

YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ SİLAHLARI

Taylan SİPAHİ^{1,2}
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii (TUSAŞ),
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi,
Ankara

Kübra Nur AKGÜN³
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi,
Ankara

ÖZET

Yönlendirilmiş enerji silahları, son derece odaklanmış enerji ile hedefine zarar veren menzilli silahlardır. Tür ve kullanım alanı bakımından zengin olan bu silahlar, günümüzde yaygın olmasa da gelecekte savaş alanlarında yerini alacaktır. Bu teknolojiler, askeri, güvenlik ve savunma alanlarında kullanılmaktadır. Ancak, uluslararası anlaşmalar ve etik kaygılar nedeniyle sınırlamalara tabidir.

GİRİŞ

YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ

Yönlendirilmiş enerji (YE) kavramı, belirli bir güç ve yoğunluğa sahip elektromanyetik enerji üreten teknolojileri kapsayan genel bir terimdir.

YE sistemi, yönlendirilen bu enerjiyi öncelikle düşman ekipmanını, tesislerini ve personelini devre dışı bırakmak, hasar vermek veya yok etmek için kullanır.

Askerî alanda belirli bir gelişmişlik seviyesine sahip ülkeler (Ör: Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Birleşik Krallık (İngiltere), Rusya, Çin Halk Cumhuriyeti, Hindistan, İsrail, Fransa Cumhuriyeti, Kore Cumhuriyeti (Güney Kore) ve Türkiye Cumhuriyeti dâhil olmak üzere diğer ulusların tümü) doğrudan enerji sistemlerine ilişkin uzun süredir devam eden araştırma ve geliştirme (AR-GE) çalışmaları yürütmektedir. Bu rapor ile birlikte nihai hedefimiz ilgili kuvvet komutanlıkları envanterinde yakın, orta ve uzak gelecekte yer bulma olasılığı çok yüksek olan, YE sistem uygulamaları ve zorlukları hakkında bir giriş sağlanmasıdır.

Günümüzde bilim ve teknolojiye çok hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Bunlardan bazıları biyoteknoloji, nanoteknoloji ve YE'ye bağlı teknolojik tehditlerin algılanarak gerekli önlemlerin alınmasıdır. Bu bağlamda YE bazı geleneksel zorluklarla karşı karşıya kalırken; dönüşümsel bir oyun değiştirici olmayı vaat etmektedir.

Yakın zamana kadar enerjiyi tam olarak belirlenmiş bir noktaya odaklayabilen ve (ayarlanabilir) tek dalga boylu (monokromatik) ışık huzmeleri yayacak şekilde tasvir edilebilecek olan lazer sistemleri çoğunlukla, düşman optiklerini etkisiz hale getirmek için tasarlanmış kinetik silahların veya göz kamaştırıcıların kabiliyetini ve etkinliğini artırmak için tasarlanmış menzil bulma sistemleri olarak savunma sanayi platformlarında yer bularak ilerleyen bir katkı sağlamış olsa da; artık yerini yavaş yavaş dolaylı yollardan daha ziyade birincil silahların kendisi olarak karşımıza çıkacak şekilde yenilemektedir. Sonuç olarak da son teknolojik gelişmeler, lazerleri YE uygulamaları için önde gelen bir aday haline getirmiştir. YE teknolojileri hızla ilerlemekte ve artık askerî amaçlarla uygulanmaya başlamaktadır. YE sistemleri, askerî alanda gelişmiş ülkelerin ulusal güvenlik önceliklerini destekler nitelikte olup; örneğin ABD Ordusu için Pentagon, YE yeteneklerini artırmanın ve bütün (kara, hava, deniz ve uzay platformları olmak üzere) bu sayede de askerî bir avantaj sağlamanın yollarını keşfetmenin yollarını aramaktadır.

¹ Teknoloji Geliştirme Kıdemli Lider Mühendisi, E-posta: taylan.sipahi@tai.com.tr

² Dr. Misafir Öğr. Üyesi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: taylan.sipahi@aybu.edu.tr

³ Lisans Öğrencisi, Havacılık ve Uzay Müh. Böl., E-posta: 22110111051@aybu.edu.tr

YE, uzayda balistik füze, elektrikli tahrik, yönlendirilmiş enerji silah (YES) sistemleri, uzay tabanlı silahlar, taktik savunma, güç ışınlaması, eklemeli imalat, yönlendirilmiş enerji biriktirme, yönlendirilmiş enerji transferi, küresel bilgi ızgarası ve gezegen savunması gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu çerçevede ilgili YES sistemleri ve özellikle yüksek güçlü lazer silahları bu raporun ana kapsamı olarak belirlenerek teknik inceleme konusu olacaktır.

Yönlendirilmiş Enerji Silahları(YES)

Askerî personel, savaş alanındaki avantajlarını artırmak için genellikle teknolojiye yararlanmak ister. Hassas silahlar, uydular, GPS ve gelişmiş iletişim gibi bazı kilit teknolojiler gelişmiş ülkelerin üstünlüğünü sağlamaktadır.

Alışla gelmiş (kinetik) silahlar teknik kapasitelerinin zirvesine yaklaşırlarken, gelişmiş ordu gücüne sahip ülkelerin önümüzdeki yıllarda AR-GE tabanlı akıllı yatırımlar yaparak yeni nesil silah teknolojilerinde sahip olduğu üstünlüklerini devam ettirmeyi hedeflemektedir. Şekil 1'de kara, hava, deniz ve uzay unsurlarının hepsini içeren [Lazov, Teirumnieks, Ghalot,2021] YES sistemleri bu açıdan çok büyük bir potansiyele sahip olarak ön plana çıkmaktadır.



Şekil 1. YES için olası saha senaryosu örneği

Kimyasal veya elektriksel enerji türlerini yayılan enerjiye dönüştürebilen ve onu bir hedefe odaklayabilen elektromanyetik sistemler olan YES belirlenen unsurlar üzerinde ölümcül veya ölümcül olmayan arzu edilen bir etki için bu enerjiyi bir hedefe aktarır. Belirtilen bu enerji, lazer (ilk bulunduğu zamanlar da olduğu üzere mazer), elektromanyetik ışınım, yüklü ya da parçacık demetleri, plazma, ses dalgası vb. gibi çeşitli biçimlerde olabilir.

YES sistemleri yayılan enerjiye dayandığından, bunları kullanan askerî personelin belirli bir sonuç elde etmek için bu ışıktan olabildiğince verimli şekilde yararlanabilmesi gerekmektedir. Havadaki bir YES sisteminin etkinliği, bir hedefe yeterli güç yoğunluğuna sahip elektromanyetik radyasyon iletme kabiliyeti ile belirlenir.

YES sistemlerinin çok yakında savunma sanayi unsurlarında geniş bir alana yayılması çok beklenmeyen bir sonuç olmayacaktır. Bu sistemlerinin alışla gelmiş silahlara göre hassasiyet, canlılara zarar verme seçeneğinin yanı sıra yüksek caydırıcılık kabiliyetleri atış başına düşük

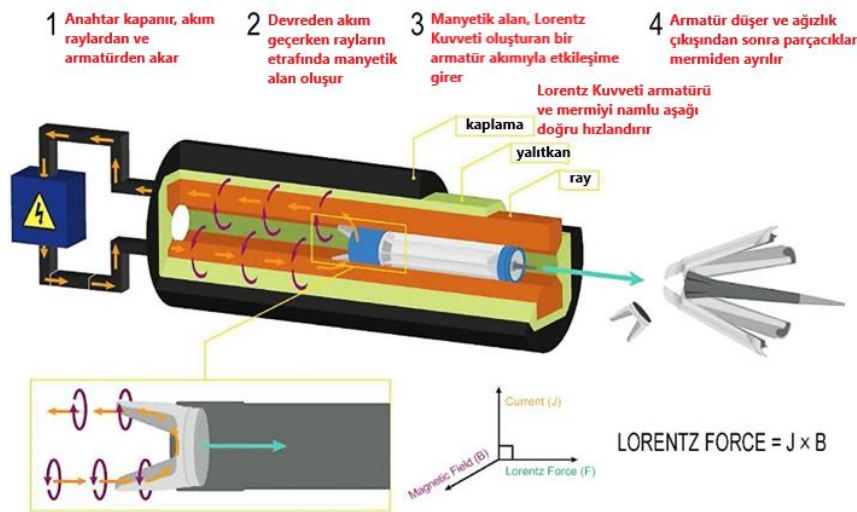
maliyet ve ölçeklenebilir etkiler gibi öne çıkan artı yönleri de göz önünde bulundurulduğunda sahada yer bulmalarının gerekli teknolojik alt yapı ve yetişmiş personel bulunması gibi durumlar sağlanması ile birlikte kullanımlarının ivmelenerek artacağı kaçınılmazdır. Olası düşman balistik füzelerine karşı uygun maliyetli bir karşı koyma işlevi ve kitle imha silahlarının kullanmasının engellenebilirliği açısından ele alındığı takdirde YES sistemleri çok daha somut bir örnek hâline gelecektir.

