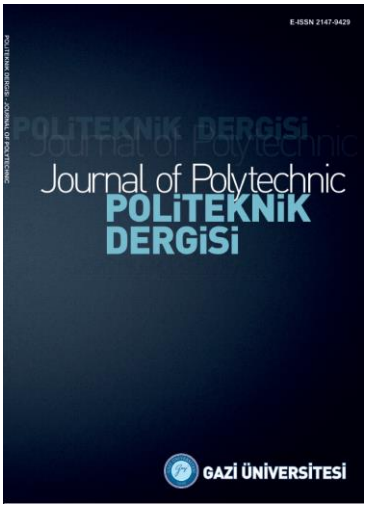


POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)
URL: http://dergipark.org.tr/politeknik

Yüksek performanslı L-band ışık kaynağının geliştirilmesi ve karakterizasyonu

Development and characterization of a high performance L-band light source

***Yazar(lar) (Author(s))**: Özcan AKÇEŞME[1], Murat YÜCEL[2]*

ORCID[1]: 0000-0002-6716-227X

ORCID[2]: 0000-0002-0349-4013

ERKEN GÖRÜNÜM

To cite to this article: Akçeşme Ö., and Yücel M., "Yüksek Performanslı L-Band Işık Kaynağının Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu", ***Journal of Polytechnic***, *(*): *, (*).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Akçeşme Ö., ve Yücel M., "Yüksek Performanslı L-Band Işık Kaynağının Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu", ***Politeknik Dergisi***, *(*): *, (*).

Erişim linki (To link to this article): http://dergipark.org.tr/politeknik/archive

DOI: 10.2339/politeknik.1696912

Yüksek Performanslı L-Band Işık Kaynağının Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu

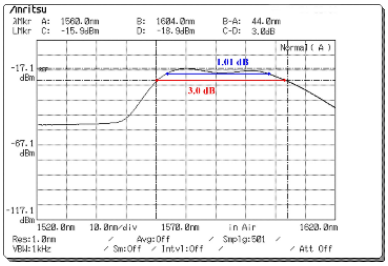
Development and Characterization of a High Performance L-Band Light Source

Önemli noktalar (Highlights)

- *Çift geçişli çift yönlü pompalama konfigurasyonu ve 17 metre Liekki Er30(4/125) EKF kullanılmıştır. / Double-pass bidirectional pumping configuration and 17-meter Liekki Er30(4/125) EDF were utilized.*

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışma, düşük dalgalanma ve yüksek çıkış gücü hedefiyle geliştirilen çift geçişli çift yönlü pompalama konfigurasyonuna dayalı L-band ASE ışık kaynağının tasarımını ve karakterizasyonunu özetlemektedir. / This study summarizes the design and characterization of an L-band ASE light source developed with the aim of low ripple and high output power, based on a double-pass bidirectional pumping configuration.



Şekil. *Düzenekten elde edilen L-band spektrum çıktısı /* ***Figure.*** *L-band spectrum output from the setup*

Amaç (Aim)

B*u çalışma, literatürdeki mevcut problemlere çözüm sunmak amacıyla düşük dalgalanma (ripple) ve yüksek çıkış gücü hedeflenerek özel bir L-band ASE kaynağının geliştirilmesi ve karakterizasyonunu ele almaktadır. / This study addresses the development and characterization of a specific L-band ASE source, aiming for low ripple and high output power to provide solutions to existing problems in the literature.*

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Kurulumda 17 metre Liekki Er30(4/125) EKF ve 980 nm (ileri) ile 1480 nm (geri) pompa lazerleri içeren çift geçişli çift yönlü pompalama konfigürasyonu kullanılmıştır. / The setup employed a double-pass bidirectional pumping configuration including 17 meters of Liekki Er30(4/125) EDF and 980 nm (forward) and 1480 nm (backward) pump lasers.

Özgünlük (Originality)

Çalışma, literatürdeki benzer tasarımlara kıyasla belirgin şekilde daha kısa (17m) EKF kullanarak yüksek performanslı bir L-band ASE kaynağı elde etmesiyle özgündür. / The study is original in achieving a high-performance L-band ASE source by utilizing a significantly shorter (17m) Erbium-Doped Fiber compared to similar designs in the literature.

Bulgular (Findings)

Düzeneğin çıktısı, 1560-1604 nm'de 3 dB dalgalanma ile 44 nm ve 1564-1595 nm'de 1.01 dB dalgalanma ile 31 nm bant genişlikleri göstermiştir. / The setup's output showed bandwidths of 44 nm with 3 dB ripple at 1560-1604 nm and 31 nm with 1.01 dB ripple at 1564-1595 nm.

