



Yüksek Güçlü Lazer Silah Sistemlerinin Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Envanterindeki Savaş Gemilerine Entegrasyonu

*Makale Bilgisi / Article Info
Alındı/Received: 30.05.2023
Kabul/Accepted: 18.01.2024
Yayımlandı/Published: 27.02.2024

The Integration of High Power Laser Weapon Systems into The Turkish Naval Forces Warships

Fehmi SANDIKÇI^{1*}, Nigar Berna TEŞNELİ², Ahmet Yahya TEŞNELİ³

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, Sakarya, Türkiye

³ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Bu çalışma kapsamında Yüksek Güçlü Lazer Silah Sistemlerinin (YGLSS) Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı envanterindeki savaş gemilerine entegrasyonu incelenmiştir. Savaş gemileri için önemli bir tehdit olan insansız hava ve deniz araçlarının etkisiz hale getirilebilmesi için ihtiyaç duyulan YGLSS çıkış güçleri hesaplanarak bu çıkış gücüne sahip sistem için gerekli olan elektriksel güç ve montaj alanı belirlenmiştir. Elde edilen değerler Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı envanterindeki savaş gemilerinin alt yapısı ile karşılaştırılarak entegrasyon için uygun gemiler belirlenmiştir. Sonuç olarak; belirli senaryolar dahilinde Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı envanterindeki firkateynlerin, korvetlerin ve hücum botlarının entegrasyon için uygun olduğu ancak sistem boyutlarından dolayı bazı tadilatların yapılması gerektiği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Yüksek güçlü lazer silah sistemi, Savaş gemileri, İnsansız hava araçları, İnsansız deniz araçları

Abstract

The integration of High Power Laser Weapon Systems (HPLWS) into the warships in the inventory of the Turkish Naval Force Command has been examined. By calculating the needed output power of HPLWS for the destruction of unmanned aerial vehicles (UAVs) and unmanned surface vehicles (USVs) which is an important threat for the warships, the electrical power and installation area required for the system with this output power were determined. The obtained values were compared with the substructure of the warships in the inventory of the Turkish Naval Forces Command and the appropriate ships for integration were determined. As a result it is evaluated that frigates, corvettes and assault boats in the inventory of Turkish Navy Command are suitable for integration within certain scenarios but some modifications may be required due to the system dimensions.

Keywords

High power laser weapon system, Warships, Unmanned aerial vehicle (UAV), Unmanned surface vehicle (USV)

1. Giriş

Yüksek Güçlü Lazer Silah Sistemi (YGLSS) lazer teknolojisini kullanan yönlendirilmiş bir enerji silahıdır. Uzun süre yapılan AR-GE çalışmaları neticesinde, deniz platformlarının savunmasında kullanılacak operasyonel askeri silah haline getirilmiştir (O'Rourke, 2022). YGLSS'ler konvansiyonel silahlar ile karşılaştırıldığında atım adedi, atış maliyeti ve hızlı tepki süresi açısından çok önemli avantajlar sağlamaktadır (O'Rourke, 2015).

Bu çalışma kapsamında YGLSS'nin savaş gemilerinin savunmasında kullanımı incelenecektir. Diğer kullanım alanları olan kara birliklerinin savunması, hava platformlarının savunması ya da sivil tesis veya yerleşim

yerlerinin savunması gibi konular çalışma kapsamına alınmamıştır.

Literatürde YGLSS'lerin savaş gemisine entegrasyonunun değerlendirildiği çok az sayıda çalışma mevcuttur.

2012 yılında Ang (2012) tarafından, patlayıcı yüklü küçük ve hızlı bot saldırılarına karşı koymak için bir YGLSS'nin Amerikan Donanmasına ait LCS (Littoral Combat Ship) sınıfı bir gemide kullanılabilirliği analiz edilmiştir. Çalışmada; hedef imhası için gerekli YGLSS gereksinimleri LCS sınıfı gemilerin altyapı imkanları ile karşılaştırılarak, YGLSS'lerin LCS sınıfı savaş gemilerinde belirli senaryolar dahilinde kullanılabilirliği ortaya konulmuştur.

2018 yılında ise Gildemeyer vd. (2018) tarafından; Amerikan Donanmasına ait LPD-17 (Landing Platform

Dock) sınıfı bir gemide, bir YGLSS'nin entegrasyonu için belirlenen 8 adet güverte üstü yerleşim yerinin, belirlenen 5 farklı kriter (gemi entegrasyon etkileri, türbülans, çevresel etkiler, dikey ve yatay kaplama alanı) kullanılarak entegrasyon için uygunlukları değerlendirilmiştir.

2021 yılında ise Taylor (2021) tarafından farklı formasyondaki sürü dronlarının, deniz ortamında belirlenen angajman stratejileri çerçevesinde, YGLSS savunmasına karşı etkinlikleri incelenmiş ve sürü dron formasyonları değiştirilerek saldırı başarı oranı artırılabilirdiği ya da uygun angajman stratejisi ile YGLSS ile gemi savunma başarı oranının artırılabilirdiği ortaya konulmuştur.

YGLSS geliştirme ve savaş gemilerine entegrasyonu kapsamında; Amerika Birleşik Devletleri tarafından, test gemisine entegre edilen 105 kW'lık prototip MLD (Maritime Laser Demonstration) Sisteminin Nisan 2011 tarihinde deniz ortamında başarıyla test edilmesi (O'Rourke, 2015), Aralık 2014 tarihinde USS Ponce gemisine entegre edilen 30 kW'lık prototip LaWS (Laser Weapon System) sisteminin operasyonel silah olduğunun beyan edilmesi (O'Rourke, 2022), Mayıs 2020 tarihinde USS Portland gemisine entegre edilen 150 kW'lık prototip LWSD (Laser Weapon System Demonstrator) sisteminin deniz ortamında başarı ile test edilmesi (O'Rourke, 2022), Ağustos 2022 tarihinde USS Preble gemisine 60 kW'lık HELIOS (High-Energy Laser with Integrated Optical dazzler and Surveillance) sisteminin entegrasyonu ve deniz testlerine hazır hale getirilmesi (İnternet Kaynakları-1 (İnt. Kyn. 1)) önemli aşamalar olarak sıralanabilir. Türkiye'de ise deniz platformuna entegre edilen bir YGLSS bulunmamaktadır, ancak TÜBİTAK BİLGEM tarafından geliştirilen Türkiye'nin ilk askeri standartlara uygun milli lazer silah sistemi ARMOL (Araca Monte Milli Lazer Sistemi) (İnt. Kyn. 2) IŞIN projesi kapsamında deniz platformlarına uygun hale getirilerek entegre edilmesi beklenmektedir.

Bir savaş gemisinin görevi, barış zamanında istihbarat faaliyetleri ve terör saldırılarına karşı savunma iken, savaş zamanında ise buna düşman birliklerinden yapılan saldırılara karşı koruma da eklenir. Bu saldırılar veya istihbarat elde etme faaliyetleri günümüzde yoğun bir şekilde İnsansız Hava Aracı (İHA), Silahlı İnsansız Hava Aracı (SİHA), kamikaze dronlar (gezici mühimmat) ve bomba yüklü insansız deniz aracı (İDA) gibi sistemler kullanılarak yapılmaktadır (İnt. Kyn. 3, İnt. Kyn. 4). Bu çalışma kapsamında kamikaze dron veya bomba yüklü İDA'nın savaş gemisine tehdit olduğu senaryolar üzerinde çalışılmıştır.

YGLSS'lerin savaş gemilerine entegrasyonunda dikkate alınması gereken ihtiyaçlar; elektriksel güç, yerleşim alanı, iklimlendirme, savaş yönetim sistemi entegrasyonu, stabilizasyon ve sistem maliyeti olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada sadece elektriksel güç ve yerleşim alanı ihtiyacı açısından değerlendirme yapılmıştır.

