

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
KESİN RAPORU

Bir Yarı-iletken Lazerin Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Dinamik Modeli ve Optimizasyonu

Proje Yürütücüsünün İsmi: Fatih V. ÇELEBİ
Yardımcı Araştırmacıların İsmi:
Gazi Erkan Bostancı, Bülent Tuğrul, Koray Açıcı, Yılmaz Ar
Proje Numarası: 08Y4343003
Başlama Tarihi: 20.06.2008
Bitiş Tarihi: 20.12.2009
Rapor Tarihi: 15.01.2010

Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Ankara - " 2009 "

I. Projenin Türkçe ve İngilizce Adı ve Özetleri:

Bir Yarı-iletken Lazerin Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Dinamik Modeli ve Optimizasyonu

Yarı-iletken lazer diyotlar, farklı kullanım alanları bakımından önemi sürekli artmakta, optik haberleşme, optoelektronik ve fotonik sistemlerin gerekli ve yeri doldurulamaz elemanları olmayı sürdürmektedir. Diğer lazer sistemlerinden yüksek güç dönüşüm verimi, az yer kaplaması ve mükemmel güvenilirliği açısından farklılık göstermektedirler. Bu tip lazer sistemlerinin fiber yükselteçler ve katı hal lazerleri için pompalama kaynağı olarak, malzeme işlemede, farklı tıbbi uygulamalarda, serbest uzay optik haberleşmesinde kullanılmaları gibi geniş ticari uygulamaları görülmektedir.

An Artificial Neural Network based dynamic model of a semiconductor laser and its optimization

The importance of Semiconductor laser diodes is continuously increasing in terms of different application areas. They are necessary and indispensable elements of optoelectronic and photonic systems. They are different from other laser systems interms of high power conversion efficiency, smaller in dimension and excellent reliability. This kind of laser systems are used as a pumping source for solid state lasers and fiber amplifiers, material processing, different medical areas and free space optical communications which can be named as broad commercial applications.

II. Amaç ve Kapsam

Optik niceliklerin hesaplanması farklı teoriler, yaklaşımlar ve varsayımlar içerdiğinden dolayı oldukça uzun zaman almaktadır. Bu çalışmada seçilecek bir yarı iletken lazerin tek, basit, yeni ve doğru bir bilgisayar destekli tasarım modeli geliştirilecek ve bu kritik optik niceliklerin değerleri, bağlı olduğu dalga boyu ve injeksiyon akımına bağlı olarak pratik ve hızlı bir şekilde tasarım aşamasında elde edilecektir. Bu kritik nicelikler modal kazanç (modal gain), kırınım indis değişimi (refractive index change) ve çizgi genişleme faktörü (linewidth enhancement factor, α parameter) dür. Söz konusu bu model yapay sinir ağlarının en önemli ve en çok kullanılan mimarilerinden biri olan çok katmanlı perseptronlar (MLP) veya hibrit (sinirsel-bulanık) yapılar kullanılarak tasarlanacaktır. Geliştirilen bu yöntem en uygun ağ yapılandırmasını bulduktan sonra zaman açısından oldukça kullanışlı olup, optik haberleşme sistemleri veya diğer lazer sistemlerinin bilgisayar destekli tasarım aşamasında kolaylıkla kullanılabilir.

Kullanılacak modelin etkili ve güçlü bir model olacağını göstermek için model çıktıları olan kritik optik niceliklerin açıklamalarını yapmak gerekir. Bunlardan birincisi olan optik kazanç şüphesiz olarak yarı iletken lazerlerin en önemli karakteristik parametrelerinden biridir. Optik kazanç cihazın çalışma karakteristiği hakkında önemli bilgiler içerir ve birim yayılım uzunluğuna karşılık fotonların sayısındaki kademeli artış olarak tanımlanır. E enerji seviyesindeki kazanç kendiliğinden olan yayılım spektrumundan aşağıdaki şekilde belirlenir:

