



چهارمین کنفرانس ملی مهندسی برق ایران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد - ۸ و ۹ اسفند ۱۳۹۶

بهینه‌سازی تقویت کننده رامان با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم نلدر-مید

غلامحسین حمیدی^(۱)، همایون مهدوی‌نسب^(۲)، سمیه کاظمی^(۳)

^(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

^(۲) مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

^(۳) استادیار- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

چکیده: امواج نوری هنگام عبور از فیبر دچار تضعیف می‌شوند. برای جبران تضعیف از تقویت کننده‌های نوری استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین تقویت کننده‌های نوری تقویت کننده رامان است. با توجه به اینکه از روش WDM برای انتقال اطلاعات در فیبر استفاده می‌شود مهم است که تمام کانالهای ورودی فیبر نوری به یک اندازه تقویت شوند و کمترین ریبیل را در پاسخ فرکانسی بهره تقویت سیگنال باشد. در این تحقیق با استفاده از شبکه عصبی پیشروی چندلایه با الگوریتم آموزش پس انتشار خطا و الگوریتم بهینه‌سازی نلدر-مید سعی در کاهش ریبیل تقویت کننده رامان می‌باشد. شبکه عصبی بعنوان مدل کننده ریاضی سیستم پیچیده و غیرخطی نوری و الگوریتم نلدر-مید جهت بهینه‌سازی متغیرهای توان و طول موجهای پمپهای تقویت کننده مدلسازی شده بکار رفته‌اند. نتایج حاصل ریبیل ۰/۴۲ دسی بل را برای یک سیستم WDM با ۲۰ کانال با پهنای ۰/۸ نانومتر برای هر کانال با چهار پمپ رامان نشان می‌دهد که نشانگر عملکرد موفق روش پیشنهادی است.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، تقویت کننده رامان، شبکه عصبی، نلدر-مید

اطلاعات می‌گردد. یکی از مهم‌ترین موارد در استفاده از فیبرهای نوری صحت، دقت و سرعت انتقال اطلاعات در آن می‌باشد. فیبرهای نوری مانند بسیاری از محیطهای انتقال دارای تلفات است. در نتیجه باعث تضعیف در تارهای نوری می‌گردد. این تضعیف باید جبران گردد. به همین منظور از تقویت کننده نوری مناسب استفاده می‌گردد. تلفات فیبر در تمام طول موجها یکسان نیست. کمترین تلفات در طول موجهای ۱۵۵۰ و ۱۳۰۰ نانومتر است [۱]. صحت انتقال اطلاعات در طول فیبر و امکان

۱- مقدمه

با توجه به سرعت گسترش اطلاعات در شاخه‌های مختلف انتقال داده‌ها با سرعت و کیفیت مناسب بسیار حائز اهمیت می‌باشد. یکی از تکنولوژی‌هایی که نقش بسزایی در انتقال اطلاعات با سرعت بالا دارد و در حال گسترش می‌باشد مخابرات فیبر نوری است. فیبر نوری یک موجبر استوانه‌ای از جنس شیشه یا پلاستیک است که با انتقال امواج نورانی در طول فیبر باعث انتقال

چندلایه^۶ با الگوریتم پس انتشار خطا^۷ و الگوریتم بهینه‌سازی نلدر-مید^۸، بهینه‌سازی یک تقویت‌کننده رامان ۲۰ کاناله انجام شده است.