Sonuç (Conclusion)

Çalışma, L bandında yüksek verim, güç potansiyeli ve düşük dalgalanma sunan başarılı bir ASE kaynağı tasarımı ortaya koymuştur. / The study presents a successful ASE source design offering high efficiency, power potential, and low ripple in the L-band.

Etik Standartların Beyanı (**Declaration of Ethical Standards**)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission or legal-special permission.

Yüksek Performanslı L-Band Işık Kaynağının Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Özcan AKÇEŞME[1,2*], Murat YÜCEL[1,3]

[1]Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye
[2]Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye
[3]Yimi Elektronik Haberleşme Ltd. Şti., Gazi Teknopark, Türkiye

(Geliş/Received : 10.05.2025 ; Kabul/Accepted : 10.06.2025 ; Erken Görünüm/Early View : 02.07.2025)

ÖZ

Bu çalışmada, kendiliğinden yükseltilmiş yayılım (ASE) tabanlı L-band ışık kaynağı geliştirilmiş ve karakterizasyonu yapılmıştır. Literatürdeki mevcut problemlere çözüm sunmak için düşük dalgalanma (ripple) ve yüksek çıkış gücü hedeflenmiş, özel bir L-band ASE kaynağı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çift geçişli çift yönlü pompalama konfigürasyonu kullanılarak, 17 metre uzunluğunda Liekki Er30(4/125) tipi yüksek konsantrasyonlu Erbiyum Katkılı Fiber (EKF) ve iki pompa lazer (980 nm ve 1480 nm) ile 44 nm bant genişliğine ve 3 dB dalgalanmaya ayrıca 31 nm bant genişliğinde 1.01 dB dalgalanmaya sahip bir L-band ASE kaynağı üretilmiştir. Bu özel tasarım sayesinde literatürdeki diğer çalışmalara kıyasla daha kısa EDF kullanılarak, toplam maliyet düşürülmüş ve yüksek performans elde edilmiştir. Çalışma, özellikle fiber optik haberleşme, sensör teknolojileri ve savunma sanayi gibi kritik alanlarda kullanılabilecek ASE ışık kaynaklarına yönelik önemli bir katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ASE, Geniş bant ışık kaynağı, erbiyum katkılı fiber, EKFY.

Development and Characterization of a High Performance L-Band Light Source

ABSTRACT

In this study, an amplified spontaneus emission (ASE) based L-band light source has been developed and characterized. Addressing limitations in current literature, a specific L-band ASE source with low ripple and high output power was designed. Using a double-pass bidirectional pumping configuration, the system employs a 17-meter Liekki Er30(4/125) high-concentration erbium-doped fiber (EDF) and two pump lasers (980 nm and 1480 nm) to achieve an L-band ASE spectrum with a bandwidth of 44 nm and a ripple of 3 dB and with a bandwidth of 31 nm and a ripple of 1.01 dB. The design significantly shortens the EDF length compared to other studies, providing an important cost advantage. This optimized L-band ASE source offers superior performance and is highly applicable in critical fields such as optical communication, sensor technologies, and the defense industry.

Keywords: ASE, broadband light source, erbium-doped fiber, EDFA.

ERKEN GÖRÜNÜM

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Genişbandlı ışık kaynakları tasarlanırken yaygın olarak Kendiliğinden Yükseltilmiş Yayılma (ASE) kullanılır. Bu nedenle genişbandlı ışık kaynakları ASE ışık kaynağı olarak da isimlendirilebilir. Özellikle fiber optik haberleşme sistemleri, optik test ve ölçüm cihazları ve fiber sensörler gibi alanlarda kullanılan ASE kaynakları, yüksek bant genişliği ve düşük maliyet özellikleriyle öne çıkmaktadır. ASE, fiber optik haberleşme, lazer teknolojileri ve optik sensörler gibi birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Tulyum (Tm3+), Erbiyum (Er3+), İterbiyum (Yb3+ veya Yb2+) ve Holmiyum (Ho3+) gibi nadir toprak elementleriyle katkılanan fiberler kullanılarak, 1480 nm ile 2100 nm arasında geniş bir dalga boyu aralığında çalışabilen ASE kaynakları tasarlanabilir [1,2]. Özellikle EKF, yüksek bant genişliği, yüksek çıkış gücü ve dalga boyu kararlılığı gibi avantajlarla ASE üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir [1–29].