$$g = g_0 \left[1 - \exp \left(\frac{E - \Delta E_F}{kT} \right) \right]$$

Bu ifadeyi içeren terimler genel olarak uzun ve karmaşık matematiksel çalışmalar sonucunda elde edilmektedir. Birçok gelişen uygulamalarda kazanç spektrumunun çok iyi anlaşılması, herhangi bir yarı iletken lazer türü için kestirim yeteneği olan bir kazanç modeli geliştirmek açısından oldukça önem arz etmektedir. Literatürde optik kazanç spektrumunu elde etmek için, avantajları ve dezavantajları olan birçok metod önerilmektedir. Diğer yandan ise daha doğru olan teorik kazanç modelleri ile daha güvenilir olan kazanç ölçüm sistemleri için çalışmalar devam etmektedir. Bu proje kapsamında hibrit (Sinirsel-Bulanık) yapı kullanılarak bir optik kazanç modelleme önerimiz olmuş ve SCI indeksinde taranan Journal of Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications dergisinde yayınlanmıştır.

İkinci kritik olan optik nicelik ise injeksiyon akımı ile oluşan kırınım indis değişimi olup, yarı iletken lazerlerin nitelendirilmesi açısından oldukça gerekli ve önemli bir parametredir. Kazanç ile çok yakın ilişkide olup iç boşluk alan dağılımını kuvvetli olarak etkiler. Taşıyıcı yoğunluğuna bağlı olarak endüklenen kırınım indisindeki değişim aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\delta n_e = \Gamma \frac{q^2 h^2}{m_0^2 L_z \epsilon_0} \sum_{n,m} \int \frac{k dk}{2\pi} |M_{nm}(k)|^2 \frac{[E_{nm}(k) - E]}{E_{nm}(k)[E_{nm}(k) + E]} \frac{[f_n^c(k) - f_m^v(k)]}{[E_{nm}(k) - E]^2 + \gamma^2}$$

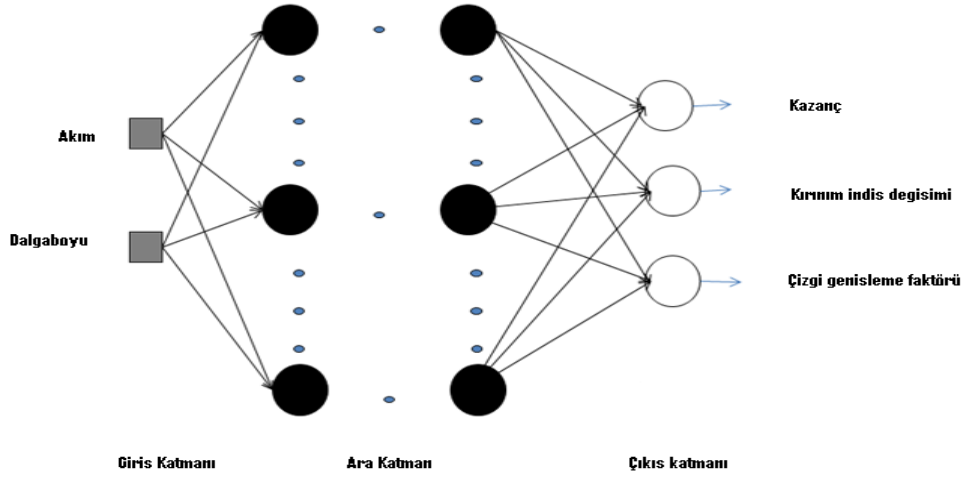
Buradaki ifade de birçok karmaşık ve uzun terimler içermektedir. Kırınım indis değişimi hesaplaması üzerine birçok gelişmiş teori olup hesaplaması optik kazanç gibi oldukça uzun ve karmaşıktır. Buna ek olarak bu parametrenin ölçülmesi de oldukça zordur.