YES türlerini lazer, mikrodalga, parçacık demeti, plazma ve ses demeti silahları olmak üzere 5 ana başlıkta incelemek mümkündür. Bunlar: Düşük/Orta/Yüksek güçlü lazer (D/O/YGL) silahı, elektromanyetik silahlar (Elektromanyetik raylı tabanca (EMRT), yüksek güçlü mikrodalga (YGM) silahı, elektromanyetik atım (EMA) bombası, aktif caydırma sistemi (ACS), elektroensefalografi (EEG) silahı, yüklü ya da yüksüz parçacık silahı, plazma silahı ve yüksek güçlü ses dalgası silahı bulunur. Yüksek enerjili bir lazerden, mikrodalga ışınından ya da parçacık ışınından hedef gelen ölümcül enerji, hedefin optoelektronik cihazlarının nötralizasyonuna sebep olabilir ya da doğrudan yapısal hasar bırakabilir [Zohuri, 2019].

İlgili silahlar raporun bu bölümünde saldırı, savunma, caydırma ve karşı koyma özellikleri doğrultusunda ayrıntılı olarak incelenecektir.

Elektromanyetik (EM) Silahlar

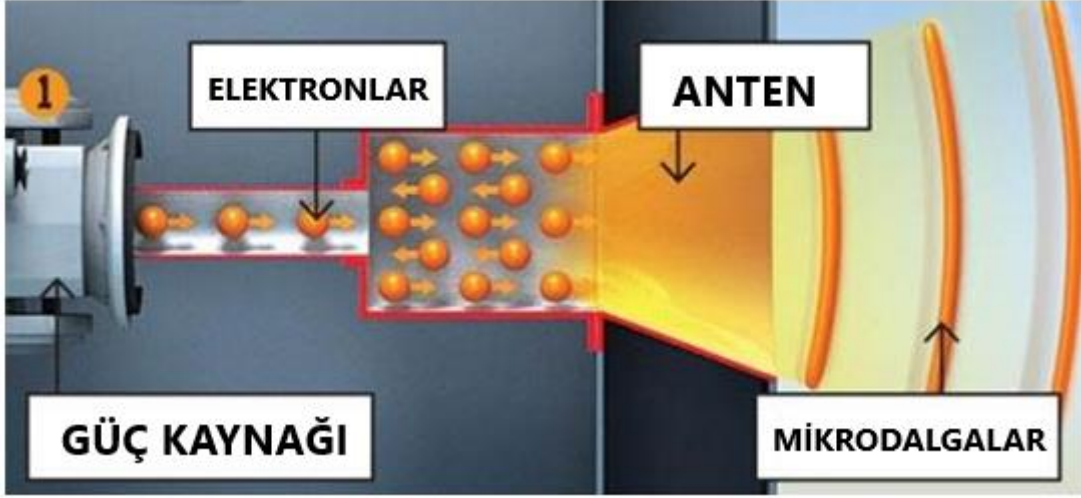
Elektromanyetik Raylı Tüfek (EMRT): Dolaylı olarak da olsa odaklanmış YE ile hedefine hasar veren bir silahtır. Kimyasal etkileşim sonucu oluşacak patlamada kullanılan gazlar yerine elektrik akımının kullanılması sayesinde üretilen manyetik alan sonucu oluşturulan itki kuvveti ile mermilerin atılması sağlanır. Kimyasal patlayıcılar ile çalışan silahlar, ~2 km/s'den (Mach 5.9) daha yüksek bir namlu çıkış hızına kolayca ulaşamazken, EM raylı tüfekler kolayca 3 km/s'yi (Mach 8.8) geçebilir ve menzil olarak ortalama 100 deniz miline sahiptir. Bu teknolojinin çeşitli uygulamaları mevcuttur. Geleceğin raylı silahları dakikada 10 atış yapacak ve otomatik olarak yeniden yüklenecek şekilde tasarlanmaktadır.



Şekil 2. Elektromanyetik Raylı Tüfek (EMRT) çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Yüksek Güçlü Mikrodalga (YGM) Silahı: Askerî veya sivil olabilecek hedeflere radyo frekansı (RF) dalgaları veya mikrodalgalar yayarak etkisiz hâle getirme ilkesine dayalı başka bir YES teknolojisidir. HPM kaynaklarına genellikle 100 kilovolt [kV] ile 1 megavolt [MV] aralığında uygulanan gerilim farkına sahip atımlı güç sistemleri tarafından enerji verilir. Yakındaki sivillere doğrudan zarar vermeden neredeyse tüm elektronik sistemlere saldırabilecek kabiliyete sahip olan [Wilson, 2008]

YGM'lerin kullanıma örnek olarak ABD uçaklarını karadan havaya füzelere karşı savunmak için kullanılması düşünülebilir.



Şekil 3. Yüksek Güçlü Mikrodalga (YGM) silahının çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Elektromanyetik Atım (EMA) Bombası: Elektromanyetik atım (EMA) silahı, korumasız altyapıyı bozmak için tasarlanmış yüksek enerjili bir elektromanyetik dalga patlaması ile geçici bir bozulma olarak düşünülebilir.

Bir EMA silahının neden olduğu elektromanyetik etkileşim, iletişimi bozar ve elektronik ekipmana zarar verir; daha yüksek enerji seviyelerinde (Ör: Yıldırım çarpması vb.) bir EMA, bina, uçak vb. nesnelere fiziksel olarak zarar verebilir; savaş zamanında en olası kullanımı ise hedefin elektrik şebekesini devre dışı bırakmak olacaktır.

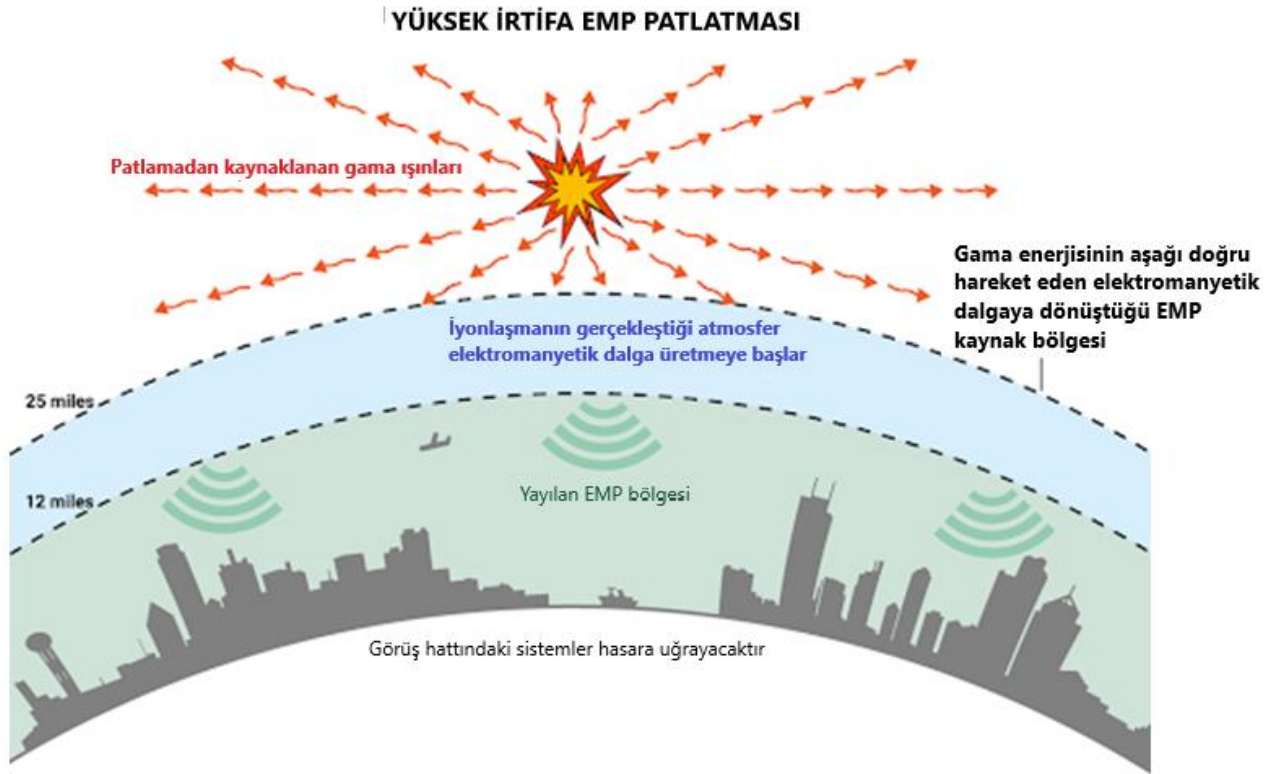
Kaynağa bağlı olarak bir EMA doğal veya yapay olabilir ve elektromanyetik alan, elektrik alan, manyetik alan veya iletilen elektrik akımı olarak ortaya çıkabilir.

