

ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇLERDE (EDFA) POMPALAMA DALGABOYU VE YÖNÜNÜN EDFA KAZANCINA ETKİSİ

Murat YÜCEL, H. Haldun GÖKTAŞ
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü,
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerde (EDFA) pompalama dalgaboyu ve yönünün, sinyal gücü ve kazan-cına etkisi incelenmiştir. EDFA'larda temel oran denklemleri verilerek, 980nm ve 1480nm dalgaboylarında ileri, geri ve iki yönlü olarak pompalanmış EDFA simüle edilmiş, pompalama dalgaboyu ve yönünün sinyal kazancı ve gücüne olan etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, ileri yönde pompalama ile 1480nm dalgaboyunda yapılan pompalamanın daha yüksek çıkış sinyal gücü ve kazancı verdiği ve iki yönlü pompalamanın gürültü seviyesinin diğer pompalama konfigürasyonlarına göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: EDFA, pompalama dalgaboyu, pompalama yönü

THE EFFECT OF PUMPING WAVELENGTH AND DIRECTIONS ON THE ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIERS GAIN OF EDFA

ABSTRACT

In this study, the effect of pumping wavelength and directions on the signal power and optical gain of Erbium-Doped Fiber Amplifiers is examined. Basic rate equations of EDFA's are given. By using these equations, 980nm and 1480nm pump sources are pumped forward, backward and bidirectionally to simulate EDFA. As a result, forward pumping with a 1480nm pump source gives higher gain and output signal power and bidirectional pumping gives lower ASE with respect to other pumping configurations.

Keywords: EDFA, pumping wavelength, pumping direction

1. GİRİŞ

Son yıllarda 1,5µm'lik optik iletişim sistemlerinde kullanılan Erbiyum katkılı fiber yükselteçler büyük ilgi görmektedir. Bu yükselteçler, tek modlu silika fiber özünü erbium elementi ile katkılandırılarak ve fiberi 0,5µm, 0,8µm, 1µm ve 1,5µm civarında bir dalgaboyunda pompalanarak yapılırlar. Sinyal dalgaboyu 1,52µm ile 1,56µm arasında değişir (1). EDFA'lar, silika fiberlerdeki en düşük zayıflama bu civarda olduğu için 1,5µm civarında çalışan haberleşme sistemleri için uygundur.

EDFA, 1,55µm civarında, fiber optik iletim çerçevesinde uzun dalga boyunda çalışır. EDFA'yı çekici yapan nedenlerden biri, tasarımıdaki sadeliğidir. Bir EDFA sistemi temelde şu yapılardan oluşur: İletim hattında birbirine eklenmiş (kaynak bağlantı yapılmış) uzunlukta katkılı fiber, bir pompalama kaynağı ve pompalamadan katkılı fibere ışığı ekleme araçları (Şekil 1). Enerji, erbiyum katkısı aracılığıyla pompalama ışığından sinyale aktarılır ve böylece sinyalin yükseltilmesi sağlanır. Pompalama kaynağı, ihtiyacı hissedilen 1-100 mW çıkış sinyal gücüne bağlı olarak, gerekli seviyede güçlü olmalıdır. Bu seviye, günümüzde yarı-iletken lazer diyotlardan sağlanabilir. Pompalanan ışık

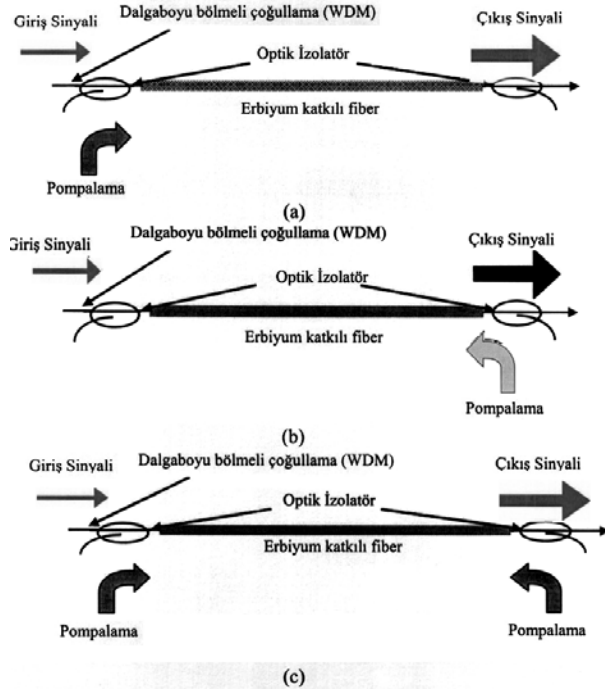
ğın fibere eşlenmesi, dalgaboyu bölmeli çoğullayıcıyla (WDM) oldukça küçük kayıplarda (örneğin 0,2dB altında) yapılabilir. Katkılı fiber, SiO₂'den (silisyumdioksit) yapılmıştır ve öz bölge-sindeki erbiyum ve olası diğer katkı malzemelerinin varlığıyla, standart telekomünikasyon fiberlerinden farklıdır. Bu fiberler referans alındığında iki avantaja sahiptir. Ürün, düşük maliyetli yüksek kaliteli fiber üretimine elverişli yerleşik kurulu süreçleri kullanır ve katkılı fiber ile bunun kullanıldığı iletim ortamı arasındaki benzerlik, düşük kayıplı eklerle basit birleştirme olanağını sağlar (2).

2. ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇLERİN (EDFA) ÇALIŞMASI

Optik yükselteçler uyarılmış yayılma ile, gelen ışığı lazerlere benzer bir mekanizma kullanarak yükseltirler. Bu nedenle geri beslemesiz bir lazer gibidir. Bunun içinde elektronik değişime ihtiyaç duymazlar. Optik kazanç, optik veya elektriksel pompalama ile ters birikme elde edilerek sağlanır (3).