Son optik nicelik ise çizgi genişleme faktörü (alfa parametresi) olup, yarı iletken lazerlerin hem yüksek hız modülasyonunda hem de sürekli dalga işlemindeki anahtar parametrelerinden biridir. Lazerdeki çizgi genişliğinin küçük olması için bu faktöründe oldukça küçük olması gerekir. Bu faktörün büyük olması sinyal dağılmasını, mod kaymasını ve filamentasyon etkisini artırdığından dolayı zarar vericidir. Diğer taraftan değeri yüksek alfa parametresi, kuvvetli cıvıltılı çok kısa optik darbelerin üretiminde oldukça kullanışlı olmaktadır. Bu faktör kompleks dielektrik fonksiyonunda, taşıyıcı yoğunluğunun gerçek ve sanal bileşenlerinin türevlerinin oranına eşittir. Ölçülebilen değerler cinsinden ise, injeksiyon akımına bağlı olarak kırınım indis değişiminin mod kazancına olan oranı ile ifade edilir:

$$\alpha = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{\frac{\partial n}{\partial N}}{\frac{\partial g_M}{\partial N}}$$

Bu parametrenin hesaplanması da farklı yaklaşımlar, varsayımlar ve bazı parametrelerin kabaca tahminini içerir. Bu parametrenin değeri çalışma dalgaboyu, taşıyıcı yoğunluğu ve diğer faktörlerden dolayı önemli ölçüde değiştiğinden ölçülmesi de oldukça zordur. Alfa parametresinin detaylı tahmin metotları için de yoğun çalışmalar yapılmıştır.

Elde edilecek olan etkili, güçlü, doğru ve tek bilgisayar destekli tasarım modeli bir yarı iletken lazerdeki bu kritik optik niceliklerin değerini injeksiyon akımına ve çalışma dalga boyuna bağlı olarak kısa bir zaman süresinde gerçek zamanlı hesaplayacaktır. Böylelikle bu tip yarı iletken lazerlerin kullanıldığı sistemlerin tasarımı aşamasında nelerin gerektiği kolaylıkla anlaşılabilir ve daha güvenilir bir tasarım ortaya çıkmış olacaktır. Elde edilecek olan modelin şeması aşağıda verilmiştir:



III. Materyal ve Yöntem

Bu bilgiler projeden çıkan yayınlarda mevcuttur ve ekte verilmiştir.