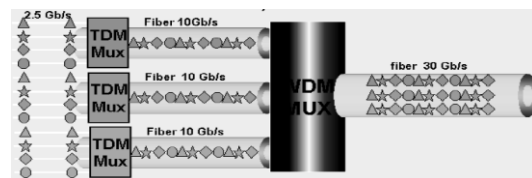
۲- تقویت‌کننده نوری رامان

در این تقویت‌کننده از پراکندگی برانگیخته رامان برای تقویت سیگنال‌ها در فیبر نوری استفاده می‌شود. مزیت این نوع تقویت‌کننده در این است که هر سیگنال با هر طول موجی را می‌توان بوسیله آن تقویت کرد و از فیبر بعنوان یک محیط بهره سیگنال نوری استفاده نمود. در این تقویت‌کننده از دیودهای لیزر با طول موج و توان مناسب بعنوان پمپ استفاده می‌گردد. با توجه به خواص پراکندگی رامان طول موج پمپ کمتر از طول موج سیگنال طراحی می‌گردد. بهره تقویت‌کننده به اختلاف بین طول موج سیگنال و پمپ بستگی دارد که خود از مهمترین عیوب آن است. این خصیصه باعث می‌گردد تارهای نوری ورودی با مقادیر متفاوتی در فیبر تقویت گردند که در نتیجه باعث ریپل در خروجی فیبر می‌شود. جهت کاهش ریپل خروجی باید تعداد پمپ‌ها زیاد گردد. هر چه تعداد پمپ‌ها را زیادتر کنیم ریپل در خروجی فیبر کمتر و نتایج بهتری حاصل می‌شود. این عمل از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. لذا با طراحی مناسب طول موج و توان پمپ سعی در بهبود ریپل خروجی می‌نمایند [۲].

۳- بهینه‌سازی به روش نلدر - مید

الگوریتم بهینه‌سازی سیمپلکس نلدر-مید از روشهای بهینه‌سازی غیرگرادیانی نامقید است. سرعت اجرای این روش نسبت به دیگر روشهای غیرگرادیانی بیشتر است. در این روش احتیاج به محاسبه مشتقات پیچیده مانند روش گرادیانی نمی‌باشد. این روش از مفهوم سیمپلکس که یک چند ضلعی محدب با $n+1$ راس برای یک تابع n متغیره

آشکارسازی آن بسیار حائز اهمیت است. نظر به تضعیف تارهای نوری در طول فیبر از تقویت‌کننده‌های نوری استفاده می‌شود. رامان^۱، SOA^۲ و EDFA^۳ از مهمترین تقویت‌کننده‌هایی هستند که بدین منظور طراحی گردیده است [۲]. جهت افزایش حجم اطلاعات عبوری از فیبر، از روش WDM^۴ استفاده می‌شود. در این روش سیگنال حاوی اطلاعات در یک سیگنال حامل ضرب شده و بر روی یکی از کانال‌های باند انتقال قرار می‌گیرد و باعث افزایش ظرفیت انتقال اطلاعات توسط فیبر می‌گردد. شکل (۱) نحوه‌ی ارسال اطلاعات توسط فیبر به روش WDM را نشان می‌دهد [۳].



شکل (۱) سوار کردن اطلاعات در یک سیستم WDM

مهم است که تمام کانالهای WDM به یک اندازه تقویت شوند و بهره تقویت دارای ریپل نبوده یا ریپل آن بسیار کم باشد. نظر به اینکه کاهش هزینه یکی دیگر از پارامترهای مهم می‌باشد، باید طراحی تقویت‌کننده‌ها طوری انجام گیرد که مقرون به صرفه باشد.

یکی از تقویت‌کننده‌های فیبر نوری که کاربرد زیادی یافته‌است تقویت‌کننده رامان است [۴]. در این تقویت‌کننده از دیودهای لیزر بعنوان پمپ تقویت‌کننده استفاده می‌شود. طراحی مناسب این پمپها در کاهش ریپل خروجی اهمیت دارد. روشهای زیادی جهت طراحی مکان، تعداد، توان و طول موج پمپها ارائه شده است. به صورتی که با کمترین هزینه ریپل بهره خروجی کاهش یابد. از جمله این روشها می‌توان به الگوریتم ژنتیک [۵]، بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۵ [۶]، و منطق فازی [۷] اشاره کرد. در این مقاله با استفاده از شبکه عصبی پیشروی

¹ Raman

² Semiconductor Optical Amplifiers

³ Erbium Doped Fiber Amplifiers

⁴ Wavelength Division Multiplexing

⁵ Particle Swarm Optimization

⁶ Multi layer Perceptron

⁷ Back Propagation

⁸ Nelder - Mead

است استفاده می‌کند. مراحل پیاده‌سازی الگوریتم به شرح زیر است [۸].