Şekil 1'de EDFA'nın genel yapısı görülmektedir. Uygulamalarda yükselteç çıkışında bir yalıtıcı kullanmak gelenek olmuştur. Bu, sadece bir yönde ışık yayılmasına imkan veren optik bir diyottur. Yalıtıcı olmaksızın ideal olmayan ekler-

den, çiftleyicilerden, bağlayıcılardan meydana gelen yansımalar, bünyesinde var olan çift yönlü özelliğinden dolayı EDFA'da yükseltilebilir. Bunun sonucunda, gürültüde düşük bir artış meydana gelmesinin yanında, sistemde kararsızlık oluşabilir (2). Şekil 1.a, pompalanan ışığın, katkılı fiber boyunca sinyalle aynı yönde yayıldığını göstermektedir. Bu, ileri yönde pompalama olarak bilinir. Şekil 1.b de, pompalama katkılı fiberin diğer ucundan yapılmakta ve sinyale zıt yönde yayılmaktadır. Bu durum ters veya geri yönlü pompalama olarak adlandırılır. Şekil 1.c de ise fiberin iki ucundan yapılan pompalama görülmektedir ki buna da iki yönlü pompalama denilir. Fakat iki lazer kaynağı kullanılacağından maliyet artacaktır. Bu seçenekler farklı avantaj ve dezavantajlara sahiptir.



Şekil 1. Temel EDFA yapısı ve pompalama yönü çeşitleri; (a) ileri yönde pompalama, (b) geri yönde pompalama, (c) iki yönlü pompalama

İlk nesil EDFA'larda InGaAsP yarıiletken teknolojileri gelişmemiş olduğu için 1,48µm pompalama dalgaboyu kullanılmaktaydı. Yüksek bir ters birikme seviyesi kullanıldığında, optik güç dönüşümü verimi %40-50 civarındaydı. İki yönlü pompalamanın imkansızlığından dolayı (0,98µm pompalamayı koruyan izolatör yoktu) 1,48µm ve 0,98µm pompalamalarının kullanıldığı hibrit sistemler kullanılmaktaydı. Son günlerde geliştirilen 25 yıl sistem ömrüne sahip, yüksek güçlü (300mW) 0,98µm pompalama dalgaboyundaki

EDFA denizaltı sistemlerinde kullanışlıdır. 0,98 µm pompalama ile gürültü şekli iyileştirilmiş ve 0,5dB seviyesine düşürülmüştür. Ayrıca katkılı fiberde yelekten pompalama kullanılarak yüksek çıkış gücü, düşük güç tüketimi ve düşük maliyetin elde edilmesi ümit verici bir gelişmedir (4).

2.1. Soğurma, uyarılma ve yayılım teorisi

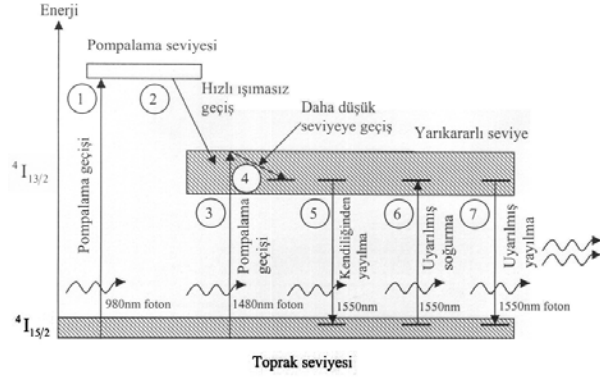
Dünyada az bulunan toprak elementleri ile katkılandırılarak elde edilen optik yükselteç, fiber içinde foton yayılımının uyarılması temeline dayanmaktadır. Bu durum, nadir toprak elementi iyonunun yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine düştüğü durumlarda gözlenir. Bu geçiş, yükseltilmiş giriş sinyaline bağlı foton tarafından tetiklenir. Yayılım fotonu giriş sinyaline bağlı foton ile aynı dalgaboyunda ve aynı fazdadır. Bu, lazer etkisinin temelini oluşturur.

Harekete geçen iyon nüfusu büyüdükçe kazanç da maksimum olacaktır. Sinyal ve pompalamanın dalgaboyları, katkılı iyonun soğurma ve yayılma spektrumuna bağlıdır. Bir fotonun dalgaboyunda soğurulması olasılığı soğurma kesit alanı adıyla belirtilmiştir. Aynı şekilde yayılma olasılığı da yayılım kesit alanı ile ifade edilmiştir. Pompalama dalgaboyunda soğurma baskın olmalıdır. Fakat kazancın yüksek olması için yayılma, soğurmadan büyük olmalıdır (5).

Erbiyum katkılı fiberlerde 1550nm'de yayılma kesiti soğurmadan büyüktür. Böylece sinyal yükselebilecektir. Diğer bir deyişle pompalama dalgaboyunda erbiyum tamamen soğurulacağından pompalama gücü sinyale aktarılacaktır.

2.2. Üç Seviyeli Lazer Sistemleri İçin Atomik Oran Denklemleri

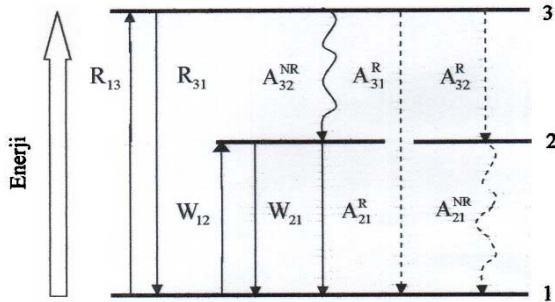
Şekil 2'de basitleştirilmiş enerji seviye diyagramı ve silikadaki Er^{3+} iyonlarının çeşitli geçiş işlemleri görülmektedir. $^4I_{11/2} - ^4I_{15/2}$ enerji seviyeleri 980nm pompalama bandını, $^4I_{13/2} - ^4I_{15/2}$ enerji seviyeleri ise 1480nm pompalama bandını göstermektedir (6). Şekil 2'de görüldüğü gibi 980nm dalgaboyunda yapılan pompalamada foton pompalama seviyesine kadar çıkmakta, daha sonra hızlı bir şekilde yarıkararlı seviyeye düşmektedir. 1480nm dalgaboyunda yapılan pompalamada ise foton direk yarıkararlı seviyeye çıkarılmaktadır. Bu nedenle kazanç 1480 nm dalgaboyunda daha yüksektir.