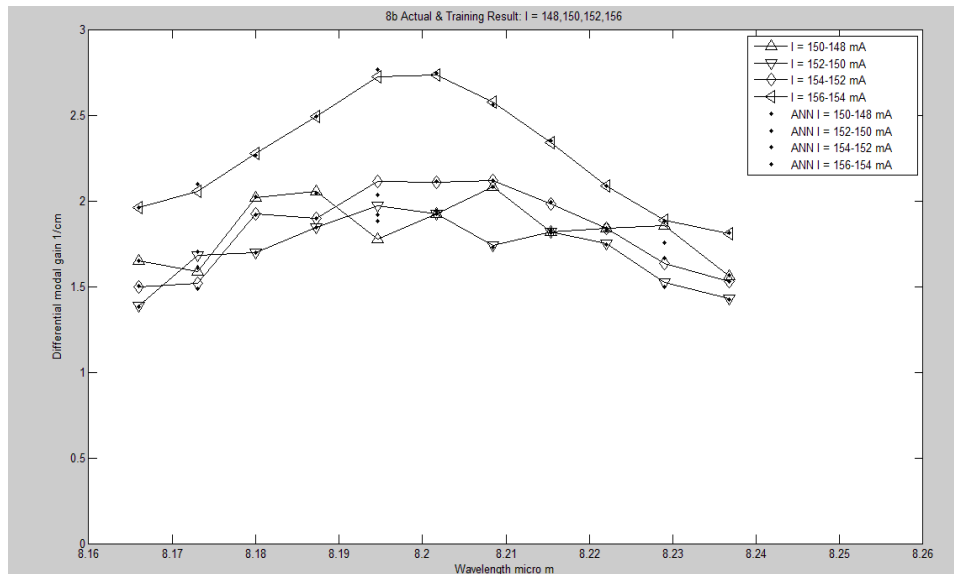
IV. Analiz ve Bulgular

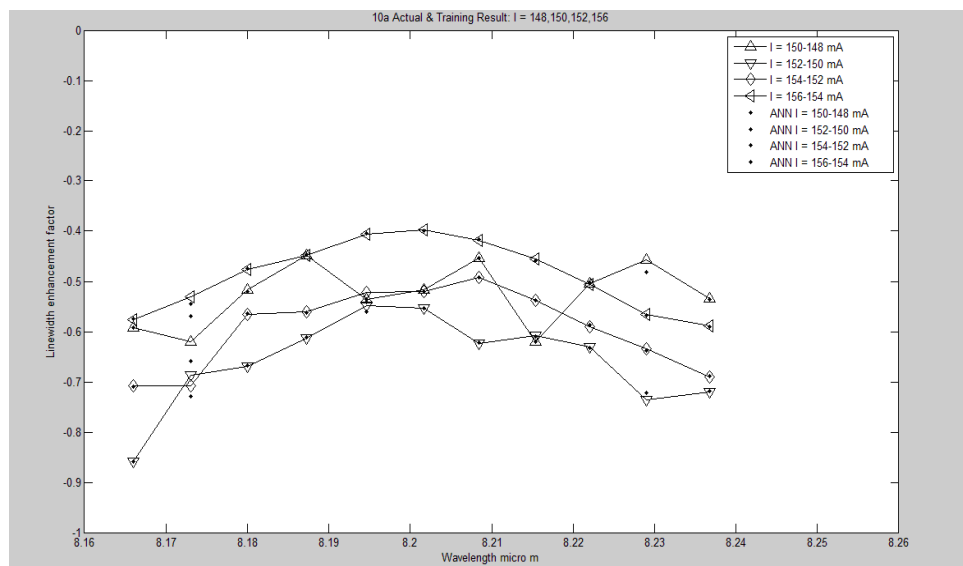
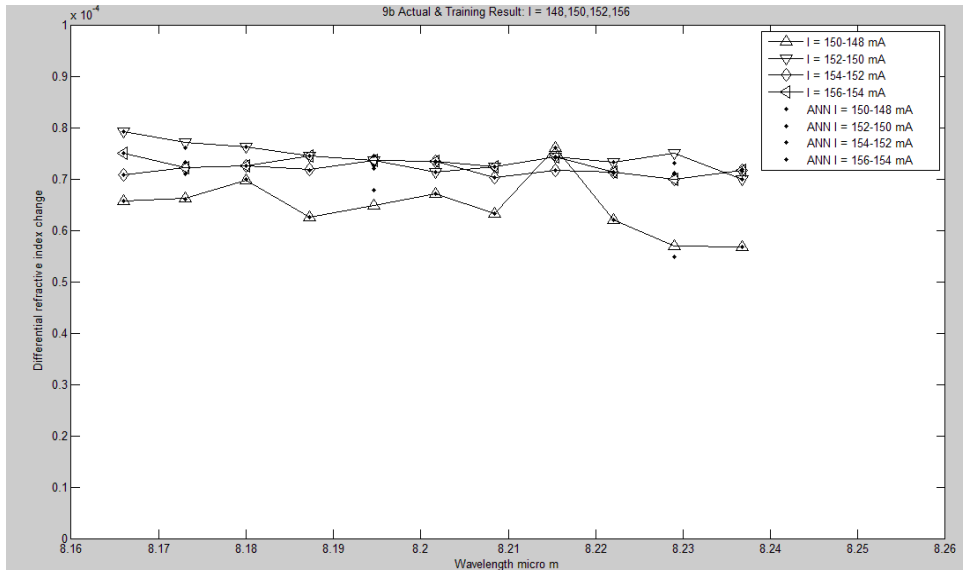
Bu bilgiler projeden çıkan yayınlarda mevcuttur ve ekte verilmiştir.