Bu rapora konu olabilecek askerî kullanım amaçlı insan yapımı silah etkileri olan EMA türleri şunları içerir:

- Bir nükleer patlamanın sonucu olarak nükleer elektromanyetik atım (NEMA) silahı. Bunun bir çeşidi, Dünya'nın atmosferi ve manyetik alanıyla parçacık etkileşimlerine bağlı olarak ikincil bir darbe üreten yüksek irtifa nükleer EMA'dır (YİNEMA).

- Nükleer olmayan elektromanyetik atım (NOEMA) silahı.

Yüksek İrtifa Nükleer Elektromanyetik Atım (YİNEMA) Bombası: NEMA, bir nükleer patlamadan kaynaklanan ani elektromanyetik ışın atımıdır. Ortaya çıkan hızla değişen elektrik alanları ve manyetik alanlar, elektrik/elektronik sistemlerle birleşerek zararlı akım ve gerilim farkı (voltaj) dalgalanmaları oluşturabilir [Miller,2005]. NEMA bombaları, birincil hasar mekanizması gibi EMA etkilerini en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmıştır ve bazıları geniş bir alanda hassas elektronik ekipmanı yok etme yeteneğine sahiptir.



Şekil 4. YİNEMA bombasının çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Yüksek İrtifa Nükleer Elektromanyetik Atım (YİNEMA) Bombası: Dünya yüzeyinin çok üzerinde patlatılmak üzere tasarlanmış bir NEMA savaş başlığıdır. Patlama orta stratosfere bir gama ışını patlaması yayar, bu da ikincil bir etki olarak iyonlaşır ve ortaya çıkan enerjik serbest elektronlar, düşük irtifalarda daha yoğun havada normalde üretilenden çok daha güçlü bir EMA üretmek için Dünya'nın manyetik alanıyla etkileşime girer. Diğer bir ifade ile yayılan yoğun gama radyasyonu ayrıca çevredeki havayı iyonize ederek, hava atomları önce elektronlarını kaybedip sonra geri kazandıklarından ikincil bir EMA oluşturabilir[Miller, 2005].

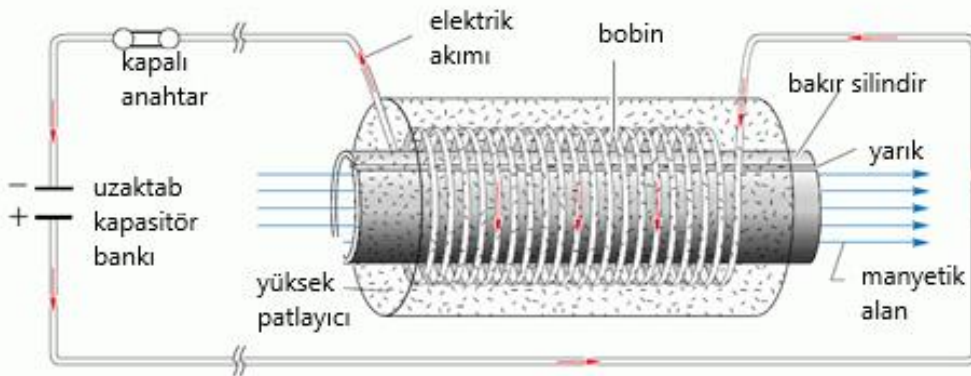
Nükleer Olmayan Elektromanyetik Atım (NOEMA) Bombası: NOEMA, nükleer teknoloji kullanılmadan üretilen bir elektromanyetik atımdır. Bu amaca ulaşabilecek cihazlar arasında, tek döngülü bir antene boşaltılan büyük bir düşük endüktanslı kapasitör bankası, bir mikrodalga üreticisi ve patlayıcı olarak pompalanan bir akı sıkıştırma üreticisi bulunur.

Darbenin hedefe en uygun şekilde bağlanması için gereken frekans özelliklerini elde etmek adına, darbe kaynağı ile anten arasına dalga şekillendirici devreler veya mikrodalga üreteçleri eklenir. Virkatörler, yüksek enerjili darbelerin mikrodalgaya dönüştürülmesi için özellikle uygun olan vakum tüpleridir. NOEMA üreteçleri, azaltılmış mekanik, termal ve iyonlaştırıcı radyasyon etkileriyle, ancak nükleer silahların konuşlandırılmasının sonuçları olmadan, bombalar, seyir füzeleri (Ör: CHAMP füzesi vb.) ve insansız hava araçları yükü olarak taşınabilir.

NOEMA silahlarının menzili (YİNEMA'dan daha düşük olmak ile birlikte) çok geniştir. Silah olarak kullanılan neredeyse tüm NOEMA cihazları, ilk enerji kaynakları olarak benzer ağırlıktaki nükleer patlayıcıların enerjisinin yalnızca milyonda birini (10^{-6} mertebesinde) üreten kimyasal patlayıcılar gerektirir. NOEMA silahlarından gelen EMA, silahın içinden gelmelidir, nükleer silahlar ise ikincil bir etki olarak EMA üretir. Bu gerçekler, NOEMA bombalarının menzilini sınırlar, ancak daha iyi hedef ayırımına da izin verir.

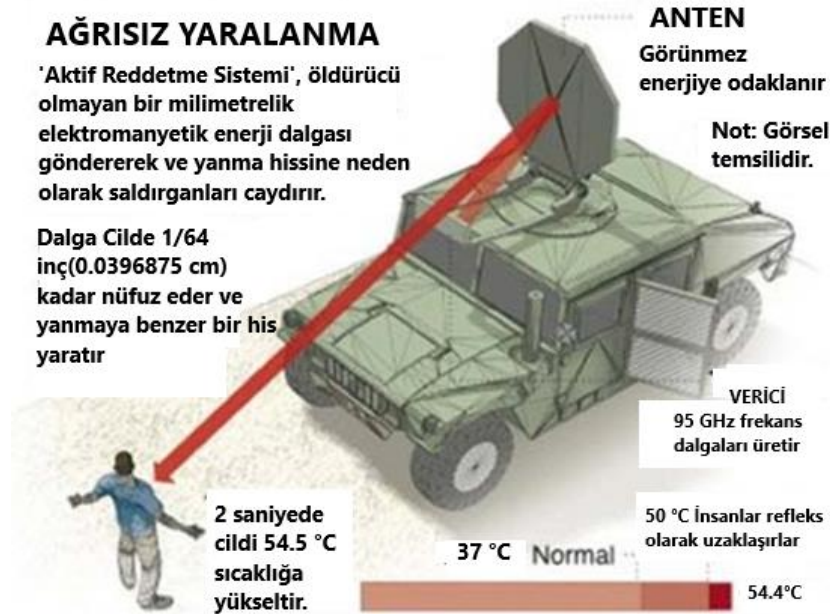
Küçük boyutlu bir NEOMA bombasının etkisinin belirli askerî operasyonlar için yeterli olduğu kanıtlanmıştır. Bu tür operasyonların örnekleri arasında, birçok kara aracının ve uçağın çalışması için kritik olan elektronik kontrol sistemlerinin imhası yer alır [Pry, 2015].

Bir NOEMA oluşturmak için patlayıcı olarak pompalanan akı sıkıştırma üretici konsepti, 1950'li yılların yılında Sovyetler Birliği'nde tasarlanmış; fakat diğer ülkelerde benzer fikirler ortaya çıkana kadar NOEMA üzerindeki çalışmaları gizli tutmuştur.



Şekil 5. NEOMA bombasının çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Aktif Caydırma Sistemi (ACS): Bir kişi veya bir grup insana yoğun ağrıya neden olan son derece yüksek frekanslı (95 GHz) ve odaklanmış dalgalar gönderme ilkesine göre çalışan ACS, Raytheon Şirketi tarafından tasarlanmış ve test edilmiş; sahada ve savaşa hâlihazırda kullanılabilir bir YES silahıdır. Hedeflenen enerji, cilt yüzey sıcaklığının yükselmesine ve birkaç saniye içinde o kadar rahatsız edici hale gelmesine neden olur ki; insanlar hedef bölgeyi terk etmek zorunda kalır [Kumar, Singh, Singh ve Sinha, 2011].



Şekil 6. Aktif caydırma sisteminin (ACS) çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Elektroansefalografi (EEG) Silahı: İnsan beynindeki nöronlar vücut fonksiyonlarıyla ilişkili olarak elektriksel aktivite üretirler. Oluşan potansiyel dağılımı, saçlı deri üzerine yerleştirilen elektrotlar ile ölçülmesine elektroansefalografi (EEG) denir. EEG sinyalleri; anlık olaya ilişkin veya uyarılmış potansiyel kayıtları ile ilişkili olabilmekte ve tetikte olma, dinlenme veya uyku durumlarında değişmektedirler. Bazı dalgalarının (μ ve P300) işlenmesiyle dış dünya ile iletişim kurulabilmekte ve bilgisayar ya da başka bir cihazın kontrolü yapılabilmektedir.