Şekil 2. Basitleştirilmiş enerji seviye diyagramı ve silikadaki Er^{3+} iyonlarının çeşitli geçiş işlemleri

Atomik oran denklemleri çıkarılırken Şekil 3’de görülen üç seviyeli lazer sisteminin enerji seviyeleri dikkate alınmıştır. Burada seviye 1, toprak seviyesi, seviye 2 uzun ömürlü bir τ tarafından karakterize edilen yarı kararlı seviye ve seviye 3 pompalama seviyesidir. Üç seviyeli sistemin diğer bir tipi de; yarı kararlı seviyedir. Burada seviye 3 ve lazer geçişi uç seviyeden seviye 2’ye dir. Bu çalışmada, üç seviyeli sistemde toprak seviyesinden uç seviyeye lazer geçişi dikkate alınacaktır ki bu da Er^{3+} durumuna tekabül eder (7).

Şekil 3’de, 1 (toprak) ve 2 (yarı kararlı) seviyeleri arasında lazer geçişi meydana gelmektedir. R , W ve A sırasıyla pompalama oranı, uyarılmış yayılma oranı ve kendiliğinden ışımaya oranı, R ve NR üst sembolleri ise sırasıyla ışımaya ve ışısız yayılmayı göstermektedir.



Şekil 3. Temel üç seviyeli lazer sistemi enerji seviye diyagramı

Seviye 1’den seviye 3’e pompalama oranı R_{13} ve seviye 3 ile seviye 1 arasındaki uyarılmış yayılma oranı R_{31} ’dir. Seviye 3’e karşılık gelen uyarılmış durumda bozulmanın (sönümün) iki olasılığı vardır; ışımaya (oran $A_3^R = A_{32}^R + A_{31}^R$), ışısız (oran A_{32}^{NR}). Seviye 3’ten kendiliğinden bozulmada hakim varsayılan ışımamadır

($A_{32}^{NR} \gg A_3^R$). Seviye 1 ve 2 arasındaki uyarılmış soğurma ve yayılma oranları sırasıyla W_{12} ve W_{21} ’dir. Kendiliğinden ışımaya ve ışısız uyarılmış durum da seviye ikide bozulmaya neden olur. $A_2 = A_{21}^R + A_{21}^{NR}$ ile $A_{21}^R = 1/\tau$, burada τ foton ömrü olarak tanımlanır. Varsayılan kendiliğinden bozulma aslında ışımadır ($A_{21}^R \gg A_{21}^{NR}$). Aşağıdaki gibi seviye 2 ve seviye 3’de kendiliğinden bozulma sadece A_{21} ve A_{32} gibi görülmektedir. ρ lazer iyon yoğunluğu ve N_1 , N_2 ve N_3 sırasıyla 1, 2 ve 3 enerji durumlarındaki atomların oransal yoğunlukları veya nüfuslarıdır. $N_1 + N_2 + N_3 = \rho$

Bunlara karşılık gelen atomik oran denklemleri;

$$\frac{dN_1}{dt} = -R_{13}N_1 + R_{31}N_3 - W_{12}N_1 + W_{21}N_2 + A_{21}N_2 \quad (1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = W_{12}N_1 - W_{21}N_2 - A_{21}N_2 + A_{32}N_3 \quad (2)$$

$$\frac{dN_3}{dt} = R_{13}N_1 - R_{31}N_3 - A_{32}N_3 \quad (3)$$

şeklinde yazılır. Bu sistemde iyon nüfuslarının zamanla değişmediği kararlı durumlar dikkate alınır; $dN_i/dt = 0$ ($i=1,2,3$). $a = R_{31} + A_{32}$ ve $b = W_{21} + A_{21}$. Eş. 2 ve 3’den aşağıdaki denklemler elde edilir (7):

$$W_{12}N_1 - bN_2 + A_{32}N_3 = 0 \quad (4)$$

$$R_{13}N_1 - aN_3 = 0 \quad (5)$$

N_1 , N_2 için yukarıdaki ifadelerde $N_3 = \rho - N_1 - N_2$ yazılırsa,

$$N_1 = \rho \frac{ab}{b(a + R_{13}) + aW_{12} + R_{13}A_{32}} \quad (6)$$

$$N_2 = \rho \frac{R_{13}A_{32} + aW_{12}}{b(a + R_{13}) + aW_{12} + R_{13}A_{32}} \quad (7)$$

halini alır. Eş. 6 ve 7’de A_{21} , A_{32} terimleri ile a ve b tanımları yerlerine koyulursa;

$$N_1 = \rho \frac{(1 + W_{21}\tau) \left(1 + \frac{R_{13}}{A_{32}}\right)}{(1 + W_{21}\tau) \left(1 + \frac{R_{13} + R_{31}}{A_{32}}\right) + W_{12}\tau \left(1 + \frac{R_{31}}{A_{32}}\right) + R_{13}\tau} \quad (8)$$

$$N_2 = \rho \frac{R_{13}\tau + W_{12}\tau \left(1 + \frac{R_{13}}{A_{32}}\right)}{(1 + W_{21}\tau) \left(1 + \frac{R_{13} + R_{31}}{A_{32}}\right) + W_{12}\tau \left(1 + \frac{R_{31}}{A_{32}}\right) + R_{13}\tau} \quad (9)$$

olur. Işımsız bozulma oranı A_{32} 'yi, pompalama oranı $R_{13,31}$ 'in çok üzerinde kabul ederek ($A_{32} \gg R_{13,31}$), $R = R_{13}$ alınırsa Eş. 8 ve 9'dan;

$$N_1 = \rho \frac{1 + W_{21}\tau}{1 + R\tau + W_{12}\tau + W_{21}\tau} \quad (10)$$

$$N_2 = \rho \frac{R\tau + W_{12}\tau}{1 + R\tau + W_{12}\tau + W_{21}\tau}$$

elde edilir ve bu sonuçla $N_3 = \rho - N_1 - N_2 = 0$ bulunur. Hakim olan ışısız bozulma karşısında (A_{32}) pompalama seviyesindeki iyon nüfusu ihmal edilebilir ve A_{32} 'den yarı kararlı seviye 2'ye düşer (7).