Bu kapsamda; ilk olarak kamikaze dron ve bomba yüklü İDA'nın imha edilmesine yönelik senaryolar oluşturulmuş, kamikaze dronun gemi için belirlenen güvenli bölgenin ötesinde imha senaryosu senaryo 1 (S1), bomba yüklü İDA'nın gemi için belirlenen güvenli bölgenin ötesinde imha senaryosu senaryo 2 (S2) olarak adlandırılmıştır. Belirlenen senaryolar çerçevesinde tehditleri etkisiz hale getirecek YGLSS'nin ihtiyaç duyacağı çıkış gücü hesaplanmış ve bu gücü sağlayabilecek YGLSS'lerin Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın envanterindeki savaş gemilerine entegrasyonu için ihtiyaç duyacağı elektriksel güç ve yerleşim alanı ihtiyaçları belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler mevcut gemilerin alt yapı imkanları ile karşılaştırılarak entegrasyonun yapılabileceği savaş gemileri tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile hangi savaş gemilerin YGLSS entegrasyonu için uygun olduğunun belirlenmesi ile birlikte; tehditlerin belirlenmesinin YGLSS seçiminde etkin olduğu ve seçilen YGLSS'nin inşa edilecek gemilerin tasarımına önemli etkileri olduğu da değerlendirilmektedir. Çalışmada ulaşılan sonuçların bu yönü ile gemi tasarım ve inşa alanında yapılan çalışmalar için kullanılabilir bir veri ve karar vericiler için farkındalık oluşturulması beklenebilir.

Bu çalışmada herkes tarafından ulaşılabilen, açık kaynaklardan elde edilebilen ve gizlilik derecesi olmayan bilgiler kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot / Materials and Methods

2.1 Yüksek güçlü lazer silah sistemleri

Yüksek Güçlü Lazer Silah Sistemi (YGLSS) lazer teknolojisini kullanan yönlendirilmiş bir enerji silahıdır. Uzun süre yapılan arge çalışmaları neticesinde, deniz platformlarının savunmasında kullanılabilecek operasyonel askeri silah haline getirilmiştir (O'Rourke, 2022). YGLSS'ler konvansiyonel silahlar ile karşılaştırıldığında atım adedi, atış maliyeti ve hızlı angajman süresi açısından çok önemli avantajlar sağlamaktadır (O'Rourke, 2015).

Türkiye'nin de aralarında olduğu pek çok ülkede YGLSS geliştirme ve savaş gemilerine entegrasyonuna yönelik çalışmalar sürdürülmektedir.

Bu çalışma kapsamında değerlendirilecek YGLSS'ler ve özellikleri aşağıda sunulmuştur.

2.1.1 YGLSS'lerin ana özellikleri

Bu bölümde YGLSS'lerin etkinliğini belirlemek için kullanılacak özellikler açıklanacaktır.

2.1.1.1 Işın gücü

Işın gücü, lazerin hedefe verebileceği tahribatın derecesini belirleyen, lazer ışınının bir özelliğidir. Watt (W, kW ve MW) cinsinden ölçülen lazer ışın gücü, lazer ışınının optik güç çıkışını ifade eder.

2.1.1.2 Işın kalitesi

Işın kalitesi, ışının bir noktaya ne kadar iyi odaklanabildiğinin bir ölçüsüdür. Hem Işın Parametresi Çarpımı (Beam Parameter Product (BPP_A)) hem de M², ışın kalitesinin ölçüleridir. Denklem (1) ile tanımlanan BPP_A, uzak alan ışın sapma açısı (θ) ile ışının orta kısmındaki yarıçapının (W) çarpımıdır. Lazer ışınının orta kısmı, yayın yönünde demet yarıçapının en az olduğu bölgedir.

$$BPP_A = \theta W \quad (1)$$

Denklem (2) ile tanımlanan M², BPP_A ile BPP_G'nin oranıdır. BPP_G (Beam Parameter Product of a diffraction-limited Gaussian beam), BPP_A ile aynı dalga boyuna sahip kırınım sınırlı bir Gauss ışınının ışın parametresi çarpımıdır. Kırınım sınırlı Gauss ışını, ışının belirli bir dalga boyu için en iyi şekilde odaklandığı ideal bir ışındır.

$$M^2 = BPP_A / BPP_G \quad (2)$$

En iyi ışın kalitesi M² = 1 olduğunda elde edilir.

2.1.1.3 YGLSS enerji dönüşüm verimliliği

Denklem (3) ile ifade edilen duvar prizi verimliliği (wall-plug efficiency) veya ışınım verimliliği, sistemin elektrik gücünü optik güce dönüştürdüğü enerji dönüşüm verimliliğidir. Optik çıkış gücünün giriş elektrik gücüne oranı olarak tanımlanır. Lazer sistemlerinde bu verimlilik, yalnızca lazerin kendisini değil, güç kaynağındaki kayıpları, kontrol sisteminin güç ihtiyacı ve aynı zamanda soğutma sistemi için gereken gücü de içerir.

$$\eta = P_{\text{çıkış}} / P_{\text{giriş}} \quad (3)$$

2.1.2 Deniz tipi lazer gösterimi sistemi

Deniz Tipi Lazer Gösterimi (MLD (Maritime Laser Demonstration)) Sistemi, Northrop Grumman firması tarafından geliştirilmiş, Levha (Slab) tipi katı hal lazer

teknolojisini kullanan, 105 kW'lık çıkış gücüne sahip bir prototip YGLSS'dir. Her biri 15 kW'lık çıkış gücüne sahip 7 adet levha tipi lazerin eş fazlı olarak birleştirilmesi ile 105 kW'lık çıkış gücüne ulaşılmıştır. Özellikleri Çizelge 1'de verilen MLD Sistemi 6 Nisan 2011 tarihinde deniz ortamında başarıyla test edilmiştir (O'Rourke, 2015). Test çalışmaları tamamlanan sistem geliştirme çalışmalarında kullanılmak maksadıyla üretici firmaya teslim edilmiştir. 105 kW'lık çıkış gücüne sahip bir YGLSS, %20 ile %25 (O'Rourke, 2015) arasında enerji dönüşüm verimliliği ile çalışması durumunda gemi güç sisteminden 420 kW ile 525 kW arasında güç çekecektir. YGLSS'ler lazer cihazı, demet kontrol cihazları ve güç kaynağından oluşmaktadırlar. Savaş gemilerinde iklimlendirme imkanına sahip kapalı mahaller güverte altı olarak, açık mahaller ise güverte üstü olarak adlandırılmaktadır. YGLSS'yi oluşturan alt sistemlerden demet kontrol cihazı güverte üstü bölgeye, lazer cihazı ve güç kaynağı ise güverte altı bölgeye monte edilmektedir. YGLSS'lerin kullandığı lazer teknolojisinin hem yakın zamanda geliştirilmiş/geliştirilmeye devam ediyor olması hem de savaş ortamında düşmana karşı üstünlük sağlamaya katkı sağlayacak önemli bir silah olması nedeniyle açık kaynaklarda YGLSS'ler hakkında ayrıntılı bilgilere ulaşılamamaktadır. Bu çalışmada MLD sisteminin güverte üstü birimleri 600 kg, güverte altı birimleri ise 800 kg kabul edilmiştir (Ang, 2012). Bu sistemin entegrasyonu ile gemiye toplam 1400 kg'lık bir yük ilave edilmiş olacaktır. Çizelge 2'de MLD'nin boyut ve ağırlık bilgileri verilmiştir.

Çizelge 1. MLD sisteminin özellikleri (O'Rourke, 2015)

Özellikler	Açıklama
Teknoloji	Levha Tipi Katı Hal Lazer
Üretici Firma	Northrop Grumman
Işın Gücü (kW)	105
Işın Kalitesi (M ²)	< 3
Enerji Dönüşüm Verimliliği (%)	20-25
Dalga Boyu (µm)	1,064
Elektriksel Güç İhtiyacı (kW)	420-525
Test Safhası	Deniz ortamında test edildi

Çizelge 2. MLD sistemi için boyut ve ağırlık bilgileri (Ang, 2012).

Alt Sistem	Hacim (m ³)	Ağırlık (kg)
Demet Kontrol Sistemi (Güverte Üstü)	5,7	600
Lazer Cihazı (Güverte Altı)	2	200
Güç Kaynağı (Güverte Altı)	6	600

Bu çalışmada YGLSS'nin savaş gemisine kalıcı olarak entegre edileceği, elektrik ve iklimlendirme ihtiyaçlarını gemi alt yapısından karşılayacağı ve ilave güç depolama birimlerine ihtiyaç duymayacağı varsayılmıştır.