Bu sistemler insan beyin ara yüzleri ya da etkileşimleri (İBAY/E) olarak geniş uygulama alanı bulmaktadır. Beyindeki oksijenlenme fonksiyonel yakın kızılaltı spektroskopisiyle (fYKAS) gözlemlenebilmektedir. Bu sistemlerin kullanımıyla yüksek dikkat gerektiren görevlerde çalışan personelin beyin fonksiyonlarının takibi mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada EEG ve fYKAS'ın askerî amaçlı olarak kullanılabileceği önerilmektedir. Baskı altında hızlı ve doğru karar vermek

zorunda kalınan ve bilinç kaybının yaşanabildiği jet pilotluğu gibi görevlerde, hassas bölge ya da cihazlar için takip ve kontrol görevi yapan personelin durumları, bir merkez tarafından izlenerek gerektiğinde ikaz edilebilmeleri, görevin tam olarak yapılmasını destekleyecektir. Ayrıca EEG sinyallerinin, savaş sonrasında gazilerin beyin travmalarının incelenmesinde, beyin fonksiyonları normal olan ancak konuşma ve hareket zorluğu çekenlerin yaşamlarını kolaylaştırmak için iletişim ve kontrol için kullanılması mümkündür.

Gelişen teknoloji ile beraber gündeme gelen ağ merkezli savaş (AMS) teriminin bir girdisi olarak ilgili personelin alandaki verimliliğine yönelik olarak, nabız, vücut sıcaklığı ve dikkat durumlarını anlık ölçebilecek; elbiseye monteli veya giyilebilir küçük elektro fizyolojik ölçme sistemlerinin geliştirilmesi mümkündür. Ölçülen biyolojik sinyaller sınıflandırılarak askerî personelin fizyolojik durumu takip edilebilecektir. EEG sinyallerinin askerî amaçlı uygulamalarında sinyallerin sınıflandırılması konusu öne çıkmaktadır. EEG sinyalleri askerin dikkat durumu, bilinci, yorgunluk ve uykusuzluğu takip edilerek muharebede karar vermeye destek olarak kullanılabilir. Ölçülen her bir sinyalden belirgin özellik çıkarılmasına yetecek sayıda kullanılacak sözgelimi başlığa monteli elektrotlarla; yüksek hassasiyet gerektirecek görev yapan personelin, zihinsel etkinliğine dayalı eylemleri takip edilebilecektir.



Şekil 7. EEG silahının çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Yüklü ya da Yüksüz Parçacık Silahı

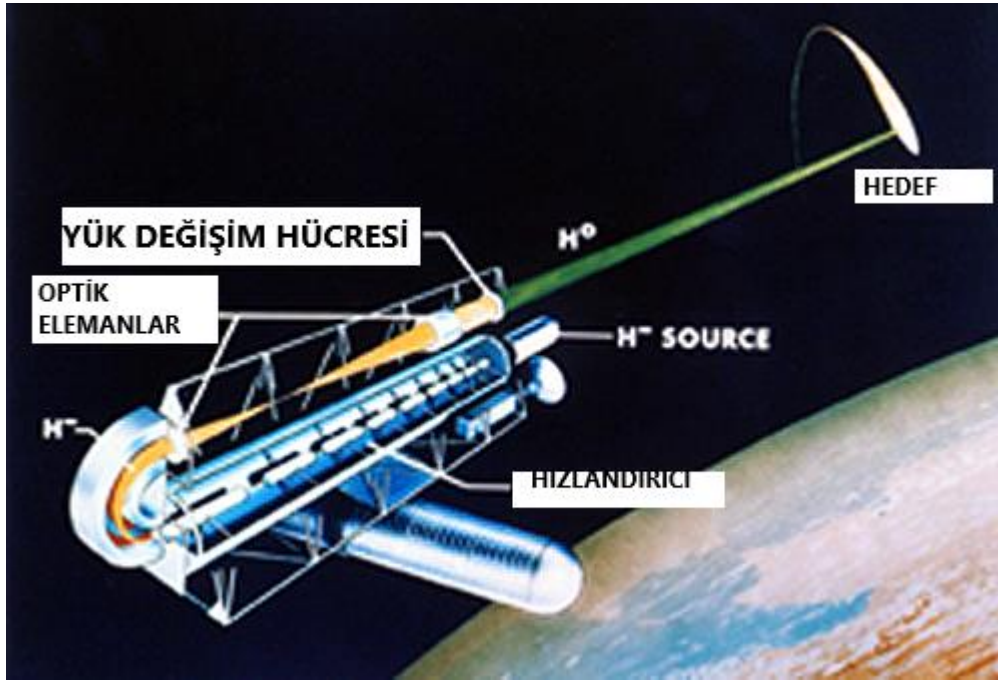
Parçacık ışını silahını (PBW) diğer yönlendirilmiş enerji silahlarından ayıran özelliği yaydığı enerji şeklidir. Parçacık ışını silahlarının birçok çalışma şekli vardır fakat bu cihazların hepsi yeterli miktarda atomaltı parçacık ya da atomu ışık hızına yakın hızlandırdıktan sonra bu parçacık ışınlarını odaklayarak yüksek enerjili parçacık ışını yaratarak yıkıcı güçlerini üretirler. [Zohuri,2019]

Parçacık ışınli silahlar, yüklü veya nötr parçacıklar kullanabilir ve atmosfer içi veya dış atmosfer olabilir. Işın silahı olarak parçacık ışınları teorik olarak mümkündür, ancak pratik silahlar henüz kanıtlanmamıştır. Belirli tipteki parçacık ışınları, atmosferde kendi kendine odaklanma avantajına sahiptir. Patlama, parçacık ışınli silahlarda da bir sorundur. Aksi takdirde hedefe odaklanacak olan enerji dağılır ve ışın daha az etkili hale gelir:

- Termal ikincil etkiler hem yüklü hem de nötr parçacık demetlerinde meydana gelir ve parçacıklar termal titreşimin etkileri altında birbirine çarptığında veya hava moleküllerine çarptığında meydana gelir.

- Benzer yüke sahip iyonlar birbirini ittiğinden, elektrik patlaması yalnızca yüklü parçacık demetlerinde meydana gelir.

Parçacık ışını silahlarının potansiyel askeri kullanım alanları; anti-uydu ve anti-füze silahları ya da hedef tanımlama sistemleridir. Bu silahlar; hala laboratuvar araştırma aşamasında olan, karmaşık bir yapıya sahip, gelişmiş stratejik savunma silahlarıdır. [Chuanwen, Gang ve Zhenhua, 2020]

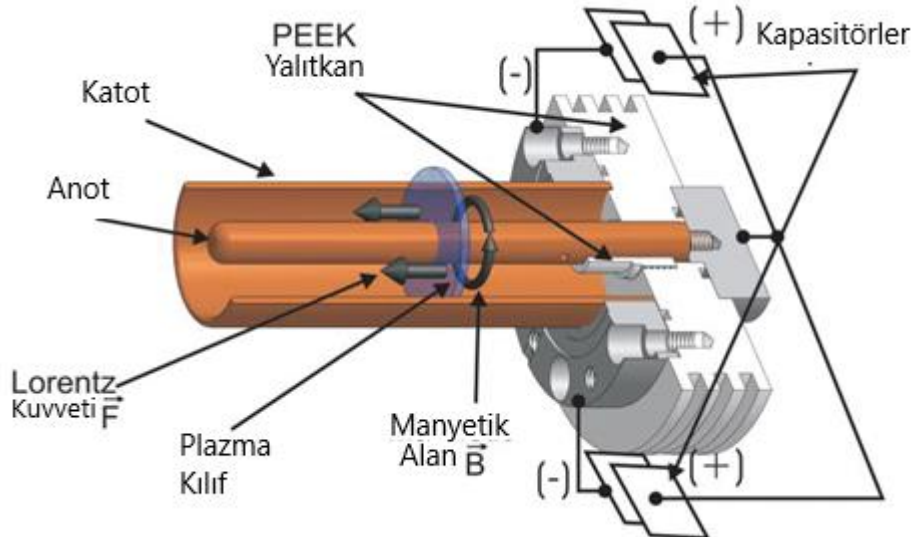


Şekil 8. Yüklü ya da yüksüz parçacık silahının çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Plazma Silahı

Plazma silahları, iyonize edilirse atomik elektronlar ve çekirdekler ile serbest elektronlardan veya kısıtılırsa diğer parçacıklardan oluşan maddenin uyarılmış hâli olan bir ışın, şimşek veya plazma akışını ateşler.

MARAUDER (Magnetically Accelerated Ring to Achieve Ultra-high Directed-Energy and Radiation)- (Çeviri: ÇAPULCU-Çok yüksek yönlendirilmiş enerji ve ışıma elde etmek için manyetik olarak hızlandırılmış halka) Shiva Star Projesi kapsamında (kısa ve son derece büyük miktarda enerji gerektiren silahları ve diğer cihazları test etmek için araçlar sağlayan yüksek enerjili bir kapasitör bankası) ışık hızına çok yakın bir toroidsel bir plazmayı hızlandırmak; diğer bir ifade ile plazmanın hızını ışık hızına yaklaştırarak enerjisini yükseltmek için kullanılmıştır [Gale, Graham, Sommars ve Scott, 1991]. Ayrıca Rusya çeşitli plazma silahları geliştirmektedir [Wikipedia].