V. Sonuç ve Öneriler

Modellenecek yarı iletken lazer için araştırma yapılmış ve yeni bulunan ve hala geliştirilen güncel bir lazer olan quantum kaskat lazer modelleme için seçilmiştir. Bu yarı iletken lazerler geleneksel yarı iletken lazerlere göre birçok avantajları mevcuttur. Lazer ışığını spektrumun Terahertz kısmında ürettiği gibi oda sıcaklığında da çalışabilirler. Ayrıca daha yüksek optik güce sahip, küçük boyutta ve geniş ayarlama aralığı ile serbest uzay optik haberleşmesinde, infrared sayaç ölçümlerinde, metal algılamasında ve astronomi uygulamalarında kullanılırlar.

Kritik optik niceliklere ait elde edilen deneysel ve hassas veriler bir yazılım eşliğinde birleştirilerek optimizasyonu yapılmış ve tek bir model elde edilmiştir. Buna ek olarak yapay sinir ağlarının parametreleri de her öğrenme algoritmasına göre optimize edilerek ortaya quantum kaskat yarı iletken lazerlere ait sistemlerin tasarım aşamasında kullanılabilecek optimal bir model ortaya konulmuştur. Elde olan deneysel verilerin model çıktıları ile karşılaştırılmaları her bir optik nicelik için ayrı ayrı verilmiştir (Grafikler). Kullanılan her öğrenme algoritmasının yapay sinir ağları parametrelerinin optimize edilmiş şeklide en sonunda bir tablo şeklinde ortaya konmuştur. Böylelikle quantum kaskat lazer kullanılacak sistemlerin tasarım aşamasında ne tip bir tepki vereceği modelden kısa bir süre içinde hesaplanarak ortaya konacaktır. Elde edilen bu model sonuçları SCI da taranan ayrı bir dergiye değerlendirilmek üzere gönderilmiştir.





	LM	BFGS	CGF	SCG	RP	BR
Layers	2x2x22x22x3	2x1x6x22x3	2x6x14x12x3	2x6x12x13x3	2x4x25x14x3	2x1x25x10x3
Learning rate	0.8	0.6	0.3	0.5	0.7	0.7
Momentum	0.8	0.6	0.6	0.8	0.1	0.8
Train mse	3.2747e-25	5.4946e-04	1.5367e-04	1.7238e-05	0.0017	1.3945e-06
Test mse	0.0015	0.0030	0.0018	0.0017	0.0018	0.0018

Bir çok denemeden sonra optimal model en düşük hata veren Levenberg-Marquard (LM) algoritması ile 2 x 2 x 22 x 22 x 3 yapısında elde edilmiştir. Bu iki girişli (Dalgaboyu, Akım) ve üç çıkışlı (modal kazanç, kırınım indis değişimi, Alfa parametresi) bir yapay sinir ağı devresini ifade etmekte ayrıca arada üç saklı katman bulunmaktadır. Birinci katmanda iki nöron, ikinci ve üçüncü katmanlardada yirmiikişer nöronu bulundurmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak giriş ve çıkış tabakaları arasında doğrusal fonksiyon, ara katmanlar arasında da hiperbolik tanjant sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Elde edilen optimal modelin geçerliliğini kanıtlamak için model çıktıları deneysel değerlerle karşılaştırılmış ve grafiklerden de gözlenildiği üzere her iki sonuçta birbiri ile uyumlu çıkmıştır. Elde edilen uyumlu sonuçlar yapay sinir ağları modelinin sağlamlılığını desteklemekle birlikte deneysel verilerin az olması daha kuvvetli bir modelin (daha az mse hata) elde edilmesindeki en önemli engeli teşkil etmektedir.