مرحله اول: مرتب سازی رئوس

در این مرحله با توجه به X_1, X_2, \dots, X_{N+1} نقطه و تابع هدف $f(X)$ مرتب سازی طبق رابطه (۱) انجام می‌دهد.

X_{N+1} و X_1 به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر برای تابع هدف هستند.

مرحله دوم: ساخت نقطه انعکاس

در این مرحله، مطابق رابطه (۲) سعی بر کاهش مقدار تابع هدف می‌باشد.

(۲)

در این رابطه α ضریب انعکاس است و با قراردادن آن برابر یک، در صورتی که $f(X_1) \leq f(R) \leq f(X_N)$ برقرار باشد. R جایگزین نقطه‌ای با بیشترین مقدار تابع هدف می‌شود. و ادامه الگوریتم از مرحله اول ادامه می‌یابد.

مرحله سوم: انبساط نقطه

در صورتی که $f(R) \leq f(X_1)$ با انبساط نقطه مطابق رابطه (۳) مقدار تابع هدف در نقطه انبساط بررسی گردد.

(۳)

در این رابطه γ ضریب انبساط می‌باشد. با قراردادن آن برابر دو، چنانچه $f(S) \leq f(R)$ و در غیر اینصورت R جایگزین نقطه‌ای با بیشترین مقدار هدف می‌شود و ادامه الگوریتم از مرحله اول ادامه می‌یابد.

مرحله چهارم: انقباض نقطه

در صورتی که $f(R) \geq f(X_N)$ با انقباض نقطه، مقدار تابع هدف در نقطه انقباض بررسی می‌شود. حال اگر $f(R) \leq f(X_{N+1})$ باشد. نقطه انقباض به صورت رابطه (۴) می‌باشد.

$$C = M + (R - M) / 2 \quad (4)$$

در این رابطه مقدار R با قراردادن a برابر یک در رابطه (۲) بدست می‌آید. چنانچه $f(C) \leq f(R)$ ، C جایگزین نقطه‌ای با بیشترین مقدار تابع هدف می‌شود. و ادامه الگوریتم از مرحله اول ادامه می‌یابد. حال اگر $f(R) \geq f(X_{N+1})$ باشد. مطابق رابطه (۵) داریم:

$$CC = M + (X_{N+1} - M) / 2 \quad (5)$$

چنانچه $f(CC) < f(X_{N+1})$ ، CC جایگزین نقطه‌ای $f(X_1) \leq f(X_2) \leq \dots \leq f(X_{N+1})$ با بیشترین مقدار تابع هدف می‌شود. و ادامه الگوریتم از مرحله اول ادامه می‌یابد.

مرحله پنجم: کاهش نقطه

هنگامی که الگوریتم برای جستجوی نقطه بهینه، نقطه با بیشترین مقدار تابع هدف را $R = M + \sigma(M - X_N)$ انتخاب می‌دهد. ناحیه جستجو را بنزدیکی X_1 انتقال می‌دهد. اینصورت الگوریتم همه نقاط را به جز نقطه با کمترین مقدار هدف را جابجا می‌کند. و نقاط مطابق رابطه (۶) به روز رسانی می‌شوند.

$$V_i = X_1 + \sigma(X_i - X_1) \quad i=2,3,\dots,n+1 \quad (6)$$

در این رابطه σ ضریب کاهش است و مقدار آن برابر (۰/۵) در نظر گرفته می‌شود. با قراردادن $X_i = V_i$ ادامه الگوریتم از مرحله اول ادامه می‌یابد. الگوریتم نلدر-مید یک روش تکرار است که پس از حداقل کردن تابع هدف، مقادیر پارامترهای بهینه را به دست می‌آورد $S = M + \gamma(M - X_N)$