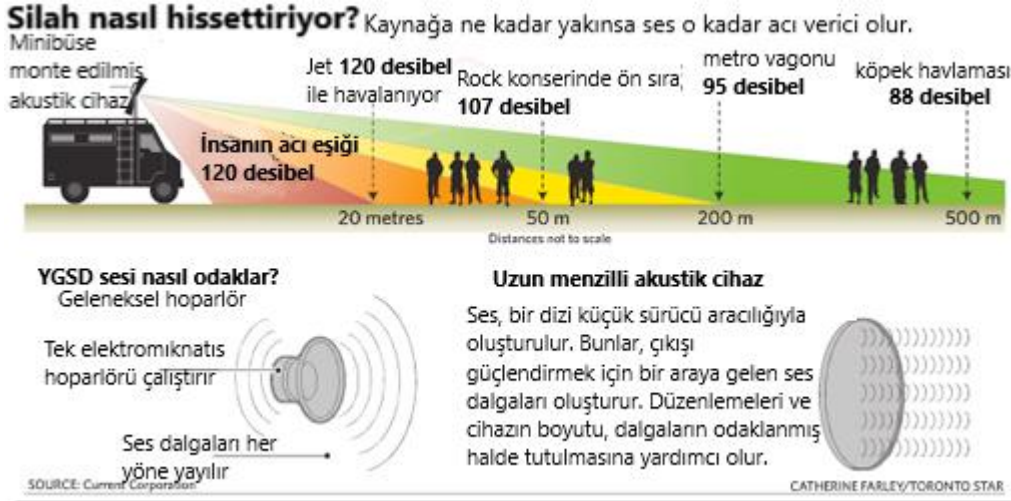


Şekil 9. Plazma silahının çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Yüksek Güçlü Ses Dalgası (YGSD) Silahı

YGSD silahları, bir rakibi yaralamak veya etkisiz hâle getirmek için sesi kullanır. Farklı türlerde olabilen bu silahların bazıları odaklanmış yüksek ses dalgası bir oluştururken; bazıları da bir ses alanı üretir. 2021 Yılı itibarıyla askerî ve polis güçleri bu tip silahları sınırlı olarak kullanmaktadır.

YGSD silahı ile bir hedefin kulak zarlarında zarara ve(ya) şiddetli ağrıya; beraberinde yönelim bozukluğuna neden olabilir. Bu genellikle bir kişiyi etkisiz hâle getirmek için yeterlidir. Daha az güçlü ses dalgaları, insanların mide bulantısı veya rahatsızlık yaşamasına neden olabilir. Göz bebeklerinin titreşimine ve dolayısıyla görme bozukluğuna neden olan frekans üreten silahlarda mevcut durumdadır [Altmann,2001].



Şekil 10. YGSD silahının çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Sonuç olarak YE için küresel bileşenler düşünülerek bir durum değerlendirilmesi yapıldığı takdirde askerî alanda belirli bir gelişmişlik seviyesine ulaşmış birçok ülkede (Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık (İngiltere), Rusya, Çin Halk Cumhuriyeti, Hindistan, İsrail, Fransa Cumhuriyeti, Kore Cumhuriyeti (Güney Kore) ve Türkiye Cumhuriyeti) YES sistemlerini konu alan çalışmaların devam ettiği bilinmektedir. Son yıllarda bu tür silahların verimlilik açısından istenilen seviyelere gelmeye başlamış olması sonucunda kara, deniz, hava ve uzay unsurları ile bütünleştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Temel kısıtlamalar arasında ışın (dalga) zayıflaması, sınırlı menzil ve görüş hattı dışındaki hedeflere karşı kullanılamama yer alır.

Düşük/Orta/Yüksek Güçlü Lazer (D/O/YGL) Silahı

Lazerler icat edildikleri günden beri çeşitli askeri uygulamalarda kullanılmaktadırlar. 1970- 80'li yıllarda, hedef belirleme, menzil ölçme, hedef tespit ve takibi, hassas güdümlü mühimmat sistemlerinin; optoelektronik cihazların ve lazerlerin büyük ölçüde artışları gözlemlenmiştir. Hala performans gelişimi devam eden bu cihazlar modern savaş alanlarında giderek daha fazla kabul görüyor ve kullanılıyor [Zohuri, 2019].

Lazer silahları verimi yüksek, güçlü ve hızlı silahlardır. Havada, karada ya da denizde askeri amaçlı kullanılabilirler. Konvansiyonel silahlarla kıyaslandığında birçok avantajı vardır. Konvansiyonel silahların atış maliyeti 80 bin dolar seviyelerine çıkabilirken bazı lazer silahların atış maliyeti 1 dolara kadar düşürülebilmektedir bunun yanında konvansiyonel silahlar tek atış ömrüne sahipken lazer silahlar gerekli güç sağlandığı sürece tekrar kullanılabilen silahlardır [Kaddoum, Kaushal,2017].

Kimyasal reaksiyon, elektrik akımı ve(ya) elektromanyetik dalgalar kullanılması sonucunda yüksek yoğunlukta odaklanmış ışık elde edilmesi sonucunda oluşmuş olan bu teknoloji savunma sanayi açısından yakın, orta ve uzak gelecekte kendisinden çok bahsettirecek bir teknoloji alt yapısına sahiptir. Kara unsurları ile sahada kendini yavaş yavaş belli etmeye başlamış olan D/O/YGL silah

sistemlerinin hava unsurları ile bütünleşmesi sonucu muharebenin doğasını değiştirebilecek nitelikte düşünülebilir. Örnek olarak ilk örnekleri ABD Ordusu için Boeing Şirketi tarafından tasarımı düşünülmüş olan bu silah teknolojisinde de geliştirilmesinde Lockheed Martin Şirketi de yer almaktadır. D/O/YGL silah sistemleri, roket, top ve havan mermilerine etkili bir şekilde karşı koyma potansiyeline sahiptir. Son yıllarda artan bir ivme ile hız kazanan AR-GE, tasarım ve üretim çalışmaları devam eden kimyasal, katı hal, fiber ve SE D/O/YGL silah sistemlerinin teknik ayrıntılarının bilinmesi bu teknolojiye hâkimiyet açısından da çok büyük bir önem teşkil etmektedir [Perram, Marciniak, ve Goda, 2004].

Lazerlerin hedefini vurabilmesi için, hedefin hareketini, yörüngeyi ya da rüzgârı hesaplamasına gerek yoktur. Çünkü lazerin yörüngesi yoktur, rüzgârdan etkilenmez ve ışık hızından hareket etmesi sayesinde hipersonik bir füzeyi bile sabit duruyormuş gibi vurabilir. Maliyetleri çok düşüktür, bir drone vurmak için 1 dolarlık bir elektrik enerjisi harcar. Savaş gemilerindeki ana güvenlik sorunlarından biri olan konvansiyonel silahların cephanelik sorununu ortadan kaldırır [Del Monte, 2021].



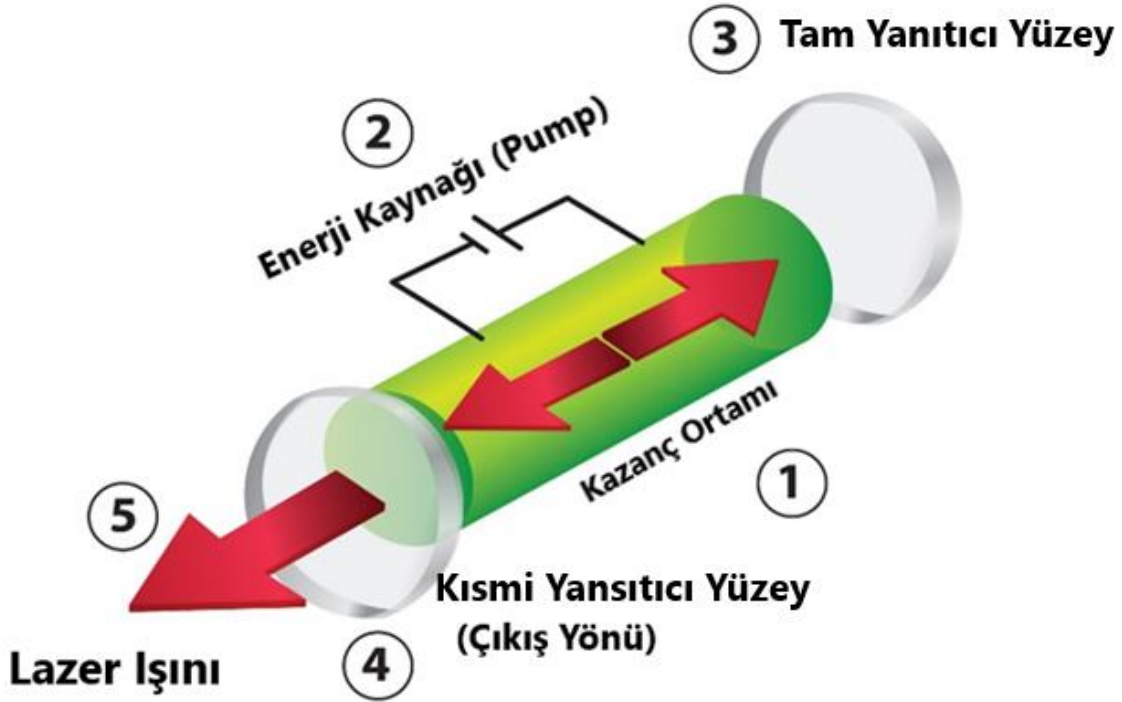
Şekil 11. Lazer silahlarının güçlerine göre sınıflandırılması.