Elde edilen model kuantum kaskat lazerlerle ilgilenen mühendisler için temel teşkil edecek ve bu lazerlerin kullanıldığı sistemlerin tasarım aşamasında tepkinin hızlı bir simülasyon şeklinde elde edilmesini sağlayacaktır. Bu modeli optik geçmişi olmayan kişiler bile rahatlıkla kullanarak kritik optik nicelikleri kısa bir sürede normal özellikleri olan bir PC ile hesaplama şansını yakalayacaklardır.

VI. Kaynaklar

- [1] H. Wang, D.T. Cassidy, IEEE J. Quantum Electron. 41 (4), 532 (2005).
- [2] M. Yamada, Y. Suematsu, J. Appl. Phys. 52 (4), 2653 (1981).
- [3] J. Hader, J.V. Moloney, S.W. Koch, IEEE J. Quantum Electron. 35 (12), 1878 (1999).
- [4] J. Faist, F. Capasso, D. L. Sivco, C. Sirtori, A. L. Hutchinson, and A. Y. Cho, Science 264, 553 (1994).
- [5] Celebi F.V., Altindag T, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications 3 (10) 975 (2009)
- [6] Celebi F.V., Danisman K., Proceedings of SPIE 5662, 384 (2004).
- [7] Celebi F.V., Danisman K., Optics and Laser Technology 37 (4), 281 (2005).
- [8] Celebi F.V., Journal of Optoelectronics and Advanced Materials 7 (3), 1573 (2005)

- [9] M. H. Hassoun, Fundamentals of Artificial Neural Networks, MIT Press Cambridge (1995).
- [10] Celebi F.V., Dalkiran I, Danisman K., OPTIK 117 (11), 511 (2006).
- [11] Sagiroglu S., Celebi F.V., Danisman K., AEU 56 (1), 51 (2002).
- [12] F.V. Celebi, OPTIK 116 (8), 375 (2005).
- [13] Celebi F.V., Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 21 (1), 161 (2005)
- [14] Danisman K., Dalkiran I., Celebi F.V., MEASUREMENT 39 (8), 695 (2006)
- [15] J. Kim, M. Lerttamrab, S. L. Chuang, IEEE J. Quantum Electron. 40 (12), 1663 (2004).
- [16] F. M. Ham, I. Kostanic, Principles of Neurocomputing for Science and Engineering, McGraw Hill, Singapore (2002).

VII. Ekler

a) Mali Bilanço ve Açıklamaları

2.03.2- Sarf malzeme Kodundan:

7 kalem bilgisayar sarf malzeme alımı yapıldı. Kdv dahil 1.498,00TL

6.06.1-Demirbaş Malzeme Kodundan:

1 adet bilgisayar 1 adet yazıcı alımı yapıldı. Kdv dahil 4.094.00TL

b) Makine ve Teçhizatın Konumu ve İlerideki Kullanımına Dair Açıklamalar

Kurulan bu bilgisayar sistemi elde edilen bu bilgisayar destekli modelin hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlamıştır. İleride benzer şekilde elde edilecek yarı iletken lazer modelleri için bu sistem bir zemin oluşturacaktır. Ancak yarı iletken lazerlerde artık femto ve atto saniyeler mertebesinde kararlı hale gelen lazerler olduğundan bu sistemde bazı çok hızlı çalışan aygıtların modellenmesinde yavaş kalacaktır.

c) Teknik ve Bilimsel Ayrıntılar (varsa Kesim III'de yer almayan analiz ayrıntıları)

d) Sunumlar (bildiriler ve teknik raporlar) **(Altyapı Projeleri için uygulanmaz)**

e) Yayınlar (hakemli bilimsel dergiler) ve tezler **(Altyapı Projeleri için uygulanmaz)**