2.1.3 Lazer silah sistemi

LaWS (A/N SEQ-3 Lazer Weapon System), Amerikan Deniz Kuvvetleri tarafından geliştirilmiş, fiber lazer teknolojisini kullanan, 30 kW'lık çıkış gücüne sahip bir prototip YGLSS'dir. Özellikleri Çizelge 3'de verilen LaWS Sistemi Aralık 2014 tarihinde deniz ortamında sürü bot ve sürü İHA tehditlerine karşı başarıyla test edilmiş ve operasyonel bir silah olduğu beyan edilmiştir (O'Rourke, 2022). 2017 yılına kadar kullanılan sistem daha sonra karaya konuşlu test sistemine dönüştürülmüştür.

Çizelge 3. LaWS sisteminin özellikleri (O'Rourke, 2015).

Özellikler	Açıklama
Teknoloji	Fiber Lazer
Üretici Kurum	U.S. Naval Research Laboratory
Işın Gücü (kW)	30
Işın Kalitesi (M ²)	17
Enerji Dönüşüm Verimliliği (%)	25
Dalga Boyu (µm)	1,064
Elektriksel Güç İhtiyacı (kW)	120
Test Safhası	Deniz ortamında test edildi

30 kW'lık çıkış gücüne sahip LaWS, %25 enerji dönüşüm verimliliği ile çalışması durumunda gemi güç sisteminden 120 kW'lık güç çekecektir.

Günümüzde YGLSS'lerde kullanılan lazer teknolojilerini geliştirmeye yönelik çalışmaların sürmesi ve sistemlerin savunma amaçlı kullanımı YGLSS'ler hakkında açık kaynaklarda ayrıntılı bilgilerin bulunmamasına sebep olduğundan, bu çalışmada MLD sistemi referans alınarak diğer sistemlerin ağırlık bilgileri hesaplanacaktır. Çıkış gücü MLD sisteminden az olan sistemlerin MLD sistemi ile aynı ağırlığa sahip olduğu varsayılacak, çıkış gücü MLD sisteminden fazla olan sistemlerin ağırlık bilgileri ise denklem (4) kullanılarak hesaplanacaktır. Denklem (4); sistemlerin çıkış gücü ve ağırlıkları arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılarak türetilmiştir. LaWS sisteminin çıkış gücü MLD sisteminden düşük olduğu için güverte üstü birimleri 600 kg, güverte altı birimleri ise 800 kg kabul edilmiştir. Bu sistemin entegrasyonu ile gemiye toplam 1400 kg'lık bir yük ilave edilmiş olacaktır (Ang, 2012).

$$\text{Yeni Ağırlık} = \left(\frac{\text{Yeni Çıkış Gücü}}{\text{Referans Çıkış Gücü}} \right) \times \text{Referans Ağırlık} \quad (4)$$

2.1.4 Lazer silah sistemi gösterimi

LaWS sisteminin gelişmiş versiyonu olan LWSD (Laser Weapon System Demonstrator), Katı Hal Lazer Geliştirme Programı (Solid-State Laser Technology Maturation (SSL-TM)) kapsamında Northrop Grumman tarafından geliştirilmiş, fiber lazer teknolojisini kullanan, 150 kW'lık çıkış gücüne sahip bir prototip YGLSS'dir. Özellikleri Çizelge 4'de verilen LWSD, Mayıs 2020 tarihinde su üstü savaş gemisine entegre edilerek deniz ortamında sürü bot ve sürü İHA tehditlerine karşı başarıyla test edilmiştir (O'Rourke, 2022). 2024 yılında çalışmaların tamamlanarak sistemin sökülmesi planlanmaktadır.

Çizelge 4. LWSD sisteminin özellikleri (O'Rourke, 2022).

Özellikler	Açıklama
Teknoloji	Fiber Lazer
Üretici Kurum	Northrop Grumman
Işın Gücü (kW)	150
Işın Kalitesi (M ²)	17
Enerji Dönüşüm Verimliliği (%)	25
Dalga Boyu (µm)	1,064
Elektriksel Güç İhtiyacı (kW)	600
Test Safhası	Deniz ortamında test edildi

150 kW'lık çıkış gücüne sahip LWSD, %25 enerji dönüşüm verimliliği ile çalışması durumunda gemi güç sisteminden 600 kW'lık güç çekecektir.

Bu çalışmada LWSD sisteminin ağırlık bilgileri denklem (4) kullanılarak, MLD sisteminin ağırlık bilgilerinin çıkış güçleri oranı kadar artırılması ile bulunmuştur. Yeni çıkış gücü 150 kW, referans çıkış gücü 105 kW ve referans ağırlık 1400 kg alınırsa bu sistemin entegrasyonu ile gemiye toplam 2100 kg'lık bir yük ilave edilmiş olacaktır.

2.1.5 Su üstü gemileri lazer silah sistemi

HELIOS (High-Energy Laser with Integrated Optical dazzler and Surveillance), Lockheed Martin tarafından geliştirilmiş, fiber lazer teknolojisini kullanan 60 kW'lık çıkış gücüne sahip bir YGLSS'dir. Özellikleri Çizelge 5'de verilen HELIOS Sistemi 2022 yılında su üstü savaş gemisine entegre edilerek deniz testlerine hazır hale getirilmiştir (O'Rourke, 2022). Sistemin geliştirilmesinde LaWS ve LWSD sistemlerinden elde edilen tecrübeden yararlanılmıştır.

60 kW'lık çıkış gücüne sahip LWSD, %25 enerji dönüşüm verimliliği ile çalışması durumunda gemi güç sisteminden 240 kW'lık güç çekecektir.

Çizelge 5. HELIOS sisteminin özellikleri (O'Rourke, 2022).

Özellikler	Açıklama
Teknoloji	Fiber Lazer
Üretici Kurum	Northrop Grumman
Işın Gücü (kW)	60
Işın Kalitesi (M ²)	17
Enerji Dönüşüm Verimliliği (%)	25
Dalga Boyu (µm)	1,064
Elektriksel Güç İhtiyacı (kW)	240
Test Safhası	Deniz ortamında test edilecektir

HELIOS sisteminin çıkış gücü MLD sisteminden düşük olduğu için güverte üstü birimleri 600 kg, güverte altı birimleri ise 800 kg kabul edilmiştir. Bu sistemin entegrasyonu ile gemiye toplam 1400 kg'lık bir yük ilave edilmiş olacaktır.

2.1.6 Yüksek güçlü lazer sistemi (IŞIN Projesi)

IŞIN projesi kapsamında; Savunma Sanayii Başkanlığı koordinesinde, TÜBİTAK BİLGEM tarafından yüksek güçlü lazer sistemi (YGLS) geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Bu kapsamda geliştirilen ilk ürün olan Araca Monte Milli Lazer Sistemi (ARMOL), fiber lazer teknolojisini kullanan, 20 kW'lık çıkış gücüne sahip bir YGLSS'dir. Özellikleri Çizelge 6'da verilen ARMOL TSK'nın hizmetine sunulan Türkiye'nin ilk askeri standartlara uygun milli lazer sistemidir (İnt. Kyn. 2). Gelecek yıllarda IŞIN projesi kapsamında su üstü savaş gemisine uyarlanarak entegre edilebileceği değerlendirilmektedir.

YGLS'nin enerji dönüşüm verimliliği açık kaynaklardan bulunamadığı için muadilleri ile aynı olacağı varsayılarak %25 kabul edilmiştir. 20 kW'lık çıkış gücüne sahip YGLS, gemi güç sisteminden 80 kW'lık güç çekecektir.

Çizelge 6. YGLS'nin özellikleri.

Özellikler	Açıklama
Teknoloji	Fiber Lazer
Üretici Kurum	TÜBİTAK BİLGEM
Işın Gücü (kW)	20
Işın Kalitesi (M ²)	2
Enerji Dönüşüm Verimliliği (%)	25
Dalga Boyu (µm)	1,064
Elektriksel Güç İhtiyacı (kW)	80

ARMOL deniz versiyonu olacak YGLS'nin çıkış gücü MLD sisteminden düşük olduğu için güverte üstü birimleri

600kg, güverte altı birimleri ise 800kg kabul edilmiştir. Bu sistemin entegrasyonu ile gemiye toplam 1400kg'lık bir yük ilave edilmiş olacaktır.