Düşük Güçlü Lazer Silahları: Lazer çıkış gücü 1kW altında olan silahlardır. Eğitim amaçlı lazer silahı simülasyonlarında, elektronik iletişim cihazlarının etkisiz hale getirmek için ya insan hedefini geçici ya da kalıcı kör etmek için kullanılabilirler [Kaddoum, Kaushal,2017].

Orta Güçlü Lazer Silahları: Lazer çıkış gücü 1-100 kW aralığında olan silahlardır. Hedefinin üzerinde görünmeyen bir lazer emisyonu oluşturur. Hedefini yok etme amacı güder. 1.064 μm dalga boyunda fiber lazer kullanılır. Fiber lazerler; entegre etmesi kolay, verimi fazla, yüksek lazer çıkış gücüne sahip, maliyeti düşük lazerlerdir [Kaddoum, Kaushal,2017].

Yüksek Güçlü Lazer Silahları: Lazer güçleri 100 kW üzerinde olan silahlardır. Güç gereksinimleri ise 200 kW'ın üzerindedir. Kimyasal depolamaları ve soğutma sistemleri yüzünde kütleleri yüksek silahlardır. Menzilleri yüksektir, ışık hızında çalışırlar bu yüzden hava savunma sistemlerinde kullanılabilirler [Kaddoum, Kaushal,2017].

YÖNTEM



Şekil 12. Düşük/Orta/Yüksek Güçlü Lazer (D/O/YGL) silahının çalışma ilkesinin şematik gösterimi

Lazerin Performansı

HEL silah sisteminin etkinliği, esas olarak şu faktörlere bağlıdır:

- Çıkış gücü (P)
- Işık dalga boyu (λ)
- Ana aynanın çapı (D)
- Hedefe olan mesafe (R)

HEL silahlarının amacı, hedefe ulaşan lazer ışını mümkün olan en küçük nokta boyutuna odaklamaktır. Bunu başarmak için, lazerin en düşük Gauss modunda olması gerekir; aksi takdirde, lazer nokta boyutu artar ve ışın kalitesi düşer.

$$W_0 = \frac{R\lambda}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)} \quad (1)$$

Parlaklık, birim alana iletilen lazer ışınının gücüdür ($A=\pi*w_0^2$);

$$I = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Akış (Fluence) ise lazerin hedefine ilettiği enerjidir. Etkileşim süresi (τ_D) ve parlaklığın (I) çarpılmasıyla elde edilir;

$$F = I * \tau_D = P * \tau_D / A = \frac{P*\tau_D}{\pi*w_0^2} \quad (3)$$

Bu denklemleri kullanarak farklı güçteki yb fiber lazerleri kıyaslayalım;

$$\lambda = 1030 \text{ nm}$$

$$D = 0.1 \text{ m}$$

$$R = 2 \text{ km}$$

$$T_D = 3 \text{ s}$$

$$P = \text{sırasıyla } 1 \text{ kW}; 3\text{ kW ve } 5 \text{ kW}$$

	Işın Genişliği(W_0)	Parlaklık(I)	Akış(F)
1 kW Lazer	$\approx 1.31 \times 10^{-2} \text{ m}$	$\approx 1.85 \times 10^6 \text{ W/m}^2$	$\approx 5.56 \times 10^6 \text{ J/m}^2$
3 kW Lazer	$\approx 1.31 \times 10^{-2} \text{ m}$	$\approx 5.56 \times 10^6 \text{ W/m}^2$	$\approx 1.67 \times 10^7 \text{ J/m}^2$
5 kW Lazer	$\approx 1.31 \times 10^{-2} \text{ m}$	$\approx 9.26 \times 10^6 \text{ W/m}^2$	$\approx 2.78 \times 10^7 \text{ J/m}^2$

Tablo 1. Farklı güçteki yb fiber lazerlerin kıyaslanması.

Lazerin Letalitesi

Yüksek enerjili lazer silahlarının herhangi bir hasar veya performans düşüşüne yol açma yeteneğine letalite (öldürücülük) denir. Letalite, lazer enerjisinin hedefe iletilmesiyle ilgili olarak aşağıdaki faktörlere bağlıdır[Lionis,2016]:

1. İletilen Enerji: Lazer silahının hedefe ne kadar enerji ilettiği, hasar potansiyelini belirler. Yüksek enerji, daha büyük hasar yapma kapasitesine sahip olabilir.
2. Hedefin Malzemesi ve Hasara Direnci: Hedefin malzemesi ve bu malzemenin hasara karşı direnç seviyesi de letalite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Farklı malzemeler lazer enerjisini farklı şekillerde emebilir ve bu da hasar miktarını etkiler.

Hedefi eritmek (veya enerjinin iletildiği hedef üzerindeki noktayı eritmek) için, erime sıcaklığına ulaşmak için gereken enerjiyi hesaba katmamız gerekmektedir.

$$Q_1 = c_p m \Delta T \quad (4)$$

- c_p : Özgül ısı kapasitesi
- m : Kütle
- ΔT : Sıcaklık değişimi

Belirli bir hedefin üzerindeki aydınlatılmış nokta erime sıcaklığına ulaştığında, bu malzemeyi erime noktasında tutmak için gereken enerjiyi hesaba katmamız gerekmektedir. Burada;

$$Q_2 = m \Delta H \quad (5)$$

- ΔH : füzyon ısısı

Sonuç olarak belirli bir malzemeye istenilen hasarı vermek için doğrudan alması gereken enerji miktarı Q_1+Q_2 olur fakat bunun yanında kaybedilen gücü de hesaplamamız gerekir; Karacisim ışıması yüzünden kaybedilen güç şu formülle hesaplanır;

$$P = \varepsilon \sigma A (T_{\text{erime}}^4 - T_{\text{çevre}}^4) \quad (6)$$

- ε : emisivite
- σ : Stefan-Boltzmann sabiti
- A: aydınlatılan alan

Hedefin hacmini çevrelemesi için harcanan güç ise alttaki formülle hesaplanır.

$$P = k A (T_{\text{erime}} - T_{\text{çevre}}) / \Delta x \quad (7)$$

- k : termal iletkenlik
- Δx : sıcaklık farkının x düzlemindeki değişimi

Tüm bunları dikkate aldığımızda, istenilen hasarı vermemiz için gereken parlaklık şu formülle hesaplanır;

$$I = (\frac{Q1+Q2}{\tau D} + P_{\text{loss}}) / (A * 0.2) \quad (8)$$

Lazer Işınının Atmosferde Yayılmasını Etkileyen Faktörler

Bir lazer ışınının atmosferde yayılması sırasında dikkate alınması gereken birçok etki vardır. Bu etkiler dört ana grupta toplanmıştır:

Difraksiyon (Kırınım): Lazerin hedefe küçük boyutta ulaşma çabası, saçılım ile sınırlıdır ve bu, ışın yönlendiricisinin sonlu boyutları, lazer dalga boyu ve hedef mesafesi gibi faktörlere bağlıdır.

Lazer difraksiyonu, lazer ışınının bir engelin etrafından veya bir açıklıktan geçtiğinde yayılması fenomenidir. Bu, ışığın dalga doğasının bir sonucudur ve özellikle lazer ışınının odaklanmış bir noktada ne kadar küçük olabileceğini etkiler[Lionis,2016].

Difraksiyonun Temel Özeti;

- Difraksiyon: Bir ışın, bir engelin kenarından veya küçük bir açıklıktan geçerken, ışın bazı bölgelere dağılır ve genişler. Bu, ışının keskin bir şekilde odaklanmasını zorlaştırabilir ve lazer noktası genişleyebilir.
- Dalga Doğası: Difraksiyon, ışığın bir dalga olarak davranmasından kaynaklanır ve genellikle küçük açıklıklar veya engeller etrafında gözlemlenir.

Lazer ışınının difraksiyon nedeniyle oluşturduğu nokta boyutunu hesaplamak için kullanılan temel formül ;

$$w = \frac{1.22 * \lambda * R}{D} \quad (9)$$

- w: Lazer ışınının odaklanmış noktasındaki çapı (beam waist).
- λ : Lazerin dalga boyu.
- R: Hedefe olan mesafe.
- D: Lazerin ana aynasının çapı (veya ışın yönlendiricisinin çapı).

1.22 Katsayısı: Bu katsayı, ışının bir açıklıktan veya engelden geçerken yayılmasını hesaplayan bir faktördür ve genellikle ilk difraksiyon minimumunu temsil eder.

Dalga Boyu (λ): Dalga boyu arttıkça, difraksiyon etkisi de artar, bu da lazer ışınının odaklanmış noktasının genişlemesine neden olabilir.