3. SİMÜLASYON SONUÇLARI

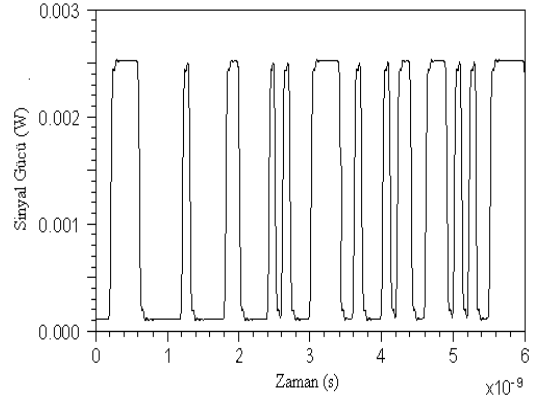
3.1. Pompalama Dalgaboyunun Etkisi

Erbiyum iyonunun yarıkararlı enerji seviyeye pompalanmasında iki yaklaşım vardır: 1) 1460-1500nm bandında pompalama dalgaboyu kullanarak iyon direk yarıkararlı seviyeye pompalanır, 2) 980nm pompalama dalgaboyu kullanılarak, iyon üst seviyede harekete geçirilir. Daha sonra iyonlar hiç foton emisyonu yapmadan yarıkararlı seviyeye inerler. Bu etki uyarılmış soğurma olarak bilinir. Bu yüzden uzun fiber yükselteçlerde uygun değildir. Ancak pratikte yüksek güçlü yükselteçlerde pompalama dalgaboyu 980nm olarak kullanılmaktadır (5).

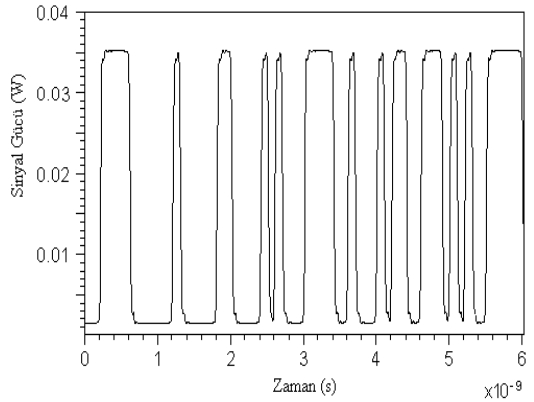
980nm ve 1480nm pompalama dalga-boyunda, 40mW ileri pompalama gücünde, 30m uzunluğundaki EDFA'nın simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyonda, giriş sinyali fiberlerde sinyal dalgaboyu zayıflamasının minimum olduğu 1550nm'dir.

Şekil 4.a'da 1550nm dalgaboyundaki sinyalin giriş gücü, Şekil 4.b'de 980nm dalgaboyunda ve Şekil 4.c'de ise 1480nm dalgaboyunda pompalanmış çıkış gücünün zamana göre değişimi görülmektedir. Şekil 4.a'da görülen yaklaşık 2,6mW'lık giriş sinyalinin, Şekil 4.b'de yaklaşık 36mW seviyesine yükselirken, Şekil 4.c'de bu değer 54mW seviyesine yükselmiştir. 980nm

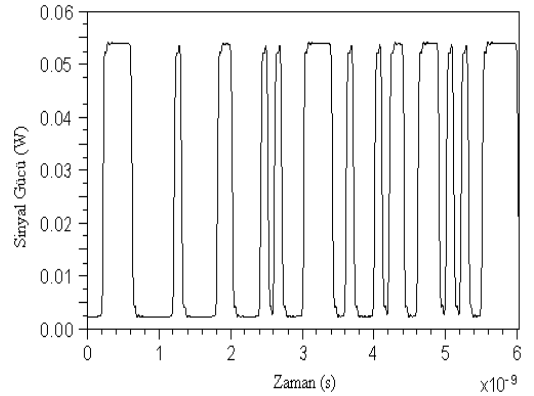
dalgaboyunda pompalanan EDFA'da fiber uzunluğuna bağlı olarak çıkış gücü daha düşük çıkmıştır.



(a)



(b)

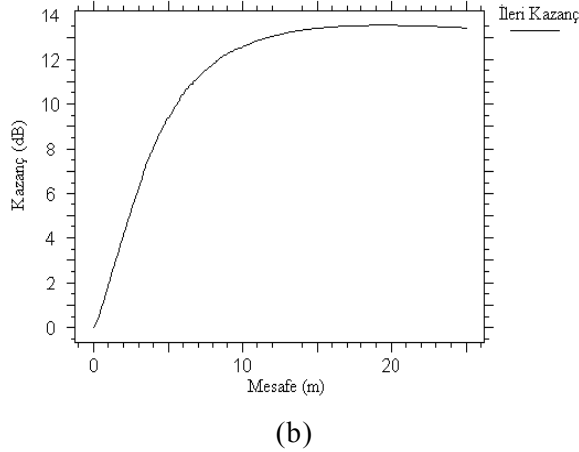
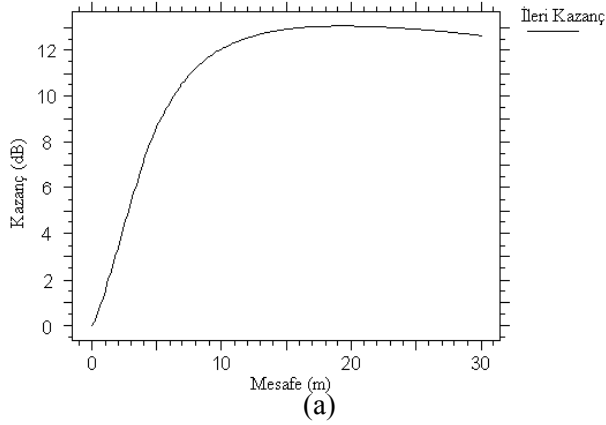