2.2 Türk deniz kuvvetleri envanterindeki savaş gemileri

Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı envanterinde Çizelge 7'de ayrıntıları verilen 16 adet firkateyn, 9 adet korvet, 18 adet hücumbot bulunmaktadır. Ayrıca Çizelge 7'de yer almayan denizaltı, mayın avlama gemisi ve yardımcı sınıf gemiler de mevcuttur. YGLSS entegrasyonu kapsamında montaj için tahsis edilecek alan ve gemiden çekilecek elektriksel güç ihtiyacı inceleneceğinden bu bölümde verilen bilgiler bu iki kriter ile sınırlı tutulmuştur.

Savaş gemilerinde dizel jeneratörler tarafından üretilen elektrik enerjisi; silah sistemleri, seyir sistemleri, muhabere sistemleri ve diğer sistemler tarafından kullanılmaktadır. Mevcut savaş gemilerine yeni bir sistem entegre edebilmek için sistemin ihtiyacı olan elektrik enerjisi gemi alt yapısı tarafından sağlanıyor olması gerekmektedir.

Bu çalışmada; belirlenen senaryolar çerçevesinde tespit edilen YGLSS çıkış güçleri, gemi altyapısı tarafından sağlanacak elektrik enerjisi ile karşılaştırılarak entegrasyonun uygun olup olmadığı değerlendirilecektir. Ancak Türk Deniz Kuvvetlerinin envanterindeki savaş gemilerindeki dizel jeneratörler tarafından üretilen elektrik enerjisi miktarlarının açık kaynaklarda bulunmaması nedeniyle bu değerler açık kaynaklarda bulunabilen her savaş gemisinin kendine ait tahrik sisteminin gücünün %10'u kadar olacağı; bu değerinde %15'inin savaş ortamında YGLSS tarafından kullanılabilmesi (Ang, 2012) varsayılmıştır. Sivil firma tarafından üretilmiş Yeni Tip Karakol Botu gemisinin teknik özellikler (İnt. Kyn. 5) incelendiğinde; tahrik sistemi her biri 2720 kW iki adet dizel makine ile sağlandığını, elektrik enerjisinin ise her biri 250 kW iki adet dizel jeneratör ile sağlandığını ve bu değerinde tahrik sisteminin yaklaşık %10'u kadar olduğu tespit edilmiştir.

Türk Deniz Kuvvetlerinin envanterindeki gemiler Çizelge 7'de verilen teknik özellikleri açısından incelendiğinde firkateynler ve korvetlerin hem fiziki yer ihtiyacı hem de elektrik enerjisi açısından YGLSS entegrasyona daha uygun oldukları görülmektedir. Yapılan/yapılacak olan modernizasyon projeleri ile gemilerin gelişmiş silah ve sensör sistemlerine sahip olması sağlanmaktadır ancak halihazırda hiçbir savaş gemisinde lazer silah sistemi bulunmamaktadır.

Çizelge 7. Türk Deniz Kuvvetleri envanterindeki savaş gemileri.

Sınıfı	Sayısı (Adet)	Boyu (m)	Ağırlığı (ton)	Tahrik Sistemi için Üretilen Güç (MW)	Tahmini Elektriksel Güç (MW)	YGLSS için kullanılabilir Tahmini Elektriksel Güç (kW)
Fırkateynler						
GABYA (İnt. Kyn. 6)	8	135	4100	30,5	3,05	458
BARBAROS (İnt. Kyn. 7)	4	118	3380	53,43	5,34	801
YAVUZ (İnt. Kyn. 8)	4	115	2919	22	2,2	330
Korvetler						
ADA (İnt. Kyn. 9)	4	99,5	2300	31,64	3,16	475
BURAK (İnt. Kyn. 10)	5	80	1325	8,82	0,88	132
Hücumbotlar						
DOĞAN (İnt. Kyn. 11)	3	58	436	13	1,3	195
RÜZGAR (İnt. Kyn. 12)	4	58	410	13	1,3	195
YILDIZ (İnt. Kyn. 13)	2	58	433	11,1	1,1	167
KILIÇ (İnt. Kyn. 14)	9	62	548	11,1	1,1	167

3. Bulgular ve Tartışma / Results and Discussions

3.1 Tehdit senaryoları ve güç ihtiyacının hesabı

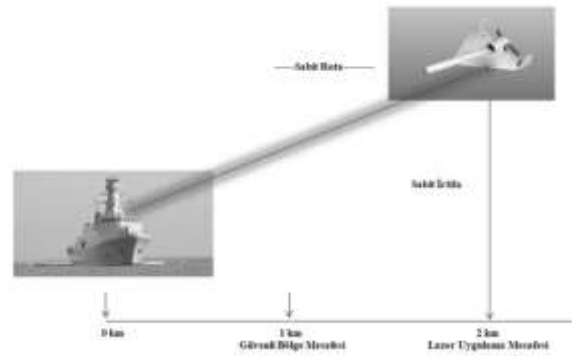
Gemilerde mevcut sensörler aracılığıyla tespit edilen tehditler, gemiler için tehlikeli olacak mesafeye gelmeden önce takip edilmeye başlanır ve imha edilmek istenir. Amaç hedefleri mümkün olduğunca uzak mesafelerde etkisiz hale getirmektir ancak daha uzak mesafelerdeki hedefleri imha etmek için daha büyük boyutlarda ve daha yüksek çıkış gücüne sahip sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada iki adet tehdit senaryosu belirlenmiştir. Birinci senaryoda, Şekil 1'de, hem saldırı hem de istihbarat amacıyla kullanılan kamikaze dron (gezici mühimmat ya da bomba yüklü İHA), ikinci senaryoda, Şekil 2'de, hem saldırı hem de istihbarat amacıyla kullanılan bomba yüklü İDA etkisiz hale getirilecektir. Her iki senaryoda hedeflerin gemiye sabit hız, sabit irtifa, sabit rota ve YGLSS'nin görüş açısından yaklaştıkları varsayılmıştır. Meydana gelebilecek patlamalardan etkilenmemesi için geminin güvenlik mesafesi 1 km olarak belirlenmiştir (Ang, 2012). Senaryo 1 ve Senaryo 2'de tehditlerin en geç 1 km mesafede imha edilmesi hedeflenmektedir.

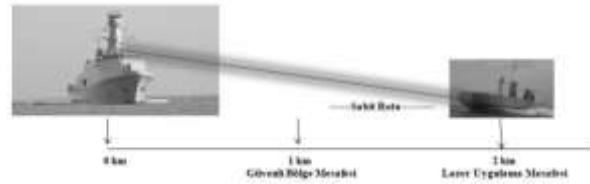
Bu bölümde senaryolar çerçevesinde tehditleri etkisiz hale getirecek YGLSS'nin çıkış gücü hesaplanmıştır.

3.1.1 Kamikaze dronu etkisiz hale getirmek için ihtiyaç duyulan YGLSS çıkış gücünün hesaplanması

İlk olarak Çizelge 8'de özellikleri verilen örnek kamikaze dronun (İnt. Kyn. 15) tehdit olarak savaş gemisinin üzerine geldiği varsayılarak imha edilebilmesi için uygulanacak çıkış gücü hesaplanmıştır. Örnek alınan kamikaze dron alüminyum malzemesinden yapılmıştır ve malzeme kalınlığı 2 mm'dir (Michnewich, 2018).



Şekil 1. Kamikaze dron imha senaryosu



Şekil 2. Bomba yüklü İDA imha senaryosu

Çizelge 8. Örnek kamikaze dron (IAI Harpy) özellikleri

Özellikler	Açıklama
Uzunluk (m)	2,7
Kanat Açıklığı (m)	2,1
Maksimum Hız (m/s)	51
Patlayıcı (kg)	32

Bir kamikaze dronun etkisiz hale getirilmesi, üretildiği malzemenin ısıtılması ve eritilmesi ile sağlanabilir. Kamikaze drona verilecek her hangi bir hasar aerodinamiği ve stabiliteyi etkiler ve görev yapamaz hale getirir. Çizelge 9'deki bilgiler ile kamikaze dronun etkisiz hale getirilmesi için ihtiyaç duyulan çıkış gücü aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

Çıkış gücünü hesaplamak için kullanılan önemli parametrelerden biri birim alana düşen enerji miktarı olarak tanımlanan enerji yoğunluğu (F_{-}) ya da enerji akısıdır ve denklem (5) ile verilir (İnt. Kyn. 16).

$$F_{-} = \frac{E}{A} (J/cm^2) \quad (5)$$

Burada, E lazerin enerjisi, A aydınlanan alana (spot alanına) karşılık gelmektedir.