۴- ساختار شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان مدل‌های سخت‌افزاری از ساختار عصبی مغز انسان نامید. مکانیسم فراگیری و آموزش مغز اساساً بر تجربه استوار است. شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز بر اساس همین الگو بنا شده‌اند. یک شبکه عصبی مصنوعی از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده بهم پیوسته به نام نورون تشکیل شده است که برای حل یک مسأله به طور هماهنگ عمل می‌کند. برای شبکه‌های عصبی ساختارهای متنوعی طراحی

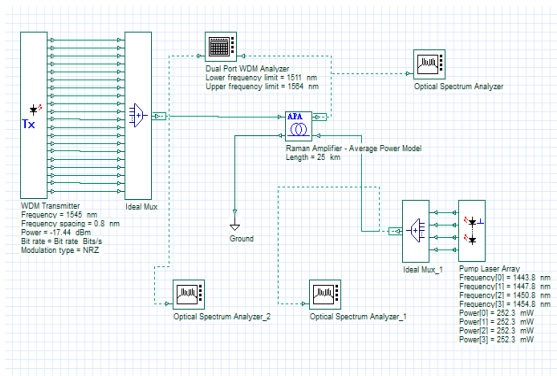
۵- مشخصات سیستم مخابرات نوری مورد تحقیق

در سیستم مخابرات نوری مورد تحقیق از یک فیبر نوری به طول ۲۵ کیلومتر با مقدار تضعیف ۰/۲ dB/km در دمای ۳۰۰ درجه کلون با میزان پراکندگی رابلی $1/km \times 10^{-5}$ استفاده شده است.

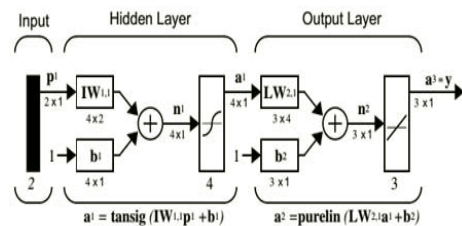
داده‌های ورودی به فیبر یک سیستم WDM نوری ۲۰ کاناله، پهنای هر کانال ۰/۸ نانومتر که تارهای نوری از طول موج ۱۵۴۵ تا ۱۵۶۰/۲ نانومتر در نظر گرفته شده است. توان تمام تارهای نوری ورودی ۱۷/۴۴ dBm- تعیین گردیده است. پمپهای رامان در انتهای فیبر از نوع برگشتی قرار دارند. تعداد پمپ مورد استفاده چهار پمپ می‌باشد.

۶- بدست آوردن داده‌های اولیه شبکه عصبی

هر شبکه عصبی دارای یک سری داده اولیه به عنوان ورودی شبکه و یک سری داده خروجی شبکه می‌باشد. پس از آموزش شبکه ماتریس وزن‌ها و بایاسها مشخص می‌گردد. اطلاعات ورودی شبکه با توجه به اینکه می‌خواهیم از ۴ پمپ رامان استفاده گردد عبارت‌است از فرکانس و توان پمپها (۸ ورودی) و خروجی شبکه میزان تقویت هر کانال WDM (۲۰ خروجی) است. برای آموزش شبکه عصبی از ۷۷ الگوی آموزشی استفاده شده است. این الگوها از تغییر توان و فرکانس پمپهای رامان در نرم‌افزار اپتی سیستم و محاسبه گین هر کانال بدست می‌آید. شکل (۳) شماتیک نرم افزار اپتی سیستم را نشان می‌دهد.