(c)

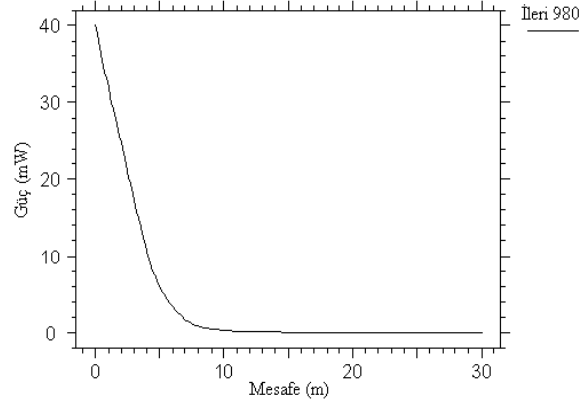
Şekil 4. 1550nm dalgaboyuna sahip giriş sinyalinin (a) giriş gücü, (b) 980nm dalgaboyunda pompalanmış sinyal çıkış gücü, (c) 1480nm dalgaboyunda pompalanmış sinyal çıkış gücü

Şekil 5.a ve 5.b'de sırasıyla 980nm ve 1480nm dalgaboylarında pompalanmış 1550nm dalgaboyundaki sinyalin fiber boyunca kazanç değişimleri görülmektedir. 980nm dalgaboyunda pompalanan EDFA'da fiber boyuna bağlı olarak

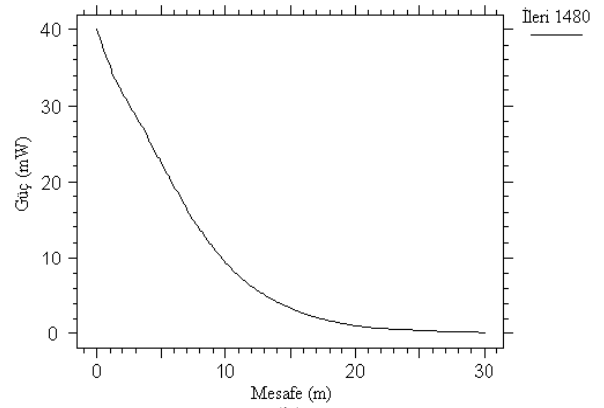
kazanç artmakta ve yaklaşık olarak 8m uzunluğunda maksimum değerine (12dB) ulaşmaktadır. Bu uzunluktan sonra kazanç yavaş yavaş düşmeye başlamaktadır. 1480nm dalgaboyunda ise 16m civarında kazanç 12dB'nin üstündedir ve uzunluğa bağlı olarak daha yavaş bir düşüş eğrisine sahiptir. Yani 1480nm pompalama dalgaboyu uzun mesafeli sistemler için daha kullanışlıdır.



Şekil 5. (a) 980nm dalgaboyunda pompalanan, (b) 1480nm dalgaboyunda pompalanan, 1550nm dalgaboyundaki sinyalin fiber boyunca kazanç değişimi,



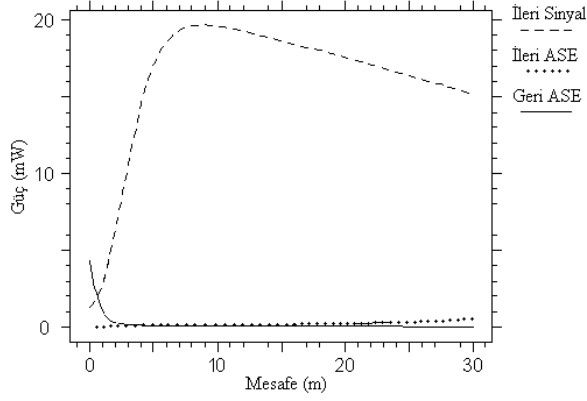
(a)



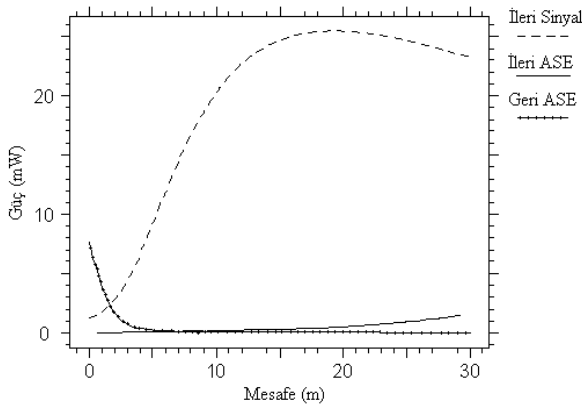
(b)

Şekil 6. (a) 980nm dalgaboyunda pompalanan, (b) 1480nm dalgaboyunda pompalanan fiber boyunca pompalama gücünün değişimi

Erbiyum katkılı fiberlerde 1550nm'de yayılma kesiti soğurmadan büyüktür. Böylece sinyal genişleyebilecektir. Diğer bir deyişle pompalama dalgaboyunda erbiyum tamamen soğurulacağından pompalama verimli olacaktır. Şekil 6.a ve 6.b'de sırasıyla 980nm ve 1480 nm dalgaboylarında pompalamanın fiber boyunca değişimi görülmektedir. Şekil 5.a ve 5.b'deki kazanç değişimi eğrileri ile karşılaştırıldığında kazanç maksimum iken pompalama minimuma düşmüş yani pompalama gücü sinyale aktarılmış ve sinyal yükseltilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7. (a) 980nm dalgaboyunda pompalanmış, (b) 1480nm dalgaboyunda pompalanmış fiber boyunca sinyal ve ASE (Amplified Spontaneous Emission) gücünün değişimi