ASE kaynakları fiber yükselteçlerin bir giriş sinyali olmadan çalıştırılabilmesi temel prensibini kullanırlar. Özellikle C-band ve L-band gibi farklı spektral bantlarda çalışabilen ASE kaynakları yaygın kullanıma sahip olup L-band (1570-1610 nm), C-band (1530-1565 nm) ile karşılaştırıldığında daha geniş bir spektral aralık sunar ve Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama (WDM – Wavelength Division Multiplexing) sistemlerinde artan kapasite ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynar. Ancak, L-band ASE kaynaklarının üretimi, özellikle kazanç düzleştirme, pompa verimliliği ve çıkış gücü dalgalanmaları açısından teknik zorluklar barındırmaktadır. Bu zorluklar, literatürde çeşitli çözüm önerileri ile ele alınmıştır.

Wang ve arkadaşları, iki aşamalı ve ileri yönde çift pompalamalı yapılar kullanarak yüksek güçlü L-band ASE üretmişlerdir. Benzer şekilde, Espindola ve arkadaşları, tek bir pompa lazer gücünü iki aşamada bölerek 80 nm spektral genişliğe sahip bir ASE kaynağı geliştirmişlerdir [30,31].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ozcanakcesme@gazi.edu.tr

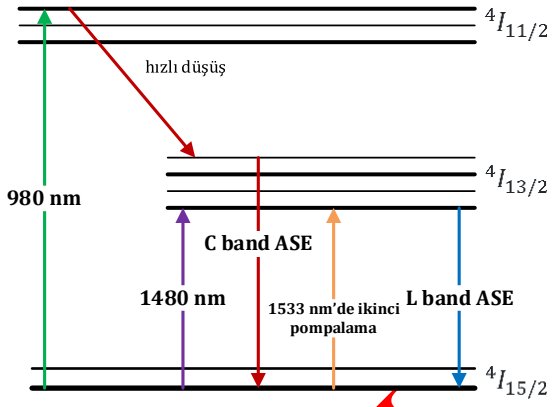
L-band ASE kaynakları, çift yönlü pompalama ve çok aşamalı yükseltme gibi teknikler kullanılarak geliştirilmiştir. Lin ve Chang [26], çift geçişli ve çift yönlü pompalama yapısı kullanarak 81 nm bant genişliğine sahip bir C+L band ASE kaynağı elde etmişlerdir. Benzer şekilde, Al-Azzawi ve arkadaşları, hafnia-bizmut tabanlı EKF'ler kullanarak 57 nm bant genişliğine sahip bir ASE kaynağı geliştirmişlerdir [32].

Bu çalışmada, yüksek güçlü, düşük maliyetli ve düşük dalgalanmaya sahip L-band ASE kaynağı tasarlanarak deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Özellikle pompa konfigürasyonu, EKF uzunluğu ve kazanç düzleştirme teknikleri üzerine odaklanılmıştır. Geliştirilen sistem, literatürdeki mevcut çalışmalardan daha düşük dalgalanmaya ve daha yüksek çıkış gücüne sahip bir ASE kaynağı sunmaktadır.

Makale, giriş bölümü ile başlamakta, ardından ASE'nin teorisi ile devam etmektedir. Deneysel çalışma bölümünde, kullanılan yöntemler ve elde edilen bulgular detaylı bir şekilde sunulmuştur. Son olarak, sonuç bölümünde, literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırmalı bir analiz yapılmış ve gelecekteki çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. L BAND IŞIK ÜRETİMİNİN PRENSİBİ (PRINCIPLE of L BAND LIGHT GENERATION)

Şekil 1'de görüldüğü üzere, EKF, 980 nm dalga boyunda tek bir lazer diyot ile pompalanarak hem C-bandı hem de L-bandı bölgesinde ASE üretebilmektedir. C-bandındaki ASE üretimi, Erbiyum (Er^{3+}) iyonlarının $^4I_{13/2}$ yarı-kararlı enerji seviyesinin Stark bölünmesi sonucu oluşan üst enerji alt seviyelerinden $^4I_{15/2}$ temel haline geçişlerine dayanırken, L-band ASE üretimi ise aynı yarı-kararlı seviyenin alt enerji alt seviyelerinden temel hale geçişler neticesinde gerçekleşir. Bu süreçte, 980 nm pompa ışığı öncelikle fiberin giriş bölümünde C-band ASE'yi oluşturur. Daha sonra bu C-band ASE, fiber boyunca ilerleyerek ikincil bir pompa kaynağı görevi görür ve L-band ASE'nin oluşumunu tetikler. Er^{3+} kazanç spektrumunda L-bandının göreceli olarak daha düşük kazanç bölgesinde bulunması ve bu banttaki ASE veriminin C-bandına kıyasla yaklaşık 3-4 kat daha zayıf olması sebebiyle, L-band üretimini artırmak için sıklıkla çift soğurma prensibine dayalı olarak ya uzun EKF ya da yüksek erbiyum konsantrasyonuna sahip fiberler tercih edilir. Bununla birlikte, fiber uzunluğunun optimize edilenden fazla olması toplam çıkış gücünde azalmaya yol açabilirken, katkı konsantrasyonunun aşırı yüksek olması da silika matris içinde iyon kümelenmesi gibi istenmeyen kristal yapılarının oluşumuna neden olarak ASE üretim verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir [33,34].