Malzemelerin ısısını artırmak ve erime noktasına çıkarmak için, uygulanacak enerji yoğunluğu, denklem (6) ile hesaplanır (İnt. Kyn. 17). Hesaplama ortam sıcaklığı T_{ORTAM} 300 K olarak alınmıştır.

$$F = \{C_p(T_{ERİME} - T_{ORTAM}) + \Delta H_{FÜZYON}\} \rho h \quad (6)$$

Çizelge 9. Örnek olarak seçilen kamikaze dronun imal edildiği malzemeye ait değerler

Simge	Tanım	Alüminyum (Michnewich, 2018)
Cp	Özısı (J/g-K)	0,9
$T_{ERİME}$	Erime Sıcaklığı (K)	934
$\Delta H_{FÜZYON}$	Füzyon Isısı (J/g)	387
ρ	Yoğunluğu (g/cm ³)	2,95
h	Malzeme Kalınlığı (mm)	2
F	Hesaplanan Enerji Yoğunluğu (J/cm ²)	565

Kamikaze dronun etkisiz hale getirilmesi için ihtiyaç duyulan enerji yoğunluğu 565 J/cm² dir.

Çıkış gücünü hesaplamak için kullandığımız diğer bir parametre ise birim alana düşen optik güç olarak ifade edilen güç yoğunluğudur ve denklem (7) ile verilir (İnt. Kyn. 18).

$$I = \frac{P}{A} (W/cm^2) \quad (7)$$

Burada, P optik güç, A ise aydınlanan alana karşılık gelmektedir.

Güç yoğunluğu denklem (7) ile ifade edildiği gibi enerji yoğunluğunun uygulama süresine bölünmesiyle bulunabilir. YGLSS'ler ısınma probleminden dolayı uzun süre lazer üretemezler. Bu süre soğutma altyapısının kapasitesine bağlı olarak farklı değerlerde olabilir. Bu çalışmada uygulama süresi 10 sn olarak kabul edilmiştir

(Michnewich, 2018). YGLSS çıkış gücü ve gemi iklimlendirme altyapısına bağlı olarak 1 sn, 5 sn ve 20 sn gibi farklı uygulama süreleri kullanılabilir.

$$I = \frac{F}{t} (W/cm^2) \quad (8)$$

Denklem (8)'e göre kamikaze dronun etkisiz hale getirilmesi için t=10 s boyunca, F=565 J/cm² enerji yoğunluğu uygulanırsa I=56,5 W/cm² güç yoğunluğu elde edilir.

Hedefi etkisiz hale getirecek çıkış gücünü hesaplamak için kullanılan enerji ve güç yoğunluğuna ilave olarak diğer önemli bir parametre hedefin yansıtıcılığıdır. Hedef yüzeyine bağlı olarak gelen ışık, tek bir açı ile yansıtılabilir veya birden fazla farklı açı ile yansıtılabilir. Genel olarak hedef yüzeyleri lazer dalga boyları için oldukça pürüzlüdür ve farklı açılar ile yansıtma davranışı daha baskındır. Yansıtıcılığın (R) lazer gücüne etkisi denklem (9) ile tanımlanmaktadır (İnt. Kyn. 19). Bu çalışmada alüminyumun yansıtıcılık oranı %85 (Michnewich, 2018); dron yüzeyinin mat siyah boyasının (Jha, 2016) yansıtıcılık oranı %4 (Sabatini vd.,2010) olarak kabul edilmiştir.

$$I(\text{yeni}) = I \times \frac{100}{(100-R)} (W/cm^2) \quad (9)$$

Yansıtıcılığın etkisi hesaba dahil edildiğinde; I=56,5 W/cm², alüminyum için R=85, yeni güç yoğunluğu I(yeni)=376,7 W/cm², siyah mat boya için R=4, yeni güç yoğunluğu I (yeni) = 392 W/cm² olarak hesaplanır.

Lazer demetinin odaklandığı alan küçüldükçe yıkıcı etkisi artar. Bu nedenle lazer demetinin mümkün olan en küçük noktaya odaklanması hedeflenir. Ancak demet odaklanmasını bozan bazı faktörler vardır ve kırımın bunlardan biridir. Işığın karşılaştığı bazı engelleri yolunu değiştirerek geçmesi olarak tanımlanan kırınımdan dolayı aydınlanan alan boyutları (S) daha geniş olmaktadır ve denklem (10)'de verilmiştir (İnt. Kyn. 20).

$$S > \frac{\lambda R}{D} \quad (10)$$

Burada; λ dalga boyu, R hedefin mesafesi ve D ise açıklık çapıdır. Kısa mesafelerde kamikaze dronları imha etmek, kısa mesafelerde daha az titreşim meydana gelmesi ve zayıflamadan dolayı meydana gelen kayıpların az olması nedeniyle uzun mesafelere göre daha kolaydır. Ancak lazer silahının kullanımını sadece güvenlik mesafesi ile sınırlandırmayacağımız için daha uzun menzilde YGLSS'nin

etkinliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada YGLSS'lerin kısa mesafe savunma sistemi olduğu varsayılarak etkinlik mesafesi 3 km (O'Rourke, 2022), açıklık çapı ise 30 cm kabul edilecektir (Taylor, 2021).

3 km mesafede $\lambda = 1 \mu\text{m}$, $D = 30 \text{ cm}$, ve $R = 3 \text{ km}$ kabul edilirse denklem (10)'a göre hedef nokta genişliği (aydınlanan alan) 1 cm den daha büyük olacaktır.

Lazer demet yönlendiricisindeki salınımdan veya takip hatasından kaynaklanan demet titreşimi etkisi aynı zamanda hedef nokta genişliğini de etkiler.

Titreşim değerinin spot alan üzerindeki etkisi denklem (11) ile ifade edilir (Fussman, 2014).

$$w \approx Q_{\text{rms}} \ell \quad (11)$$

Q_{rms} titreşimden kaynaklı açısal değişimi, ℓ ise hedefe olan mesafedir.

Titreşimden kaynaklı açısal değişim 5 μrad (Michnewich, 2018) kabul edilirse, 3 km'de hedef nokta genişliği (yarıçapı) yaklaşık 2,5 cm ve hedef nokta alanı (aydınlanan alan) 4,9 cm^2 olur.

Denklem (9) ile cm^2 başına 392 W olarak bulunan güç yoğunluğu, 4,9 cm^2 olarak belirlenen hedef nokta alanı için hesaplandığında hedef kamikaze dronu etkisiz hale getirmek için ihtiyaç duyulan minimum optik güç 1,92 kW olarak bulunur.

Lazer demeti atmosferde yayıldığı için gazlar tarafından soğurulma ile ortaya çıkan atmosferik kayıplardan dolayı güçte azalma olur. Bu azalma denklem (12) ile ifade edilir (Weichel, 1990).

$$\tau(R) = \frac{P(R)}{P(0)} = e^{-\sigma R} \quad (12)$$

Burada $\tau(R)$ R mesafedeki iletkenliği, $P(R)$ R mesafedeki lazer gücünü, $P(0)$ kaynaktaki lazer gücünü, σ ise güçteki azalma katsayısını ifade etmektedir.

Troposferde yağışsız ortamda, %80 bağıl nem ve 10 km görüş mesafesi koşulları altında güçteki azalma katsayısı, $\sigma = 0,1424 \text{ km}^{-1}$ dir (Ang, 2012).

Kayıp katsayısının dB/km olarak ifadesi denklem (13) ile hesaplanır.

$$10^{-0,1424R} = e^{-\sigma R} \quad (13)$$

Burada A, mesafeye bağlı kayıp katsayısı olan $0,1424 \text{ km}^{-1}$ in dB/km olarak ifadesidir ve 0,6 dB/km olarak hesaplanır.

Hedefin imhası için mesafeden bağımsız olarak $P(R)$ 'nin 1,92 kW olması gerekmektedir. Atmosferik kayıpları dikkate alarak YGLSS çıkış gücü denklem (12) kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 10'da verilmiştir.