شده است. از جمله آنها می‌توان به شبکه هاپفیلد^۹، شبکه خود سازمانده کوهنن^{۱۰} و شبکه RBF^{۱۱} اشاره کرد [۹]. یکی از ساختارهای متداول شبکه‌های عصبی ساختار MLP یا شبکه پیشرو چند لایه می‌باشد. با توجه به سادگی و توانایی آن کاربرد گسترده‌ای در علوم مختلف یافته است. در آرایش MLP، نرون‌ها در چندین لایه به ترتیب قرار دارند. به طوری که هر لایه ورودی‌های خود را از لایه قبلی دریافت و خروجی‌های خود را به لایه بعدی می‌فرستد. به لایه اول، لایه ورودی^{۱۲}، و به لایه آخر، لایه خروجی^{۱۳} گفته می‌شود. در این مقاله جهت آموزش این شبکه از الگوریتم پس‌انتشار خطا استفاده شده است. الگوریتم پس انتشار خطا از روش‌های باسرپرست است. به این مفهوم که نمونه‌های ورودی برچسب خورده‌اند و خروجی مورد انتظار هر یک از آنها از پیش دانسته است. لذا خروجی شبکه با این خروجی‌های ایده‌آل مقایسه شده و خطای شبکه محاسبه می‌گردد. در این الگوریتم وزن‌های اولیه شبکه به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. در هر گام خروجی شبکه محاسبه شده و بر حسب میزان اختلاف آن با خروجی مطلوب، وزن‌ها تصحیح می‌گردند. تا در نهایت این خطا، می‌نیمم شود. شکل (۲) ساختار یک شبکه عصبی پیشرو دولایه را نشان می‌دهد. در این شبکه تابع فعالیت لایه اول (لایه مخفی) به صورت سیگموئید و تابع فعالیت لایه خروجی به صورت خطی می‌باشد [۱۰].



شکل (۲) ساختار یک شبکه عصبی پیشرو دولایه

- ⁹ Hopfield Network
¹⁰ Self Organized Map(SOM)
¹¹ Radial Basis Function
¹² Input Layer
¹³ Output Layer

در این رابطه عبارت $f^1(w^1x+b^1)$ خروجی لایه مخفی، Gain خروجی شبکه، f^1 تابع تبدیل لایه مخفی مطابق رابطه (۷)، f^2 تابع تبدیل لایه خروجی مطابق رابطه (۸)، w^1 وزنه‌های لایه مخفی، w^2 وزنه‌های لایه خروجی، b^1 بایاس لایه مخفی و b^2 بایاس لایه خروجی می‌باشد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که بعد از آموزش شبکه توسط نرم افزار متلب مقادیر w^1, w^2, f^1, f^2 مقادیر ثابتی هستند و با هر ورودی منطقی علاوه بر ورودی های اولیه شبکه می توان خروجیها را با استفاده از رابطه (۹) محاسبه نمود. ولی هدف از بهینه سازی عکس این عمل است. یعنی برای هر خروجی دلخواه ورودی مطلوب را محاسبه شود. به عبارت دیگر، برای مقدار Gain مطلوب، مقدار x (بردار طول موج و توانهای تقویت کننده) محاسبه گردد که هدف اصلی بهینه سازی است.

اگر بخواهیم Gain به یک مقدار Target که مطلوب است برسد. مطابق رابطه (۱۰) داریم:

$$E = || \text{Gain} - \text{Target} || \quad (10)$$

هدف این است که مقدار x را طوری تعیین شود که E به صفر نزدیک گردد. برای بدست آوردن پاسخ از روشهای بهینه سازی استفاده می‌گردد. در این مقاله از الگوریتم بهینه سازی نلدر-مید استفاده شده است. نتایج حاصل از بهینه سازی برای طول موج پمپ‌های رامان مقادیر $1442/3$ ، $1446/1$ ، $1448/7$ و $1454/3$ نانومتر و توان تمام پمپ‌های رامان $249/9$ میلی وات بدست آمد. با جایگذاری مقادیر بهینه پمپ رامان در نرم‌افزار اپتی سیستم مقدار گین هر کانال بدست می‌آید. شکل (۴) نمودار گین 20 کانال را بعد از بهینه سازی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌نمایید مقدار ریپل گین به 0.42 دسی‌بل کاهش یافته است.