Şekil 1. Er3+ iyonlarının enerji seviyeleri (Energy level of Er3+ ions)

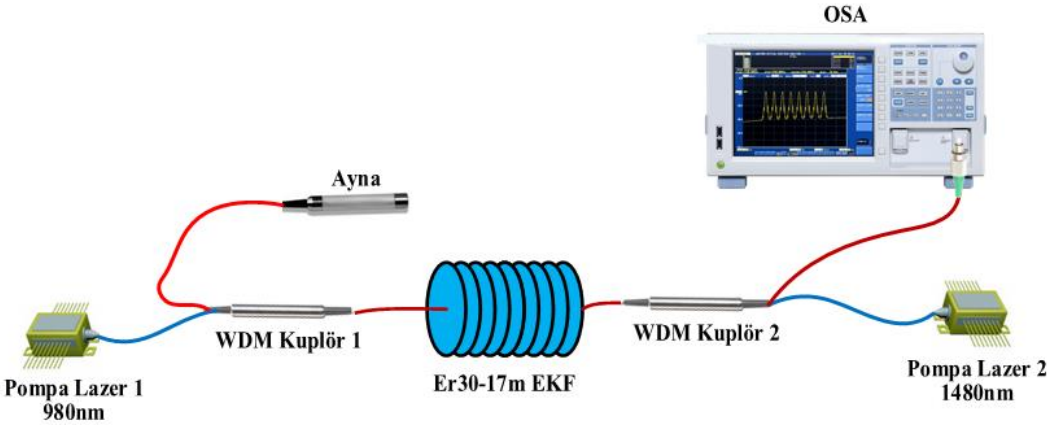
3. DENEYSEL DÜZENEK (EXPERIMENTAL SETUP)

Deneysel düzenekte kullanılan EKF ve pompa lazer parametreleri, önceki simülasyon çalışmaları ve literatürdeki bulgular ışığında belirlenmiştir [35]. Bu parametreler arasında EKF uzunluğu, iyon konsantrasyonu, mod alan çapı (MFD) değeri, kesit alanı verileri, çekirdek ve katkılama yarıçapı değerleri gibi temel fiber özellikleri bulunmaktadır.

Deneyde kullanılan EKF olarak, yüksek iyon konsantrasyonu ile bilinen Liekki Er30(4/125) tipi fiber tercih edilmiştir. Bu tür yüksek konsantrasyonlu fiberlerde iyon kümelenmesi (clustering) etkisi görülebilmekte ve bu durum Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerin (EKFY) performansını düşürebilmektedir [22]. Ancak, Liekki firması tarafından geliştirilen Doğrudan Nanopartikül Biriktirme (DNB- Direct Nanoparticle Deposition - DND) adı verilen yenilikçi üretim teknolojisi, nadir toprak elementleri katkılı fiberlerin üretiminde önemli avantajlar sunmaktadır. DNB yöntemi ile üretilen fiberler, yüksek dönüşüm verimliliği (düşük kümelenme), düşük fotokararma (photodarkening) ve yüksek hasar eşiği gibi üstün özellikler sergilemektedir. DNB süreci, Er^{3+} iyonlarının yerel çevresinin hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlayarak soğurma spektrumunun iyon konsantrasyonundan bağımsız kalmasına olanak tanır. Bu özellikler sayesinde, daha kısa fiber uzunlukları kullanarak doğrusal olmayan etkiler başlamadan daha yüksek çıkış gücüne ulaşmak mümkün olmaktadır [36]. Bu çalışmada kullanılan EKF uzunluğu 17 metre olarak belirlenmiştir.