Hedefi 1 km mesafede etkisiz hale getirebilmek için denklem 12'de $P(1) = 1,92 \text{ kW}$, $\sigma = 0,6 \text{ dB/km}$ ise $P(0) = 3,5 \text{ kW}$ olarak hesaplanır; 2 km mesafede etkisiz hale getirebilmek için denklem 12'de $P(2) = 1,92 \text{ kW}$, $\sigma = 0,6 \text{ dB/km}$ ise $P(0) = 6,4 \text{ kW}$ olarak hesaplanır; 3 km mesafede etkisiz hale getirebilmek için denklem 12'de $P(3) = 1,92 \text{ kW}$, $\sigma = 0,6 \text{ dB/km}$ ise $P(0) = 11,6 \text{ kW}$ olarak hesaplanır.

Sistemin enerji dönüşüm verimliliği %25 kabul edilirse, denklem (14) kullanılarak 1 km mesafe için optik güç = 3,5 kW, enerji dönüşüm verimliliği 0,25 ise sistemin elektriksel güç ihtiyacı 14 kW olarak hesaplanır.

$$\text{Elektriksel Güç} = \frac{\text{Optik Güç}}{\text{Enerji Dönüşüm Verimliliği}} \quad (14)$$

Mesafeye bağlı gemiden çekilecek güç ihtiyacı da Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Mesafelere bağlı YGLSS çıkış gücü ve elektriksel güç

Senaryo	Hedef Mesafesi (km)	YGLSS Çıkış Gücü (kW)	Elektriksel Güç (kW)
S1	0	1,92	-
S1	1	3,5	14
S1	2	6,4	25,6
S1	3	11,6	46,4

Hedef kamikaze dronun, güvenlik mesafesi olan 1 km'de etkisiz hale getirilebilmesi için; hedefin hızı 51 m/s ve imha süresi 10 sn dikkate alınır en az 500 m önceden lazer uygulamaya başlanması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte kamikaze dronların hızları artarsa bu mesafe de artacaktır. Bu nedenle bu çalışmada savaş gemileri altyapısı ile karşılaştırmak için kullanacağımız değer; 2 km mesafede kamikaze dronu etkisiz hale getirmek için ihtiyacımız olan YGLSS çıkış gücü 6,4 kW olacaktır.

3.1.2 Bomba yüklü insansız deniz aracını etkisiz hale getirmek için ihtiyaç duyulan YGLSS çıkış gücünün hesaplanması

İlk olarak Çizelge 11'de özellikleri verilen örnek bomba yüklü İDA'nın (İnt. Kyn. 21) tehdit olarak savaş gemisinin üzerine geldiğini varsayarak imha edilebilmesi için uygulanacak çıkış gücü hesaplanmıştır. Örnek alınan İDA

alüminyum malzemeden yapılmıştır, malzeme kalınlığının ise 3 mm'dir (Michnewich, 2018).

Çizelge 11. Örnek bomba yüklü İDA özellikleri

Özellikler	Açıklama
Uzunluk (m)	12
Genişlik (m)	3,4
Maksimum Hız (m/s)	18
Patlayıcı	Mazotlu Amonyum Nitrat

Bir botun imha edilmesi için önce teknenin lazer ile delinmesi sonra da içerideki bombanın aktif hale getirilmesi gerekmektedir. Botun içine yüklenen patlayıcının amonyum nitrat ve mazot hammaddelerinden yapıldığı varsayılarak bombanın imhası, amonyum nitratın erime noktasına kadar ısıtılıp patlaması sağlanarak gerçekleştirilecektir. Patlama etkisi patlayıcı içerisindeki mazot ile artırılmaktadır.

Bomba yüklü İDA'yı imha etmek için ihtiyaç duyulan güç seviyesi Çizelge 12'de verilen değerler kullanılarak denklem (6) ile hesaplanır. Bu hesaplamada ortam sıcaklığı T_{ORTAM} 300 K olarak alınmıştır.

Çizelge 12. Örnek olarak seçilen bomba yüklü İDA ve bombanın imal edildiği malzemeye ait değerler

Simge	Tanım	Teknede Delik Açılması	Patlayıcının Aktif Hale Getirilmesi
		Alüminyum (Michnewich, 2018)	Amonyum Nitrat (Ang, 2012)
C_p	Özısı (J/g-K)	0,9	1,7
$T_{ERİME}$	Erime Sıcaklığı (K)	934	443
$\Delta H_{FÜZYON}$	Füzyon Isısı (J/g)	387	76,3
ρ	Yoğunluğu (g/cm ³)	2,95	1,29
h	Malzeme Kalınlığı (mm)	3	5
F	Hesaplanan Enerji Yoğunluğu (J/cm ²)	847	206

Bombaya lazer uygulanarak, bombanın 5 mm kadar delinmesi ve patlamasına sebep olunacak, böylece bomba yüklü İDA etkisiz hale getirilmesi sağlanacaktır. Teknenin delinmesi için ihtiyaç duyulan enerji yoğunluğu, 847 J/cm², hem teknenin delinmesi için hem de patlayıcının varsa kutusunun delinmesi ve aktif hale getirilmesi için yeterlidir.

Denklem (8)'e göre bomba yüklü İDA'nın teknesinin delinmesi için $t=10$ s boyunca, $F=847$ J/cm² enerji yoğunluğu uygulanırsa $I=84,7$ W/cm² güç yoğunluğu elde edilir; bombanın aktif hale getirilmesi için $t=10$ sn boyunca, $F=206$ J/cm² enerji yoğunluğu uygulanırsa $I=20,6$ W/cm² güç yoğunluğu elde edilir. Teknenin delinmesi için ihtiyaç duyulan güç yoğunluğu aynı zamanda bombayı aktif hale getirmek için yeterli olduğu için sonraki hesaplar bomba için tekrarlanmayacaktır.

Hedef malzemenin yansıtıcılık özelliğinin güç yoğunluğu üzerindeki etkisi denklem (9) ile ifade edilmiştir. Hedefin %85 oranındaki yansıtıcılık ile yeni güç yoğunluğu $I(\text{yeni})=565$ W/cm² olarak hesaplanır.

Aydınlanan alan veya hedef nokta genişliği (S) denklem (10) ile verilmektedir. 3 km uzaktaki hedef için $\lambda=1\mu\text{m}$ ve $D=30$ cm kabul edilirse hedef nokta genişliği 1 cm'den daha büyük olacaktır.

Hedef nokta genişliği, lazer demet yönlendiricisindeki salınımdan veya takip hatasından kaynaklanan demet titreşiminden etkilenir. Titreşim değerinin hedef nokta genişliği üzerindeki etkisi denklem (11) ile ifade edilir. Titreşimden kaynaklı açısal değişim 5 μrad (Michnewich, 2018) kabul edilirse, 3 km'de hedef nokta genişliği yaklaşık 2,5 cm ve hedef nokta alanı 4,9 cm² olur. Denklem (9) ile cm² başına 565 W olarak bulunan güç yoğunluğu, 4,9 cm² olarak belirlenen hedef nokta alanı için hesaplandığında hedef bomba yüklü İDA'yı etkisiz hale getirmek için ihtiyaç duyulan minimum optik güç 2,77 kW olarak hesaplanır.

Deniz çevresinde yağışsız ortamda, %80 bağıl nem ve 10 km görüş mesafesi koşulları altında kayıp katsayısı $\sigma=0,3423$ km⁻¹ dir. Kayıp katsayısını dB/km olarak ifadesi denklem (10) ile 1,5 dB/km olarak hesaplanır.

Hedefin imhası için mesafeden bağımsız olarak P(R)'nin 2,77 kW olması gerekmektedir. YGLSS çıkış gücü, atmosferik kayıplar dikkate alınarak denklem (12) ile hesaplanmış ve Çizelge 13'de verilmiştir.

Hedefi 1 km mesafede etkisiz hale getirebilmek için denklem (12)'de $P(1)=2,77$ kW, $\sigma = 1,5$ dB/km ise $P(0)=12,4$ kW olarak hesaplanır; 2 km mesafede etkisiz hale getirebilmek için denklem (12)'de $P(2)=2,77$ kW, $\sigma=1,5$ dB/km ise $P(0)=55,6$ kW olarak hesaplanır; 3 km mesafede etkisiz hale getirebilmek için denklem (12)'de $P(3)=2,77$ kW, $\sigma=1,5$ dB/km ise $P(0)=249,3$ kW olarak hesaplanır.