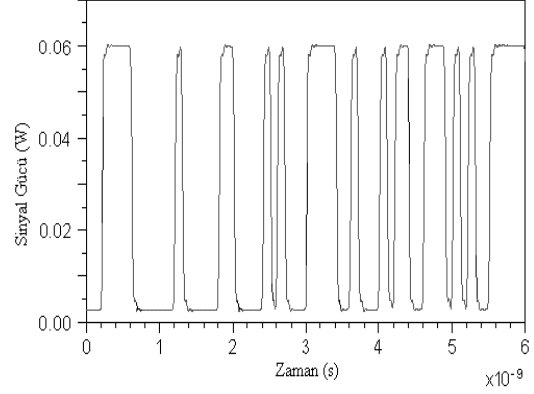
Şekil 7.a ve 7.b'de sırasıyla 980nm ve 1480nm'de pompalanmış fiber boyunca sinyal ve ASE gücünün değişimi görülmektedir. Şekil 7'den de görüleceği üzere 1480nm dalgaboyunda pompalanmış sinyal gücü 980nm dalgaboyunda pompalanmış sinyale göre daha yüksektir ve fiber boyunca bu gücün düşüşü 980nm'ye göre çok daha yavaştır. 1480nm dalgaboyunda pompalanmış sinyalde ASE daha yüksektir. Bu nedenle daha kısa mesafelerde 980nm dalgaboyunda yapılan pompalama, 1480nm dalgaboyunda yapılan pompalamaya göre daha elverişlidir.

3.2. Pompalama Yönünün Etkisi

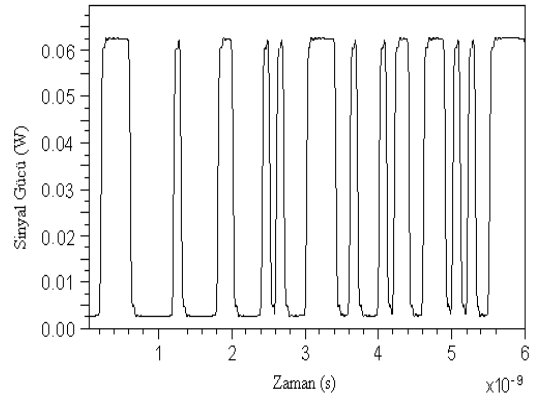
Pompalanan ışığın, katkılı fiber boyunca sinyalle aynı yönde yayılması ileri yönlü pompalama diye bilinir. Ters yönlü pompalamada; katkılı fiberin diğer ucunda pompalanan ışığın ve sinyale zıt yönde yayılma olasılığı eşittir. Katkılı fiberin

her iki ucundan pompalama yapıldığında ise iki yönlü pompalama olarak adlandırılır (2).

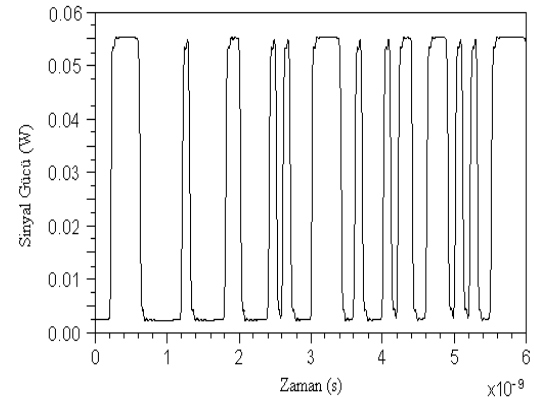
Bu bölümde 1480nm dalgaboyunda, 40mW pompalama gücünde, 25m uzunluğunda ileri ve geri yönde pompalama ile 980nm ileri 1480nm geri dalgaboyunda 20mW'lık iki yönlü pompalanan EDFA'nın davranışları incelenmiştir (6).



(a)



(b)

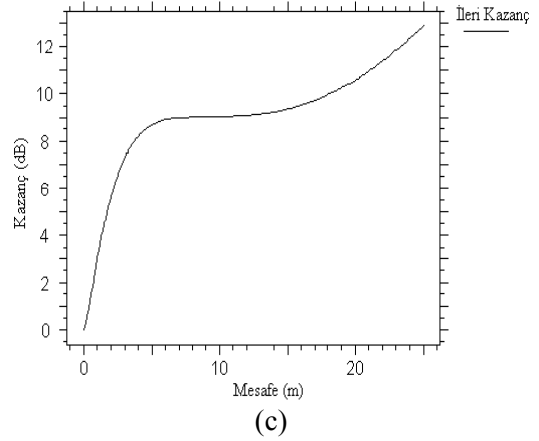
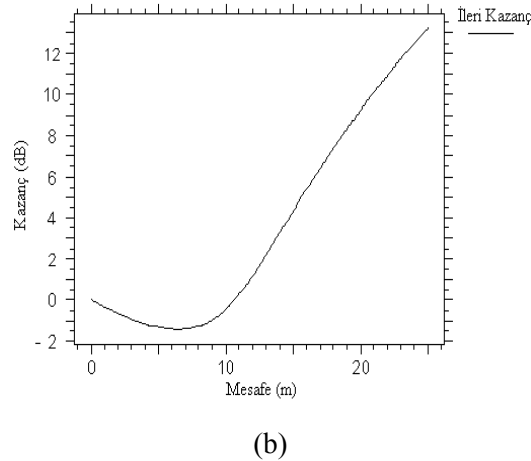
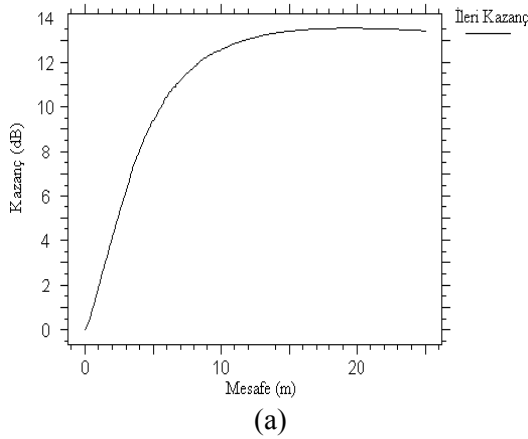


