>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [72] Freedberg Jr., Sydney J.; (2015), "Air Force Moves Aggressively On Lasers", *Breaking Defense*, (7 Ağustos 2015), <https://breakingdefense.com/2015/08/air-force-moves-aggressively-on-lasers/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [73] *Military Watch Magazine*, (2018), "Russia's A-60 Airborne Laser Laboratory Equipped for Satellite Hunting", (26 Şubat 2018), <https://militarywatchmagazine.com/article/russia-s-a-60-airborne-laser-laboratory-equipped-for-satellite-hunting>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [74] Keller, John; (2015), "New Russian directed-energy weapon could complicate U.S. military strategic planning", *Military&Aerospace Electronics*, (7 Temmuz 2015), <https://www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/16714244/new-russian-directed-energy-weapon-could-complicate-us-military-strategic-planning>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [75] *Russian News Agency*, (2018), "Peresvet combat lasers enter duty with Russia's armed forces", (5 Aralık 2018), <https://tass.com/defense/1034344>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [76] Egorov, Boris; (2017), "A farewell to traditional arms: Russia develops weapons for the future", *Russia Beyond*, (12 Temmuz 2017), https://www.rbth.com/defence/2017/07/12/a-farewell-to-traditional-arms-russia-develops-weapons-for-the-future_801080. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [77] Lin, Jeffrey; Singer, P.W.; (2018), "China's destructive laser rifle has a half-mile range", *Popular Science*, (5 Temmuz 2018), <https://www.popsci.com/china-laser-rifle-energy-weapon/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [78] Panyue, Huang; (2017), "China-made laser air defense system exhibited in Middle East", *Chinamil*, (24 Şubat 2017), http://english.chinamil.com.cn/view/2017-02/24/content_7501822.htm. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [79] *Defence Blog*, (2019), "China discloses new directed-energy weapon development", (4 Nisan 2019), <https://defence-blog.com/army/china-discloses-new-directed-energy-weapon-development.html>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [80] Szondy, David; (2013), "Royal Navy deployed laser weapons during the Falklands War", *New Atlas*, <https://newatlas.com/falklands-laser/28574/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [81] Szondy, David; (2019), "UK expands laser and radio frequency directed energy weapons program", *New Atlas*, (9 Temmuz 2019), <https://newatlas.com/uk-laser-radio-frequency-yes-weapon-demonstrators/60501/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [82] Chuter, Andrew; "UK shoots for new laser weapons against drones, missiles", *Defense News*, <https://www.defensenews.com/global/europe/2019/07/09/uk-shoots-for-new-laser-weapons-against-drones-missiles/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [83] Azulai, Yuval; (2018), "Israel developing new laser missile defense system", *Globes*, (5 Aralık 2018), <https://en.globes.co.il/en/article-defense-ministry-speeds-up-laser-missile-defense-system-development-1001263646>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [84] *Rytheon*, "Iron Dome and SkyHunter Systems", <https://www.rytheon.com/capabilities/products/irondom>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [85] Katz, Allan; (2016), "ALLAN KATZ: 'Iron Beam' enhances U.S., allies' security", *nwi.com*, (10 Mayıs 2016), https://www.nwitimes.com/news/opinion/columnists/guest-commentary/allan-katz-iron-beam-enhances-u-s-allies-security/article_8e6eab3d-bc28-5714-8d98-0b5e2854b508.html. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [86] *Defense Update*, (2019), "Rheinmetall Tests a Weapon Station for Laser Weapons", (1 Mart 2019), https://defense-update.com/20190301_laser_ws.html. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [87] *Aselsan*, "Lazer Savunma Sistemi", https://www.aselsan.com.tr/tr-tr/basin-odasi/Brosurler/Elektro-Optik-Sistemler/LSS_TR.pdf. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [88] *Aselsan*, "Ejderha Yüksek Güçlü Elektromanyetik Sistem", <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/elektronik-harp-sistemleri/elektronik-harp-istihbarat-ve-taarruz-faaliyet-alani/ejderha-yuksek-guclu-elektromanyetik-sistem>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [89] *Akşam*, (2018), "Türkiye'nin elektromanyetik silahı: ŞAHİ 209", (19 Ekim 2018), <https://www.aksam.com.tr/ekonomi/turkiye-nin-elektromanyetik-silahi-sahi-209/haber-784823>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [90] Ertuş, Gökhan; (2018), "Türkiye'nin elektromanyetik silahı: ŞAHİ 209", *Star*, (19 Ekim 2018), <https://www.star.com.tr/teknoloji/dunyada-sadece-4-ulke-sahip-turkiyenin-elektromanyetik-silahi-sahi-209-haber-1397387/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)
- [91] *Milli Savunma*, (2019), "ŞAHİ 209 BLOK 2", (31 Mart 2019), <http://www.millisavunma.com/sahi-209-blok-2/>. (Erişim Tarihi: 2 Eylül 2019)



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