Sistemin enerji dönüşüm verimliliği %25 kabul edilirse, denklem (14) kullanılarak, 1 km mesafede Optik güç=4,5 kW, enerji dönüşüm verimliliği 0,25 ise sistemin elektriksel güç ihtiyacı 49,6 kW olarak hesaplanır. Farklı mesafeler için belirlenen çıkış güçleri ve gemiden çekilecek güç miktarı Çizelge 13'de verilmektedir.

Çizelge 13. Mesafelere bağlı YGLSS çıkış gücü ve elektriksel güç

Senaryo	Hedef Mesafesi (km)	YGLSS Çıkış Gücü (kW)	Elektriksel Güç (kW)
S2	0	2,77	-
S2	1	12,41	49,6
S2	2	55,6	222,4
S2	3	249,3	997,2

Hedef bomba yüklü İDA'nın, güvenlik mesafesi olan 1 km'de etkisiz hale getirilebilmesi için; hedefin hızı 18 m/s ve imha süresi 20 sn (teknenin delinmesi ve bombanın aktif hale getirilmesi) dikkate alınır 360 m önceden lazer uygulamaya başlanması gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte bomba yüklü İDA'ların hızları artarsa bu mesafe de artacaktır; ancak bu çalışmada bu mesafenin etkisi dikkate alınmayacak, savaş gemileri altyapısı ile karşılaştırmak için 1 km mesafede bomba yüklü İDA'yı etkisiz hale getirmek için ihtiyacımız olan 12,41 kW YGLSS çıkış gücü kullanılacaktır.

4. Sonuçlar / Conclusions

YGLSS'lerin bir savaş gemisine entegrasyonu için ihtiyaç duyulacak yerleşim alanı ve elektriksel güç ihtiyacı, belirlenen tehdit ve imha senaryoları çerçevesinde yağışsız hava koşulları için hesaplanmış ve Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın envanterindeki savaş gemilerinin teknik alt yapıları incelenerek entegrasyon için uygunlukları değerlendirilmiştir.

Tehdit olarak belirlenen kamikaze dron ve bomba yüklü İDA'yı güvenlik mesafesine girmeden önce etkisiz hale getirecek YGLSS çıkış gücü sırasıyla 6, 4 kW ve 12,41 kW olarak hesaplanmıştır. Bu değerler tüm YGLSS'ler tarafından karşılanmaktadır ve Çizelge 14'de sunulmuştur.

Çizelge 14. YGLSS çıkış güçleri ile ihtiyaç duyulan elektriksel güç karşılaştırma tablosu

Sistem	Çıkış Gücü (kW)	İhtiyaç Duyulan Çıkış Gücü (kW)	
		S1_2	S2_1
		6,4	12,41
YGLS	20	✓	✓
LAWS	30	✓	✓
HELIOS	60	✓	✓
MLD	105	✓	✓
LWSD	150	✓	✓

YGLSS'lerin boyut ve ağırlık bilgileri bölüm 2.1'de belirtilen kabuller doğrultusunda belirlenmiş ve Çizelge 15'de sunulmuştur.

Bu kapsamda; savaş gemisini belirlenen tehditlere karşı koruyabilen, bölüm 2.1'de özellikleri verilen YGLSS'lerin Türk Deniz Kuvvetleri envanterindeki savaş gemilerine entegrasyonuna yönelik değerlendirmeler firkateynler

için Çizelge 16'da, korvetler için Çizelge 17'de, hücum botları için Çizelge 18'de sunulmuştur.

Çizelge 15. YGLSS'lerin boyut ve ağırlık bilgileri

Sistem	Çıkış Gücü (kW)	Hacim (m ³)	Ağırlık (kg)
YGLS	20	14	1400
LAWS	30	14	1400
HELIOS	60	14	1400
MLD	105	14	1400
LWSD	150	21	2100

Yapılan değerlendirme kriterleri şunlardır: YGLSS ağırlığının platformların ağırlıklarının %1'ini aşmaması gerektiği kabul edilmiştir; YGLSS'nin kullanabileceği elektriksel gücün dizel jeneratörlerin ürettiği varsayılan değerlerin %15'ini aşmaması gerektiği kabul edilmiştir (Ang, 2012).

Tablolarda; entegrasyon küçük tadilatlar ile yapılabilir durumda "✓" işareti, entegrasyondan önce önemli tadilatlar gerekeceği değerlendirilen durumlarda "±" işareti, entegrasyon yapılamaz durumda "-" işareti kullanılmıştır.

Çizelge 16 incelendiğinde; firkateynler 100 m üzeri boyları ve yaklaşık 3000 ton ve üzeri tonajları ile YGLSS entegrasyonu için en uygun savaş gemileridir. Belirlenen senaryolar çerçevesinde güvenliğini sağlayabilecek YGLSS'lerden; ilk üç sistem olan YGLS, LAWS ve HELIOS için elektriksel güç ihtiyacı ve yer ihtiyacı tüm firkateynler tarafından sağlanmaktadır. MLD için GABYA ve BARBAROS sınıfı entegrasyon ihtiyaçlarını sağlayabilirken, LWSD için yalnızca BARBAROS sınıfı entegrasyon ihtiyaçlarını sağlayabilmektedir. Ancak, gemi boyları 100 m ve üstü olduğu için küçük tadilatlar ile entegrasyonun sağlanabileceği değerlendirilmektedir.

Çizelge 17 incelendiğinde; korvetlerden ADA sınıfının YGLSS'lerden ilk üç sistem olan YGLS, LAWS ve HELIOS için elektriksel güç ihtiyacı ve yer ihtiyacını sağlandığı ve küçük tadilatlar ile entegrasyonun gerçekleştirilebileceği, BURAK sınıfının ise sadece YGLS ve LAWS için elektriksel güç ihtiyacı ve yer ihtiyacının sağlandığı ve önemli tadilatlar ile entegrasyonun gerçekleştirilebileceği değerlendirilmektedir.

Çizelge 18 incelendiğinde; tüm hücum botlarının YGLSS'lerden ilk iki sistem olan YGLS ve LAWS için elektriksel güç ihtiyacı ve yer ihtiyacını sağlandığı ve önemli tadilatlar ile entegrasyonun gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir. YGLSS'ler tek tek değerlendirildiğinde ulaşılan sonuçlar şöyle özetlenebilir. İlk sistem olan YGLS'nin, elektriksel güç ihtiyacı tüm gemiler tarafından sağlanmakta, yer ihtiyacı ise boyu 100 m ve üstü gemilerde küçük tadilatlar ile, boyu 100 m altı gemilerde

ise önemli tadilatlar sonrası sağlanabileceği değerlendirilmektedir. İkinci sistem olan LAWS'nin, elektriksel güç ihtiyacı tüm gemiler tarafından sağlanmakta, yer ihtiyacı ise boyu 100 m ve üstü gemilerde küçük tadilatlar ile, boyu 100 m altı gemilerde ise önemli tadilatlar sonrası sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Üçüncü sistem olan HELIOS'un elektriksel güç ihtiyacı fırkateynler ve ADA sınıfı korvetler tarafından sağlanmakta, yer ihtiyacı ise küçük tadilatlar ile sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Dördüncü sistem olan MLD'nin elektriksel güç ihtiyacı GABYA ve BARBAROS sınıfı fırkateynler tarafından sağlanmakta, yer ihtiyacı ise küçük tadilatlar ile sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Beşinci sistem olan LWSD'nin elektriksel güç ihtiyacı yalnızca BARBAROS sınıfı fırkateynler tarafından sağlanmakta, yer ihtiyacı ise küçük tadilatlar ile sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Sonuç olarak; günümüzde yakın mesafe savunma sistemi olarak savaş gemilerinin savunmasında görev alacak YGLSS'lerin boyu 100 m ya da tonajı 2000 ton üzeri savaş

gemilerine entegrasyon için daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