Mesafe (R): Hedefe olan mesafe arttıkça, difraksiyon etkisi de artar.

Ayna Çapı (D): Daha büyük bir ayna çapı, lazer ışınının daha küçük bir noktada odaklanmasına olanak tanır.

Saçılma:

- Atmosferdeki bileşenlerin ışını mükemmel bir şekilde iletememesi sonucu oluşur ve ışının yolunu değiştirir.
- Bu, beklenenden daha fazla yayılmaya neden olur.
- Saçılmayı azaltmanın en iyi yolu atmosferdeki partikülleri azaltmaktır, ancak bu genellikle mümkün değildir.
- Daha uzun dalga boyları, saçılma etkisini azaltır.

Soğurma (Absorpsiyon):

- Işının enerjisinin bir kısmını emer ve hedefe iletilen gücü azaltır.
- Farklı atmosferik bileşenler, farklı dalga boylarını farklı seviyelerde emer.
- Bu, konum, yılın zamanı ve hava durumu gibi faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değişir.
- Özellikle deniz ortamında su buharı soğurması baskındır.
- Soğurma atmosferin ısınmasına neden olur ve bu yüksek oranlarda gerçekleştiğinde termal çiçeklenme (thermal blooming) meydana gelir.

Termal Çiçeklenme, bir lazer ışınının geçtiği ortamda yerel ısınmaya neden olması sonucunda ortaya çıkan bir fenomendir. Bu ısınma, ortamın kırılma indisinde değişikliklere yol açar ve optik bozulmalar oluşturarak lazer ışınının yayılmasına ve sapmasına neden olur[Perram, Marciniak, ve Goda, 2004].

Atmosferik Türbülans:

- Işının yayılmasına ve hedefe iletilen gücün azalmasına neden olur.
- Türbülansın gücü, C_n^2 parametresi ile ölçülür ve yükseklik, rüzgâr hızı ve diğer atmosferik parametrelere bağlıdır.
- Ana etkisi ışın yayılmasıdır, ancak türbülans aynı zamanda hedef noktası etrafında rastgele bir ışın hareketine de neden olur.

Lazer Işını Kontrol Sistemi

HEL (Yüksek Enerjili Lazer) silahlarının ışın kontrol sistemi, lazer ışığını hedefe doğru doğru bir şekilde yönlendirmeyi ve hedef üzerinde küçük bir nokta olarak odaklamayı hedefler. Bu amaçla, hedef ve platform hareketlerini (sallanma, titreşim) ve atmosferdeki bozulmaları (türbülans, termal genişleme ve ışığın yok olması) dikkate almak gerekir[Lionis,2016].

HEL sisteminin ışın kontrol alt sistemi genellikle üç ana bileşenden oluşur: ışın yönlendirici, yönlendirme ve izleme sistemi ve adaptif optikler. Işın yönlendirici, büyük bir teleskop gibi çalışır; bu teleskop, yaklaşık 1 metre çapındaki büyük bir lazer ışını alır ve bunu hedefte yaklaşık 10 cm çapında küçük bir noktaya odaklar. Ancak, bu büyük teleskoplar genellikle HEL silah sistemine ek ağırlık ve hacim getirir[Lionis,2016].

Yönlendirme ve izleme sistemi, bir sensör ve jiroskop kullanarak lazerin doğru hedefe yönlendirilmesini sağlar. Adaptif optikler ise tüm HEL silahlarında bulunmayabilir, ancak türbülans gibi atmosferik etkileri azaltmak için kullanılır[Lionis,2016].

UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

D/O/YGL SİLAH SİSTEMLERİ İÇİN TEKNOLOJİ GEREKSİNİMLER VE ÖRNEKLENDİRME

Raporun bu bölümünde YES çerçevesinde D/O/YGL silahları için verimliliğe bağlı olarak en işlevsel şekilde etkisiz hâle getirme ölçütleri ele alınmaktadır. Bu açıdan konunun amacı, terminolojiyi tanımlamak, temel verimlilik parametrelerini oluşturmak ve teknoloji yeteneklerini örnekler ile birlikte özetlemektir. Diğer çok önemli bir amaç olarak da askerî operasyonlarda D/O/YGL silah sistemlerinin kullanımı sırasında oluşacak kaçınılmaz ışınma etkileri ile ilişkili tehlikeleri en aza indirmektir.

Raporun önceki bölümlerinde de bahsedildiği üzere lazerlerin askerî amaçlar için kullanımı her yıl artarak devam etmektedir. Farklı ülkelerden birçok ordu, belirli savaş görevleri ve eylemleri için çeşitli lazer sistemleri geliştirmekte ve kullanım hazır hâle getirmek için yatırımlar yapmaktadır.

Genel olarak belirtmek gerekir ise kara kuvvetleri, topçu, hava savunma ve havacılık kuvvetlerinin geleneksel birlikleri, bugün lazeri muharebe operasyonlarının doğruluğunu ve etkinliğini artırmada önemli bir işlevsel unsur olarak kabul etmektedir.

Lazerler ayrıca askerî okullarda ve üniversitelerde gerekli personelin eğitim sürecinde çeşitli eğitim oturumlarının bir parçası olarak yer almaktadır.

Öncelikle istenilen etkinliğe ulaşmak açısından en uygun lazer sisteminin belirlenebilmesi için farklı lazer türlerinin (Ör: KL, KHL, FL SEL vb.) tarihsel gelişim, temel donanım, verimlilik vb. konuları hakkında ayrıntılı bir şekilde çalışılması gerekmektedir.

Sonrasında salındırıcı ortam, aynalar, ön dalga algılayıcılar, işaret lambaları ve aydınlatıcılar dâhil olmak üzere ışın kontrolü unsurları, tipik ve gerekli verimlilik parametreleri üzerinde durulabilir.

Son olarak gerçekçi saha koşullarını da düşünerek kırınım, çevresel soğurma, saçılma, türbülans ve kristal içerisinde oluşan ikincil etkilere dayalı fenomeni vb. çevresel etkilerin hedefteki ışınım üzerindeki etkilerinin çok iyi belirlenip detaylı olarak tarif edilmesi gerekmektedir.

D/O/YGL silah sistemleri, günümüzün en zorlu askeri uygulamalarından bazıları için çalışılmış durumdadır. (Ör: Airborne Laser (ABL) programı, bir taktik savaş senaryosunda Tiyatro Balistik Füzeleri'ne (Theater Ballistic Missiles) karşı savunma yapmak için tasarlanmıştır.) Benzer şekilde, Taktik Yüksek Enerji Lazeri (Tactical High Energy Laser -THEL) programı şu anda roketlere ve diğer taktik silahlara karşı savunma yapmak için bir lazeri test ediyor. Uzay Tabanlı Lazer (Space Based Laser-SBL), Gelişmiş Taktik Lazer (Advanced Tactical Laser ATL) ve Büyük Uçak Kızılötesi Karşı Tedbirler (Large Aircraft Infrared Countermeasures-LAIRCМ) programları, lazer silahları için daha da büyük uygulamalar vaat etmektedir.

Bu teknolojiye genel bakış, günümüz savaş alanındaki YES sistemlerinin hem stratejik hem de taktiksel rollerini ele alır ve çeşitli lazer cihazı türleri, ışık kontrol sistemleri, çevresel yayılım ve hedef öldürücülük sorunları dâhil olmak üzere tüm sistem bileşenlerinin mevcut teknoloji ile sınırlı verimliliklerini incelenmesi olarak ele alınabilir.

YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ SİLAHLARINA KARŞI ÖNLENMLER

Yönlendirilmiş enerji silahlarının; mikrodalgalar, parçacık ışını ve radyasyonun diğer formları biçiminde odaklanmış enerji yayan bir dizi teknolojileri kapsamı, onlara karşı koruma sağlamayı zor ve karmaşık bir hale getirir. Yönlendirilmiş enerji silahlarına karşı koruma sağlamak için farklı malzemelerin etkisi kullanılan silah çeşidine göre farklılık gösterebilir. Hiçbir malzeme lazer silahlara karşı tamamen koruma sağlayamasa da bazı malzemeler ve stratejiler silahın etkilerini belli miktarda hafifletebilir.

1. Metaller: Bazı metaller, özellikle elektrik iletkenliği yüksek olanlar, elektromanyetik ışınlarını soğurabilir ya da yansıtabilirler. Örneğin, alüminyum ve bakır elektromanyetik girişim ve

radıofrekans sinyallerine karşı koruma sağlamak için kullanılabilir. Ancak metaller tüm yönlendirilmiş enerji silahlarına karşı koruma sağlamak için uygun olmayabilir.