L-bandı ASE sinyalinin elde edilmesi amacıyla çift geçişli çift yönlü (double-pass bidirectional) pompalama konfigürasyonu kullanılmıştır. Bu kurulumda iki adet pompa lazeri yer almaktadır: İleri yönlü pompalama için 980 nm ve geri yönlü pompalama için 1480 nm dalga boylu lazerler tercih edilmiştir. Kullanılan EKF yüksek iyon yoğunluğuna sahip olup EKF uzunluğu, pompa dalgaboyu ve pompa gücü parametrelerinden hassas

ERKEN GÖRÜNÜM



Şekil 2. Önerilen iki yönlü pompalamalı çift geçişli deneysel optik düzenek (Proposed double-pass bidirectional experimental optical setup)

olarak etkilenmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda en iyi sonuç pompaların oluşturduğu ASE etkileri, fiber boyunca pompa dalgaboyuna bağımlı tepe kazanç değişiklikleri, nedeniyle ileri yönde 980nm, geri yönde 1480 nm olarak belirlenmiştir [37].

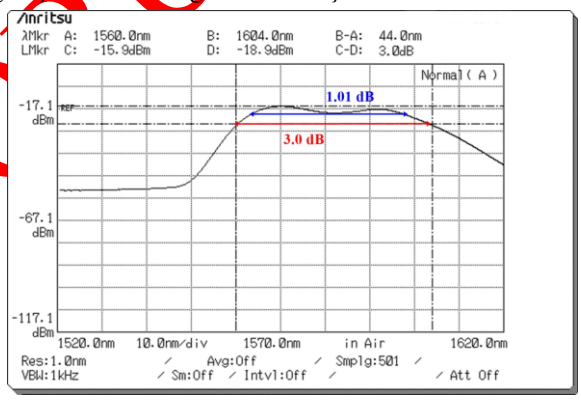
Deneysel düzeneğe ait şema Şekil 2'de görülmektedir. Düzenekte, 17 metre uzunluğunda Liekki® Er30(4/125) EKF, iki adet WDM kuplör (Oemarket/ WDM-F-14CL-0-N, Oemarket/ WDMC-915-P-0-N), bir fiber optik ayna (Newport/ F-FRM-2-JK-NC) içermektedir. L-bandında üretilen spektrumun gücü, C-band'a kıyasla daha zayıf olma eğilimindedir. Bu nedenle, L-band sinyallerini güçlendirmek amacıyla kurulumda bir ayna kullanılmıştır. Aynadan yansıyan sinyaller EKF içerisinden ikinci kez geçerek tekrar yükseltilmek suretiyle çıkış spektrumun gücü artmıştır.

Tablo 1. Er30(4/125) katkılı fiberine ait parametreler (Parameters of the Er30(4/125) doped fiber)

EKF Adı	Er30(4/125)
Üretici	Liekki®
Nümerik Açıklık	0.20
İyon Ömrü (ms)	9
Emilim (dB/m @980 nm)	-
Emilim (dB/m @1530 nm)	30
Mod Alan Çapı (µm @1550 nm)	6.5
Çekirdek Yarıçapı (µm)	1.45
Erbiyum Yarıçapı (µm)	1.45
İyon Yoğunluğu (ppm)	1900
İyon Yoğunluğu (m^-3)	1.9E+25
Kayıp @ 1300 nm (dB/km)	8

İleri yönlü pompalama 974.36 nm dalga boyunda maksimum 350 mW güce sahip bir lazer diyot (oemarket/LDM-980-200-F-S-FA) ile, geri yönlü pompalama ise 1479.9 nm dalga boyunda maksimum 500 mW güce sahip bir lazer diyot (Fitel/FOL1437R50-857-1480) ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan EKF'nin parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Şekil 3'te görüldüğü üzere, 30 mW çıkış gücüne sahip L-bandı için spektrum, 1560-1604 nm aralığında 3 dB dalgalanma (ripple) ile 44 nm genişliğe sahiptir. Ayrıca, 1564-1595 nm aralığında 1.01 dB dalgalanma ile 31 nm genişlikte bir bant gözlemlenmiştir.



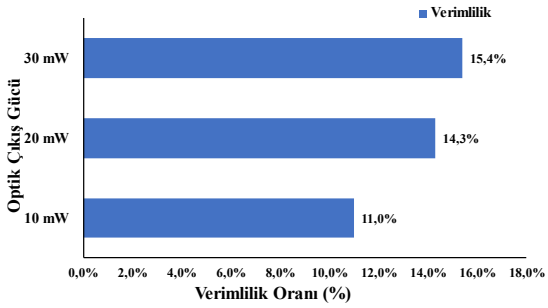
Şekil 3. Düzenekten elde edilen L-band spektrum çıktısı (L-band spectrum output from the setup)

Pompalama verimliliği, $\eta = P_{OUT}/(P_F + P_B)$ ASE kaynağının toplam çıkış gücünün P_{OUT} kullanılan ileri pompa gücüne P_F ve geri pompa gücüne P_B oranı ile tanımlanır.