(c)

Şekil 8. 1480nm dalgaboyunda (a) ileri, (b) geri ve (c) iki yönde pompalanmış sinyal çıkış gücü

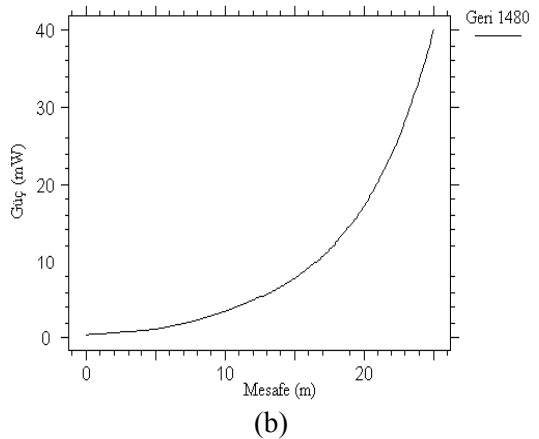
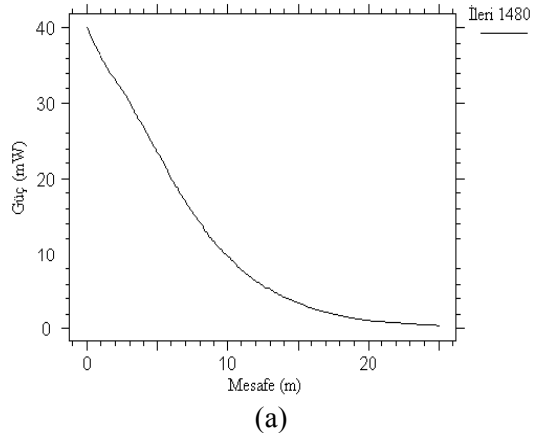
Şekil 8.a, 8.b ve 8.c'de 1480nm dalgaboyunda sırasıyla ileri, geri ve iki yönlü pompalanmış sinyal çıkış güçleri görülmektedir. Şekil 8'de ileri pompalanmış sinyal gücünün 63mW, geri yönde pompalanmış sinyal gücünün 61mW ve son olarak iki yönlü pompalanmış sinyal gücünün ise 55mW civarında olduğu görülmektedir. Burada iki yönlü pompalamanın çıkış sinyal gücünün daha düşük olduğu aşıkardır.

Şekil 9.a, 9.b ve 9.c'de 1480nm dalgaboyunda sırasıyla ileri, geri ve iki yönlü pompalanmış fiber boyunca kazanç değişimi görülmektedir. Bu şekiller arasındaki farklar çok belirgindir. Şekil 9.a'da görülen ileri yönlü pompalamada kazanç ileri yönlü artmakta ve sabitlenmektedir. Şekil 9.b'de görülen geri yönlü pompalamada ise kazanç fiberin başında düşüp daha sonra hızla artmaktadır. Bunun sebebi pompalamanın sinyale aktarılma işleminin fiberin daha ileri metrelerinde yapılmasıdır (8). Şekil 9.c'de ise iki yönlü pompalama görülmektedir. Burada ise kazanç fiberin başında daha hızlı artmakta, ortalarında sabit kalıp fiberin sonuna doğru tekrar artmaktadır.

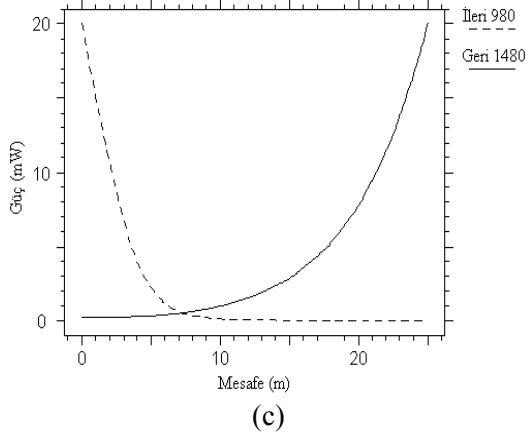


Şekil 9. 1480nm dalgaboyunda (a) ileri, (b) geri ve (c) iki yönde pompalanmış fiber boyunca kazanç değişimi

Şekil 10.a, 10.b ve 10.c'de 1480nm dalgaboyunda sırasıyla ileri, geri ve iki yönlü pompalanmış fiber boyunca pompalama gücünün değişimi görülmektedir. Şekil 10.a'da görülen ileri yönlü pompalamada pompalama gücü fiberin başından itibaren azalmakta ve kazancın maksimum olduğu yerde tamamen sinyale aktarılmaktadır. Şekil 10.b'de görülen geri yönlü pompalamada fiberin sonundan itibaren düşen pompalama gücü fiberin başına doğru azalarak sinyale aktarılmaktadır.