شکل (۵) مقدار ریپل گین یکی از نمونه‌های آموزشی شبکه عصبی را که به تجربه تعیین شده را نشان می‌دهد. در این نمونه مقادیر پمپ‌های رامان $1446/5$ ، $1450/5$ ، $1453/5$ ، $1457/5$ نانومتر و توان تمام پمپ‌ها 255 میلی

۷- نحوه بهینه‌سازی تقویت کننده رامان

در این روش ابتدا باید با استفاده از نمونه‌های آموزشی یک شبکه عصبی طراحی نمود. شبکه عصبی به عنوان شناسایی کننده سیستم عمل می‌کند. پس از آموزش شبکه و مشخص شدن وزنها و بایاسها، رابطه ریاضی بین خروجیها و ورودیهای سیستم نوری بوسیله شبکه عصبی تقریب زده شده و بصورت یک معادله بسته بدست می‌آید. سپس توسط روشهای بهینه‌سازی مقادیر بهینه توان و طول موج پمپها در معادله مذکور مشخص می‌شوند.

در این مقاله یک شبکه پیشروی دولایه با الگوریتم آموزش پس‌انتشار خطا استفاده شده است. تعداد ورودی‌ها 8 (طول موج و توان پمپ های رامان) و تعداد خروجی 20 (میزان بهره هر کانال تار نوری ورودی فیبر) تعیین می‌گردد. تابع تبدیل لایه مخفی سیگموئید و تابع تبدیل لایه خروجی بصورت خطی در نظر گرفته می‌شود. رابطه (۷) یک تابع تبدیل سیگموئید و رابطه (۸) یک تابع تبدیل خطی را نشان می‌دهد [۱۰].

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (7)$$

$$f(x) = x \quad (8)$$

جهت آموزش شبکه از نرم افزار متلب استفاده می‌شود. در آموزش شبکه تعداد نورونهای لایه مخفی 30 در نظر گرفته شده است. برای بدست آوردن بهترین تعداد نورون لایه مخفی از تعداد نورون 25 تا 35 در نرم افزار متلب آزمایش انجام شده است. در تعداد 30 نورون بهترین نتیجه بدست آمد. قانون آموزش شبکه لونیگ-مارکوارت است که سرعت و دقت بالایی در آموزش شبکه دارد.

حال اگر x را بعنوان ماتریس ورودی و Gain را بعنوان ماتریس خروجی شبکه در نظر گرفته شود بعد از آموزش شبکه رابطه (۹) را خواهیم داشت.

$$\text{Gain} = f^2(w^2 f^1(w^1x + b^1) + b^2) \quad (9)$$

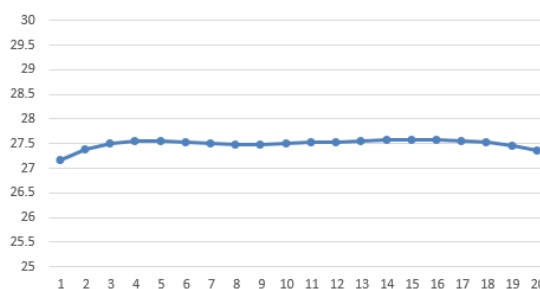
و ۱۴۵۴/۳ نانومتر و توان تمام پمپهای رامان ۲۴۹/۹ میلی وات بدست می‌آید و مقدار رپل گین ۰/۴۲ دسی‌بل کاهش می‌یابد.