2. **Dielektrik Malzemeler:** Elektriği iletmeyen dielektrik malzemeler, elektromanyetik enerjiyi dağıtmak ya da soğurmak için kullanılabilir. Seramik, cam ve bazı polimerler iyi bir kalkan olarak kullanılabilir. Aynı zamanda, görünmez uçaklarda kullanılan karbon kompozitler de elektromanyetik dalgaları soğurmada etkili olabilir.
3. **Meta Malzemeler:** Meta malzemeler, elektromanyetik dalgaları manipüle ve kontrol edebilen eşsiz elektromanyetik özelliklere sahip mühendislik ürünüdürler. Araştırmacılar, belirli frekanstaki yönlendirilmiş enerji silahlarının radyasyonunu soğurabilecek ya da saptırabilecek meta malzemeler üzerine çalışmaktadırlar.
4. **İletken Kumaşlar:** gümüş ya da bakır gibi iletken ipliklerle dokunmuş iletken kumaşlar bazı yönlendirilmiş enerji silahları türlerine, özellikle elektromanyetik radyasyon içerenlere karşı kısmi koruma sağlayabilir.
5. **Katmanlı Kalkanlar:** Farklı malzemeleri birleştirerek kalkan üretmek korumayı arttırabilir. Örneğin, bir kalkan enerjiyi daha etkili bir şekilde soğurmak ve dağıtmak için çok sayıda iletken ve dielektrik madde bulundurabilir.
6. **Su ve Sıvılar:** Suyun sahip olduğu ısı soğurma özelliği sayesinde, su bazlı sistemler ya da spreyle kullanılması belirli yönlendirilmiş enerji silahlarının ürettiği ısıyı dağıtmak amacıyla kullanılabilir. Ancak bu her durumda pratik olmayabilir.
7. **Aktif karşı önlemler:** Bazı gelişmiş sistemler, gelen yönlendirilmiş enerji silahı saldırısına karşı eş zamanlı tespit ve karşı önlemleri barındırır. Bunlar, kalkanın özelliklerinde gelen enerjiye göre sapma ya emilime sebep olacak şekilde otomatik ayarlar yapılmasını sağlayabilir.

GÜNÜMÜMÜZDEKİ YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ SİLAHLARI GEREKSİNİMİ

Son zamanlarda, İHA'ların kolay bulunabilmesinde ve ticari amaçla kullanılmasında önemli bir artış vardır. Bu yaygınlaşmanın sebebi ise, İHA'ların hızı ve çevikliği sayesinde. Bu durum Rusya-Ukrayna savaşında da görüldüğü üzere dünya çapında savunma zorlukları yaratmaktadır. İHA'ların üretiminde plastik, epoksi ve fiberglass gibi malzemelerin kullanılması, bu cihazların radar görünürlüğünü düşürür. Bu da güvenilir tespit ve tanımlama için optoelektronik tekniklerin uygulanmasını gerektirir [Karcz, Sitkiewicz, Mularzuk ve Zygmunt Mierczyk, 2024].

Kızıldeniz Krizi: Mayıs 2024'te İsrail ve İran arasında çıkan Kızıldeniz krizi, İran'ın İsrail'e karşı 300'den fazla drone ve füze saldırısına kadar tırmandı. Donanma ve koalisyon kinetik silah ve füzeler kullanarak bu saldırıyı başarılı bir şekilde atlatsalar da bu sürdürülebilir olmayan bir bütçeye mâl oldu. Güncel CRS raporuna göre Kızıldeniz krizi iki ciddi soruna sahiptir; mühimmat sınırlaması ve pahalı füzelerin engellediği ucuz tehditler [Johnson, 2024].

Mühimmat sınırlaması; bir geminin cephaneliğinin kısıtlı olmasını kast eder. Bu cephanelik bittiğinde tekrar doldurulması ve bunun için geminin güvenli bir bölgeden yolculuk yapması için önemli bir zaman gerektirir [Johnson, 2024].

Diğer sorun ise, donanmanın kullandığı füzelerin maliyesi ile saldırıda kullanılan drone ve füzelerin maliyetleri arasındaki ciddi farktır. Donanma füzelerinin maliyetleri birkaç yüz bin dolardan milyon dolarlara kadar çıkabilirken, saldırıdaki füze ve dronelar yalnızca birkaç bin dolardır [Johnson,2024].

Kızıldeniz krizinden ilham alan terörist grupların ve ülkelerin sayılarının artma ihtimali yüksektir. Bu gruplar, gemilerin mühimmat kısıtlamasının ya da ucuz tehditleri önlemenin yüksek maliyetlerinin farkına varıp bunu bir avantaj olarak kullanabilirler. Kızıldeniz krizindeki DEW'lerin yokluğu dikkat çekicidir. Donanmadaki önemli isimler bu sorunu dile getirip DEW'lerin geliştirilmesinin hızlanmasını talep etmişlerdir [Johnson, 2024].

SONUÇ

Sonuç olarak, yönlendirilmiş enerji silahları (YES), özellikle lazer teknolojisine dayananlar, modern askeri yeteneklerde önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Bu silahlar, hassas hedefleme, hızlı müdahale ve azaltılmış yan hasar gibi birçok avantaj sunarak, insansız hava araçları, füzeler ve düşman personeli gibi çeşitli tehditlere karşı son derece etkili hale gelmektedir. Başta gelen savunma kuruluşlarının yüksek enerjili lazer sistemlerinin geliştirilmesi ve entegrasyonu, bu silahların stratejik önemini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, YES'lerin konuşlandırılması, teknolojik karmaşıklıklar, yüksek enerji gereksinimleri ve sağlam altyapı ihtiyacı gibi zorluklar da ortaya çıkarmaktadır. Araştırma ve geliştirme çalışmaları bu sorunları ele almaya devam ederken, lazer tabanlı YES'lerin potansiyeli, gelecekteki askeri operasyonlarda belirleyici bir rol oynama kapasitesine sahiptir.

Tüm bunlara ek olarak, yönlendirilmiş enerji silahları üzerine yapılan çalışmalar hâlâ devam etmektedir, yeni malzemeler ve yöntemler zaman içinde ortaya çıkabilir. Gelişmiş bir yönlendirilmiş enerji silahına karşı bir tam koruma son derece zor olabilir ya da çeşitli yaklaşımların bir birleşimini gerektirebilir. Yönlendirilmiş enerji silahları hakkındaki en güncel ve kesin bilgilere ulaşmak için savunma teknolojisi ve malzeme bilimi konusundaki uzmanlara danışmanız tavsiye edilir.

KAYNAKÇA:

1. Altmann, J., 2001, Acoustic weapons-a prospective assessment. *Science & Global Security*, 9(3), 165-234.
2. Chuanwen L., Gang, C. ve Zhenhua,L., 2020, Space Attack Technology Overview. *Journal of Physics: Conference Series*; 1544.
DOI:10.1088/1742-6596/1544/1/012178
3. Del Monte, L., *War at the Speed of Light: Directed-Energy Weapons and the Future of Twenty-First-Century Warfare*, University of Nebraska Press & Potomac Books, s.81-82
<https://doi.org/10.2307/j.ctv1f70m1m>
4. Fisher Jr, R. D., 2017, China's progress with directed energy weapons. *US-China Economic and Security Review Commission*.
5. Gale, D., Graham, J. D., Sommars W. ve Scott, M., 1991, "Shiva Star - Marauder Compact Torus System," *Eighth IEEE International Conference on Pulsed Power*, San Diego, CA, USA, pp. 990-993, doi: 10.1109/PPC.1991.733452.
6. Johnson, B., 2024, THE COMING OF AGE OF DIRECTED ENERGY WEAPONS AND THE RED SEA CRISIS.

7. Kaddoum, G. ve Koushal, H., 2017. "Applications of Lasers for Tactical Military Operations," doi: 10.1109/ACCESS.2017.2755678.
8. Karcz, K., Mierczyk, Z., Mularzuk, J., ve Sitkiewicz, A., 2024, Directed Energy Weapons: Dissecting Effects on UAVs' Core Systems and In-Vitro Cellular Dynamics.
DOI: 10.14339/STO-MP-SCI-356
9. Kumar, N., Singh, U., Singh, T. P., ve Sinha, A. K., 2011, A review on the applications of high power, high frequency microwave source: Gyrotron. Journal of fusion energy, 30, 257-276. Active denial
10. Lazov, L., Teirumnieks, E. ve Ghalot, R., 2021. Applications of Laser Technology in the Army. DOI: 10.35248/2167-0374.21.11.210
11. Lionis, A., 2016, "Experimental Design of a UCAV-Based High-Energy Laser Weapon."
12. Miller, C., 2005, Electromagnetic Pulse Threats in 2010
13. Perram, G., Marciniak, M. ve Goda, M., 2004, High energy laser weapons: Technology overview. Proc SPIE. 5414. 10.1117/12.544529.
14. Pry, P. V., 2015, Electromagnetic Pulse: Threat to Critical Infrastructure. Testimony before the Subcommittee on Cybersecurity, Infrastructure Protection and Security Technologies House Committee on Homeland Security. Retrieved on, 6
15. Wilson, C., 2008, High Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) and High Power Microwave (HPM) Devices: Threat Assessments.
16. Zohuri, B., 2021, Thermal Effects of High Power Laser Energy on Materials(1. Baskı), Springer Cham, s.10
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-63064-5>
17. Zohuri, B., 2019, Directed Energy Beam Weapons (1. Baskı), Springer Cham, s.5-6, s.269-270, s.310-311.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-20794-6>