Tablo 2. Farklı çıkış güçlerine göre ayarlanan pompa lazer güçleri ve verimlilik değerleri (Pump laser powers and efficiency values adjusted for different output powers)

Çıkış Gücü	**LD-1**	**LD-2**	**Pompa Verimliliği**
10 mW	25 mA (10 mW)	275 mA (81 mW)	%10,99
20 mW	45 mA (18 mW)	355 mA (122 mW)	%14,29
30 mW	65 mA (25 mW)	470 mA (170 mW)	%15,38

Şekil 4'te ve Tablo 2'de görülebileceği üzere L-band ASE'nin toplam çıkış gücü 30 mW için, ileri pompa gücü P_F 25 mW ve geri pompa gücü P_B 170 mW olarak belirlenirse, pompalama verimliliği %15,4 olmaktadır. Pompa verimliliği 10mW çıkış gücü için %11,0 ve 20 mW çıkış için %14,3 olmuştur. Bu durumda en yüksek pompa verimliliği 30mW çıkış gücünde elde edilmiştir.



Şekil 4. Farklı optik çıkış güçlerine göre hesaplanan pompa verimlilik değerleri (Pump efficiency values calculated for different optical output powers)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

C ve L band ASE kaynakları yaygın olarak üretilmekle beraber C band ASE kaynağı üretimi L band ASE kaynaklarına göre daha basit bir tasarıma sahiptir. L bandında EKF temelli ASE düzenekleri kullanılmakla beraber L bandında daha düşük bir pompa verimi bulunmaktadır. Bu çalışmada L band verimini yükselterek yüksek güçlü, düşük dalgalanmaya ve maliyete sahip bir tasarım yapılmıştır. Bu amaçla yapılan optimizasyonlarda ileri yön pompa lazerinin 980 nm, geri yönlü pompa lazerinin ise 1480 nm seçilmesi, EKF boyunun 17m gibi L bandında çok kısa sayılabilecek bir uzunluk belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen optimum değerlerle L band ASE kaynağı tasarlanarak deneysel olarak doğrulanmıştır. Tablo 3'te bu çalışmayı literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırmaktadır. Bu çalışmada L-band odaklı olarak, salınım (ripple) değerlerinin en aza indirilmesi birincil hedef olarak belirlenmiştir. Bu nedenle optik çıkış gücü 30 mW ile sınırlandırılmıştır. Ancak, kurulumda lazer akımları artırılarak 100 mW'a kadar yüksek çıkış güçleri elde edilebilir. Ayrıca, daha düşük pompa gücü kullanılması durumunda çok daha düşük dalgalanma değerlerine ulaşmak mümkündür.

Pompa lazerlerin sayısı bu çalışmada, literatürdeki benzer çalışmalara paralel tutulmuştur. Bununla birlikte, kullanılan EKF uzunluğu dikkate alındığında, diğer çalışmalara kıyasla çok daha kısa bir EKF kullanılmıştır. Bu kısa EKF uzunluğu, düşük maliyetli sistem tasarımları için kritik bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca pompa lazerlerin verimliliği incelendiğinde geri yönlü pompa lazerinin düzeneğe daha fazla etkide bulunduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. Bu çalışmada geliştirilen ASE kaynağının literatürdeki diğer ASE kaynakları ile karşılaştırılması (Comparison of the ASE source developed in this study with other ASE sources in the literature)

Çalışma	Band	Bant Genişliği	Güç Dalgalanması	Çıkış Gücü	Pompa Lazer Sayısı	Pompalama Düzeneği	Toplam Kullanılan EKF Uzunluğu
[38]	L	40.9 nm	0.6 dB	13.8 mW	1	Çift geçişli-ileri yönlü	100 m
[39]	L	40.0 nm	3 dB	11.8 mW	1	Çift geçişli-ileri yönlü	19 m
Bu çalışma	L	44.0 nm	3 dB	30 mW	2	Çift geçişli ileri ve geri yönlü	17 m

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

FGA-2022-7452 proje numaralı "Yüksek Güçlü ASE Üretimi ve ASE Spektrumunun Düzleştirilmesi" başlıklı projeye verdiği destek için Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (GAZİ-BAP) teşekkür ederiz.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Özcan AKÇEŞME: Metni yazmış, deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

Murat YÜCEL: Metinde, deney ve sonuçlarda gerekli düzenlemeleri yapmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Loconsole, A. M. *et al.* "Tm: Er: Yb: Ho amplified spontaneous emission source operating from 1480 nm to 2100 nm". in ***2020 Italian Conference on Optics and Photonics (ICOP)***, 1–4, (2020).