YGLSS entegrasyonu yapılan Amerikan Deniz Kuvvetlerine ait LPD sınıfı (25300 ton ve 208 m) ile DDG (Destroyer, Guided Missile) sınıfı (9200 ton ve 155 m) savaş gemileri de bu tespiti doğrulamaktadır. Bu çalışma ile hangi savaş gemilerin YGLSS entegrasyonu için uygun olduğunun belirlenmesi ile birlikte; tehditlerin belirlenmesinin YGLSS seçiminde önemli olduğu ve seçilen YGLSS'nin inşa edilecek gemilerin tasarımına önemli etkileri olduğu konusunda karar vericilerde farkındalık oluşturulmasına katkı sunulabilir. Müteakiben yapılacak çalışmalarda; birden fazla farklı türde İHA ve İDA'nın aynı anda saldırı düzenlediği senaryoların da gözönünde bulundurulması, elektriksel güç ihtiyacı ve montaj alanına ilave olarak sistem stabilizasyonunun sağlanması, savaş yönetim sistemine entegrasyonu, harici güç batarya kullanımı ve sistem maliyeti gibi ilave konuların da incelenmesi, ayrıca inşası planlanan veya devam eden yüksek tonajlı gemilerinde (amfibi hücum gemisi, hava savunma harbi muhribi vb.) çalışmaya dahil edilmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Çizelge 16. Fırkateynler için entegrasyona uygunluk değerlendirmesi sonuçları

Sınıf	Fırkateyn					
	GABYA	BARBAROS	YAVUZ			
Boy (m)	135	118	115			
Ağırlık (Ton)	4100	3380	2919			
YGLSS için kullanılabilir ağırlık (Ton)	41	34	30			
Tahmini elektriki güç miktarı (MW)	3,05	5,34	2,20			
YGLSS için kullanılacak tahmini elektriki güç miktarı (kW)	458	801	330			
Sistem	Elk. Güç (kW)	Hacim (m³)	Ağırlık (kg)			
YGLS	80	14	1400	✓	✓	✓
LAWS	120	14	1400	✓	✓	✓
HELIOS	240	14	1400	✓	✓	✓
MLD	420	14	1400	✓	✓	-
LWSD	600	21	2100	-	✓	-

Çizelge 17. Korvetler için entegrasyona uygunluk değerlendirmesi sonuçları

Sınıf	Korvet				
	ADA	BURAK			
Boy (m)	99	80			
Ağırlık (Ton)	2300	1325			
YGLSS için kullanılabilir ağırlık (Ton)	23	13			
Tahmini elektriki güç miktarı (MW)	3,16	0,88			
YGLSS için kullanılacak tahmini elektriki güç miktarı (kW)	475	132			
Sistem	Elk. Güç (kW)	Hacim (m³)	Ağırlık (kg)		
YGLS	80	14	1400	✓	±
LAWS	120	14	1400	✓	±
HELIOS	240	14	1400	✓	-
MLD	420	14	1400	-	-
LWSD	600	21	2100	-	-

Çizelge 18. Hücumbotlar için entegrasyona uygunluk değerlendirme sonuçları

Sınıf	Hücumbot			
	DOĞAN	RÜZGAR	YILDIZ	KILIÇ
Boy (m)	58	58	58	62
Ağırlık (Ton)	436	410	433	548
YGLSS için kullanılabilir ağırlık (Ton)	5	4	5	6
Tahmini elektrik gücü miktarı (MW)	1,30	1,30	1,11	1,11
YGLSS için kullanılacak tahmini elektrik gücü miktarı (kW)	195	195	167	167
Sistem	Elk. Güç (kW)	Hacim (m ³)	Ağırlık (kg)	
YGLS	80	14	1400	±
LAWS	120	14	1400	±
HELIOS	240	14	1400	-
MLD	420	14	1400	-
LWSD	600	21	2100	-

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Literatür taraması, Araştırma, Hesaplamaların Yapılması, Sonuçların Analizi, Makalenin Yazımı

Yazar 2: Çalışmanın Planlanması ve Yönlendirilmesi, Sonuçların Değerlendirilmesi ve Yorumlanması, Makalenin Yazımı

Yazar 3: Sonuçların Değerlendirilmesi ve Yorumlanması, Makalenin Yazımı

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar / References

Ang, C.N., 2012. Analysis of High Energy Laser Weapon Employment from a Navy Ship. Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, California, USA, 87

Fussman, C.R., 2014. High Energy Laser Propagation in Various Atmospheric Conditions Utilizing a New, Accelerated Scaling Code. Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, California, USA, 87

Gildemeyer, S.J., Hager, D.B., Liensdorf, D., Malone, A.C., and Mugerditchian, K.A., 2018. Analysis of Shipboard Effects and Coverage for the Integration of a High-Energy Laser on a LPD 17. Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, California, USA, 147

Jha, A. R., 2016. Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles, CRC Press, 256.

Michnewich, D.A., 2018. Modeling Energy Storage Requirements For High-Energy Lasers On Navy Ships. Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, California, USA, 105

O'Rourke R., 2022. Navy Shipboard Lasers: Background and Issues for Congress. Congressional Research Service, **R44175**, 2-21

O'Rourke R., 2015. Navy shipboard lasers for surface, air, and missile defense: Background and issues for Congress. Congressional Research Service, **R41526**, 2-19

Sabatini R. and Richardson M. A., 2010. Airborne Laser Systems Testing and Analysis, Research and Technology Organisation North Atlantic Treaty Organisation, AG-300-V26, 91.

Taylor, A.B., 2021. Counter-Unmanned Aerial Vehicles Study: Shipboard Laser Weapon System Engagement Strategies for Countering Drone Swarm Threats in The Maritime Environment. Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, California, USA, 95

Weichel, H., 1990. Laser beam propagation in the atmosphere, Volume TT3, Roy F.P., USA: SPIE Optical Engineering Press, 12-23.

İnternet kaynakları / Internet References

1- Trevithick J., Here's Our First Look At A HELIOS Laser-Armed Navy Destroyer, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/heres-our-first-look-at-a-helios-laser-armed-navy-destroyer> , (22.05.2023)

2- Araca Monte Milli Lazer Sistemi (ARMOL), <https://bilgem.tubitak.gov.tr/tr/haber/araca-monte-milli-lazer-sistemi-armol> , (22.05.2023)

3- Lister T., A Russian naval base was targeted by drones, <https://edition.cnn.com/2022/10/31/europe/sevastopol-drone-russia-ukraine-grain-intl-cmd/index.html> , (22.05.2023)

4- Axe D., Ukraine's Drone Boats, <https://www.forbes.com/sites/davidaxe/2022/11/20/th>

- e-ukrainian-navy-has-no-big-warships-its-winning-the-
naval-war-anyway-with-drones/?sh=36b5bb214fc5 ,
(22.05.2023)
- 5- <https://www.dearsan.com/pdfler/DEARSAN-57m-Patrol-Vessel.pdf> , (22.05.2023)
- 6- <https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/gabya-sinifi> ,
(22.05.2023)
- 7- [https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/ barbaros-sinifi](https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/barbaros-sinifi)
, (22.05.2023)
- 8- [https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/ yavuz-sinifi](https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/yavuz-sinifi) ,
(22.05.2023)
- 9- <https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/ada-sinifi>,
(22.05.2023)
- 10- <https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/burak-sinifi>,
(22.05.2023)
- 11- <https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/dogan-sinifi>,
(22.05.2023)
- 12- [https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/ ruzgar-sinifi](https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/ruzgar-sinifi),
(22.05.2023)
- 13- <https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/yildiz-sinifi>,
(22.05.2023)
- 14- <https://www.dzkk.tsk.tr/Destek/icerik/kilic-sinifi>,
(22.05.2023)
- 15- Harpy, <https://www.israeli-weapons.com/weapons/aircraft/uav/harpy/HARPY.html>
, (22.05.2023)
- 16- Paschotta R., Fluence, <https://www.rp-photonics.com/fluence.html>, (13.11.2023)
- 17- Polezhaev Y.V., Melting, <https://www.thermopedia.com/content/947/>,
(13.11.2023)
- 18- Paschotta R., Fluence, https://www.rp-photonics.com/power_density.html , (13.11.2023)
- 19- Paschotta R., Reflectivity, <https://www.rp-photonics.com/reflectivity.html>, (13.11.2023)
- 20- Spot Size and Beam Waist, <https://www.gentec-eo.com/laser-calculators/beam-waist-spot-size> ,
(13.11.2023)
- 21- Fleet-class unmanned surface vessel, https://en.wikipedia.org/wiki/Fleet-class_unmanned_surface_vessel , (22.05.2023)