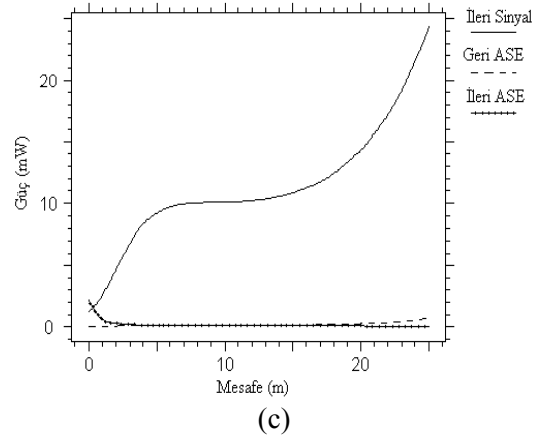
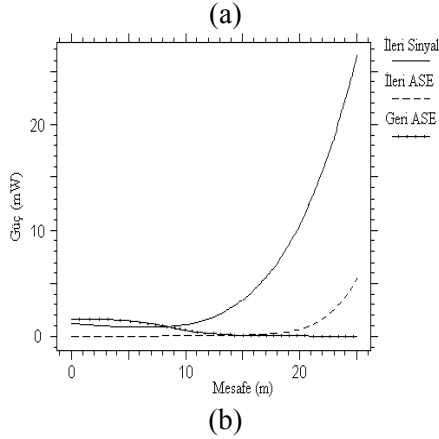
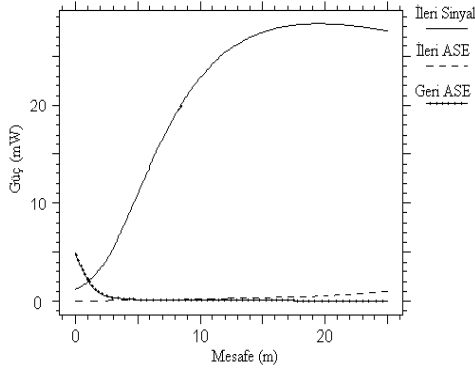


Şekil 10.c'de görülen iki yönlü pompalamada ise fiberin başından ve sonundan itibaren zıt yönde fiberin başına ve sonuna doğru azalmaktadır.



Şekil 10. 1480nm dalgaboyunda (a) ileri, (b) geri ve (c) iki yönde pompalanmış fiber boyunca pompalama gücünün değişimi

Şekil 11.a, 11.b ve 11.c'de 1480nm dalgaboyunda sırasıyla ileri, geri ve iki yönlü pompalanmış fiber boyunca sinyal ve ASE gücünün değişimi görülmektedir. Şekiller karşılaştırıldığında Şekil 11.c'deki iki yönlü pompalamada ASE'nin daha düşük, Şekil 11.b'deki geri yönlü pompalamada ise daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 11.1480nm dalgaboyunda (a) ileri, (b) geri ve (c) iki yönde pompalanmış fiber boyunca sinyal ve ASE gücünün değişimi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada EDFA'lar 980nm ve 1480nm dalgaboyunda pompalanmış 1550nm dalgaboyundaki sinyalde, pompalama dalgaboyunun ve pompalama yönünün sinyalin çıkış gücü ve kazanımına etkisi araştırılmıştır.

İlk olarak 1550nm dalgaboyundaki sinyal, 980nm ve 1480nm dalgaboylarında ileri yönde pompalanarak, EDFA karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Sinyal gücü ve dolayısıyla kazancın 1480nm dalgaboyunda daha yüksek olması 1480nm dalgaboyunu çekici kılarak, 980nm dalgaboyunu çekici kılan özellik ise ASE'nin daha düşük olmasıdır. Şekil 3'de görüldüğü gibi 980nm dalgaboyunda yapılan pompalama fotonu pompalama seviyesine çıkarmak için daha fazla enerji harcamaktadır. Oysa 1480nm dalgaboyunda yapılan pompalama ile foton direkt yankararlı seviyeye çıkarılarak daha az enerji harcanmakta, dolayısıyla kazanç yükselmektedir. Bu özelliklere bakılacak olursa, 1480nm dalgaboyunda pompalama uzun mesafeli fiberlerde kazanç ve sinyal gücü bakımından üstünlük sağlarken, düşük mesafeli fiberlerde 980nm dalgaboyunda pompalama ASE'nin düşük olması ve kazancın düşük mesafelerde kayba uğramamasından dolayı caziptir.

Son olarak 1550nm dalgaboyundaki sinyal 1480nm dalgaboyunda ileri, geri ve iki yönde pompalanarak, farklı pompalama türlerinin EDFA karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ileri yönlü pompalamada sinyal gücü ve kazancı, geri ve iki yönlü pompalamaya göre daha yüksektir. ASE açısından incelendiğinde, iki yönlü pompalamada ASE'nin çok düşük

olduğu görülmektedir. Bunun yanında iki yönlü pompalamada iki lazer diyot kullanılacağından maliyet artacaktır. Ayrıca uzun mesafe iletişimde de iki yönlü pompalanmış EDFA'lar daha avantajlı olacaktır.

EDFA'lar uzun mesafeli fiber optik haberleşme sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. EDFA'ların uzunlukları, pompalama dalgaboyları, pompalama güçleri, pompalama yönleri, katkılama yoğunlukları, ilave katkı malzemeleri gibi parametreleri değiştirilerek iletim sistemleri için en uygun EDFA tasarlanabilir. Tüm bunlar yapılırken çok düşükte olsa ASE ve diğer gürültüler ihmal edilmemelidir.

KAYNAKLAR

1. Saleh, A. A. M., Jopson, R. M., Evankow, J. D., Aspell, J., "Modeling of gain in erbium-doped fiber amplifiers", IEEE Photonics Technology Letters, 2(10), 714-716, 1990.
2. Chapman, D.A, "Erbium-doped fibre amplifiers: the latest revolution in optical communications", Electronics&Communication Engineering Journal, 6(2), 59-67, 1994.
3. Agrawal, G. P., "Fiber-Optic Communication Systems", John Wiley&Sons, 1992.
4. Bayart, D., "Erbium-Doped and Raman Fiber Amplifiers", C.R. Physique, 4, 1-10, 2003.
5. Arı, M., "Erbiyum katkılı fiber optik yükselteçlerin (EDFA) modellenmesi ve bilgisayarlı kazanç simülasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.
6. Giles, R. G., Desurvire, E., "Modeling Erbium-Doped Fiber Amplifiers", Journal of Lightwave Technology, 9(2), 271, 1991.
7. Desurvire, E., "Erbium-Doped Fiber Amplifiers:Principles and applications", John Wiley&Sons, 1994.
8. Yücel, M., "Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Haziran 2003.