[2] Pokorný, J., Moravec, O. & Aubrecht, J. "Broadband fiber-optic thulium-doped source of amplified spontaneous emission". in ***Micro-structured and Specialty Optical Fibres VII***, vol. 11773 211–216, (SPIE, 2021).

ÖN GÖRÜNÜM

[3] Harun, S. W., Abd Rahman, F., Dimyati, K. & Ahmad, H. "An efficient gain-flattened C-band Erbium-doped fiber amplifier". ***Laser Physics Letters***, 3(11), 536–538, (2006).

[4] Dung, J.-C., Chi, S., Wen, S. F. & others. "Gain flattening of erbium-doped fibre amplifier using fibre Bragg gratings". ***Electronics Letters***, 34(6), 555–556, (1998).

[5] Yucel, M. & Goktas, H. H. "C band erbium doped fiber amplifier as a flat gain optical amplifier". in ***2008 IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference***, 1–3, (2008).

[6] Yamada, M. *et al.* "Gain-flattened tellurite-based EDFA with a flat amplification bandwidth of 76 nm". ***IEEE Photonics Technology Letters***, 10(9), 1244–1246, (1998).

[7] Göktaş, H. H. & Yücel, M. "Gain flattening filter optimization of the two stage C band erbium doped fiber amplifiers (EDFA)". ***SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, 10(1), 10–13, (2006).

[8] Yigit, E. & Yucel, M. "Three-stage six-pass EDFA preamplifier design and EDFA parameters' optimization". ***Optical and Quantum Electronics***, 54(1), (2021).

[9] [9] Gurkaynak, I. A. *et al.* "An efficient wide flatness gain bandwidth with parallel hybrid fiber amplifier". ***Microwave and Optical Technology Letters***, 64(2), 251–258, (2021).

[10] Yigit, E. & Yucel, M. "Three-stage six-pass EDFA preamplifier design and EDFA parameters' optimization". ***Optical and Quantum Electronics***, 54(1), (2021).

[11] Yucel, M., Aslan, Z., Celebi, F. V. & Goktas, H. H. "Gain and noise figure enhancements of both C and L bands double pass Erbium Doped Fiber Amplifier". in ***2013 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)***, 599–603, (IEEE, 2013).

[12] Gurkaynak, I. A. *et al.* "Widely flatness gain bandwidth with double pass parallel hybrid fiber amplifier". ***Optical and Quantum Electronics***, 53(7), 359, (2021).

[13] Dincer, A. & Yücel, M. "Modelling and Optimizations of Triple-Pass TDFAs for Next-Generation Fiber Optical Communication Systems". (2023).

[14] Gurkaynak, I. A. *et al.* "An efficient wide flatness gain bandwidth with parallel hybrid fiber amplifier". ***Microwave and Optical Technology Letters***, 64(2), 251–258, (2022).

[15] Talaat, D. B., El-Badawy, E.-S. A., Shalaby, H. M. H. & Aly, M. H. "EDFA gain flattening using fiber Bragg gratings employing different host materials". ***Optical and Quantum Electronics***, 52(3), 161, (2020).

[16] Gulzar, A. & Qazi, G. "Numerical investigations of double pass, highly selective FBG based DFB-EDFA system for enhanced gain and ASE-mitigation". ***Optical and Quantum Electronics***, 56(11), 1802, (2024).

[17] Yıldız, E. "GaSe Yarıiletken Kristallerine Bor Katkılamanın Optik Sınırlama ve İki Foton Soğurma Özellikleri Üzerine Etkileri". ***Politeknik Dergisi***, 26(1), 161–168, (2023).

[18] Yücel, M. & Yiğit, E. "İki Aşamalı Üç Geçişli EKFY Tasarımı ve EKFY Parametrelerinin Optimizasyonu". ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji***, 8(2), 335–344, (2020).

[19] Yıldırım, R. & Hazer, A. "A New Approach to Increasing the Bandwidth of Fiber-Optic Communication Systems". ***Journal of Polytechnic***, (2023).