مراجع

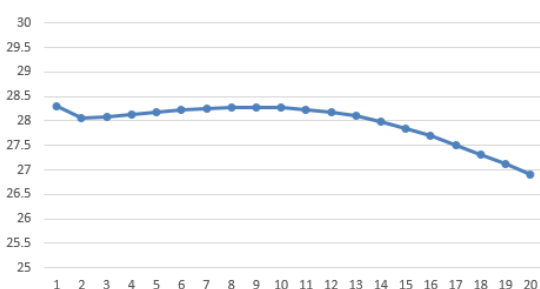
- [1] Agrawal, G, Optic communication systems, edition 4, 2010
- [۲] حشمتی، س، پور جلالی، م.ج، مقدمه ای بر سیستمهای مخابرات نوری و آشنایی بر نرم افزارهای اپتی سیستم و اپتی فایبر، انتشارات دبستان، چاپ اول ۱۳۹۳
- [3] M.Yankov, M.Plamenov, "Temporal probabilistic constellation shaping for WDM optical communication system", Proceedings of European Conference on Optical Communications, 78-3-8007-4274-5, 2016
- [4] D. Malika, K. Pahwaa, A. Wasonb, " Performance optimization of SOA, EDFA, Raman and hybrid optical amplifiers in WDM network with reduced channel spacing of 50 GHz" ,since direct , Optic - International Journal for Light and Electron Optics , Volume 127, Issue 23, Pages 11131–11137,2016.
- [5] G.C.M. Ferreira, S. P. N. Cani, M. J. Pontes, M. E. V. Segatto, " Optimization of distributed raman amplifiers using a hybrid genetic algorithm with geometric compensation technique" , IEEE Photonics Journa, Vol. 3, No. 3 pp.390:399, 2011.
- [6] C.J. A. Bastos-Filho, E.M. N. Figueiredo , "Design of distributed optical fiber raman amplifiers using multi-objective particle swarm optimization" , Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vol. 10, No. 2, pp.323-336, 2011.
- [7] M.A.Zaman, "Application of Taguchi's method to optimize fiber Raman amplifier", SPIE, Optical Engineering, Lasers Fiber Optics and Communications, Volume 55, Issue 4, 2016
- [8] Lagarias, J. C., J. A. Reeds, M. H. Wright, and P. E. Wright. "Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions." SIAM Journal of Optimization. Vol. 9, Number 1, pp. 112-147, 1998.
- [9] Hagan, M.T, Demuth, H.B, Beale, M.H, Jess, O, Neural network design, 2nd, USA, 2014.
- [10] J.Zhou, J.Chen, X.Li, G.Wu, Y.Wang, W.Jiang, " Robust, compact, and flexible neural

وات انتخاب گردیده است که نتیجه آن رپل ۱/۵ دسی‌بل بدست می‌آید.

گین بهره



شکل ۴- رپل گین بعد از بهینه‌سازی



شکل (۵) رپل گین قبل از بهینه‌سازی

۸- نتیجه‌گیری

ما در این مقاله یک روش سریع و آسان جهت بهینه‌سازی تقویت کننده رامان ارائه گردید. در این روش نیازی به محاسبات ریاضی پیچیده نمی‌باشد. با استفاده از یک سری نمونه آموزشی که از نرم‌افزار اپتی سیستم بدست آمده یک شبکه عصبی MLP طراحی می‌گردد. در این روش شبکه عصبی مانند مابقی روشهای بهینه‌سازی، مستقیماً بهینه‌سازی را انجام نمی‌دهد. بلکه جهت شناسایی سیستم عمل می‌کند. بهینه‌سازی پس از آموزش شبکه به روش پس‌انتشار خطا و مشخص شدن وزنها و بایاسها و تعیین روابط ریاضی بین متغیرهای ورودی و خروجی شبکه بوسیله الگوریتم بهینه‌سازی نلد-مید انجام می‌گردد. نتایج بهینه‌سازی برای یک فیبر نوری به طول ۲۵ کیلومتر، یک سیستم WDM نوری ۲۰ کاناله با پهنای هر کانال ۰/۸ نانومتر که تارهای نوری از طول موج ۱۴۵۴ تا ۱۵۶۰/۲ نانومتر و توان تمام تارهای نوری ورودی ۱۷/۴۴dBm- انتخاب گردیده است بصورت طول موج پمپهای رامان ۱۴۴۲/۳، ۱۴۴۶/۱، ۱۴۴۸/۷

model for a fiber raman amplifier", Journal of lightwave technology, Vol 24, No 24, pp. 2362-2367, 2006.