[20] Yolcu, V. & Yücel, M. "Raman Yükselteç Modeli Üzerine Bir Çalışma". ***Politeknik Dergisi***, 27(4), 1399–1407, (2024).

[21] Mirza, J., Ghafoor, S., Habib, N., Kanwal, F. & Qureshi, K. K. "Performance evaluation of praseodymium doped fiber amplifiers". ***Optical Review***, 28(6), 611–618, (2021).

[22] Ibrahim, S. A., Mansoor, A., Tuan Mohd Marzuki, T. A. S., Omar, N. Y. M. & Abdul Rashid, H. A. "Comparison of 1480 nm and 980 nm-pumped Gallium-Erbium fiber amplifier". ***F1000Research***, 10 251, (2021).

[23] Tan, S. *et al.* "Parameters Optimization of ASE Source for the Improvement of Optical Power Stability in Space Radiation Environment". ***Journal of Lightwave Technology***, 40(8), 2612–2618, (2022).

[24] Jazi, M. K. *et al.* "The evaluation of various designs for a C and L band superfluorescent source based erbium doped fiber". ***Laser Physics***, 23(6), 65104, (2013).

[25] Nafchi, F. M., Shahi, S., Shaffaatifar, M. T., Kanani, M. & Noormohammadi, H. "Novelty design in gain flattening filter of ASE source based on fat ultra-long period fiber grating". ***Photonic Sensors***, 6(3), 243–248, (2016).

[26] Lin, H. & Chang, C.-H. "High power C+L-band Erbium ASE source using optical circulator with double-pass and bidirectional pumping configuration". ***Optics Express***, 12(25), 6135, (2004).

[27] Gurkaynak, I. A. *et al.* "An efficient wide flatness gain bandwidth with parallel hybrid fiber amplifier". ***Microwave and Optical Technology Letters***, 64(2), 251–258, (2021).

[28] Al-Azzawi, A. A. *et al.* "Broadband ASE source for S C L bands using hafnia-bismuth based erbium co-doped fibers". ***Optik***, 255 168723, (2022).

[29] Tan, S. *et al.* "Parameters Optimization of ASE Source for the Improvement of Optical Power Stability in Space Radiation Environment". ***Journal of Lightwave Technology***, 40(8), 2612–2618, (2022).

[30] Wang, X. *et al.* "Design and optimization of a high-power L-band ASE fiber source". in ***SPIE Proceedings***, (eds. Hou, X., Zhao, W. & Yao, B.) (SPIE, 2007).

[31] Espindola, R. P., Ales, G., Park, J. & Strasser, T. A. "80 nm spectrally flattened, high power erbium amplified spontaneous emission fibre source". ***Electronics Letters***, 36(15), 1263–1265, (2000).

[32] Al-Azzawi, A. A. *et al.* "Broadband ASE source for S+ C+ L bands using hafnia-bismuth based erbium co-doped fibers". ***Optik***, 255 168723, (2022).

[33] Zhu, L., He, W., Zhang, Y., Luo, F. & Dong, M. "A high flattening C + L band broadband source based on single pump and the same erbium-doped fiber". ***Optik***, 125(17), 4659–4662, (2014).

[34] Yolcu, V. & Yücel, M. "Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç Modelinin Nümerik Analizi". ***Politeknik Dergisi***, 1–1, (2025).

[35] Akcesme, O. & Yucel, M. "Generation and Spectrum Analysis of C Band ASE Using Erbium-Doped Fibers with Different Properties". in ***2023 10th International***

ERKEN GÖRÜNÜM

Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE), 126–130, (IEEE, 2023).

[36] Tammela, S., Söderlund, M., Koponen, J., Philippov, V. & Stenius, P. "The potential of direct nanoparticle deposition for the next generation of optical fibers". in (eds. Digonnet, M. J. & Jiang, S.) 61160G, (2006).

[37] Yücel, M. & Göktaş, H. H. "Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerde (EDFA) Pompalama Dalgaboyu ve Yönünün EDFA Kazancına Etkisi". ***Politeknik Dergisi***, 6(6), 627–635, (2003).

[38] Tsai, S.-C., Lee, C.-M., Hsu, S. & Chen, Y.-K. "Characteristic comparison of single-pumped L-band erbium-doped fiber amplified spontaneous emission sources". ***Optical and quantum electronics***, 34(11), 1111–1117, (2002).

[39] Wang, X., Ming, H. & Huang, W. "Band selective ASE source for dual-band DWDM device characterization and metro networks". in ***Passive Components and Fiber-based Devices II***, 60194C, (Shanghai, 2005).

ERKEN GÖRÜNÜM