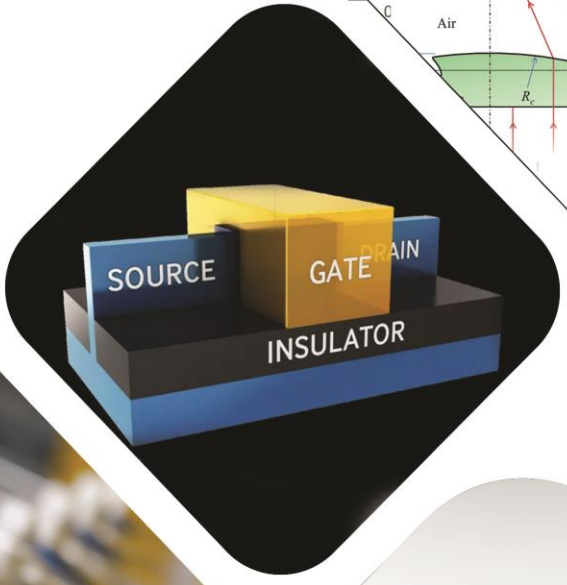
زمستان ۹۸
سال هشتم

کهربا

فصلنامه تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر









شماره ۲۶

kahroba

بیو لیزر PSO

بررسی ترانزیستورهای FinFet

آرایه سنسور فیبر کریستال فوتونی

کاربرد لنز فرنل در شرایط آب وهوایی نامساعد جهت افزایش بازده سیستمهای فوتوولتائیک

ارائه طرح حفاظتی ریز شبکه ها در حالت جزیره ای شدن

استفاده از معیارهای شباهت و ویژگی های دموگرافیک کاربران برای تشخیص اجتماعات در شبکه های اجتماعی

ارائه روش جدید جهت بهینه کردن هزینه تولید میزان بار ژنراتور و حل مسئله تعهد واحد با استفاده از الکوریتم ژنتیک

ISSN :2322-3723

www.kahrobaonline.ir

شماره مجوز وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ۷۷۸۲۱



سال هشتم

شماره بیست و ششم

زمستان ۹۸

صاحب‌امتیاز

سایت نواندیشان

مدیرمسئول	سردبیر
مهدی عارف خیابانی	امین شیخ نجدی

هیئت تحریریه

دکتر میثم عسگری- ارشد برق- دکترای علوم و مهندسی کامپیوتر- استادیار دانشگاه OHSU پورتلند آمریکا

دکتر امیرحسین رحمانی – دکترای برق قدرت- مدیر گروه برق دانشگاه آزاد دزفول

دکتر موسی مجرد- دکترای کامپیوتر، نرم افزار- رئیس دانشگاه آزاد اسلامی فراشبند

دکتر ملیحه نیک سیرت- دکترای علوم کامپیوتر- استادیار دانشگاه صنعتی بیرجند

دکتر محمد دوستی زاده- دکترای برق، قدرت- مربی دانشگاه آزاد اسلامی خرم آباد

دکتر علویه میرفتح الهی- دکترای علوم اعصاب گرایش هوش مصنوعی- دانشگاه علم و صنعت ایران

مهندس امین شیخ نجدی- استاد الکترونیک دانشگاه آزاد دزفول (مربی)

مهندس مریم فریور – استاد دانشگاه فنی و حرفه ای و استاد مدعو دانشگاه صنعتی اصفهان

مهندس آزاد رحیمی – کارشناس ارشد برق قدرت- عضو هیئت علمی دانشگاه فنی و حرفه ای سنندج

مهندس مهسا سرائی – کارشناس ارشد برق مخابرات

مهندس علی کمالی- کارشناس ارشد برق قدرت – کارشناس پژوهشکده خودرو محیط زیست دانشگاه تهران

مهندس آرام قادری – کارشناس ارشد برق الکترونیک – دانشگاه سنندج

درباره کهربا	۳
یادداشت مدیرمسئول	۴
آشنایی با مشاهیر برق	
پروفسور بیژن داوری- مدیر ارشد IBM	۵
اخبار تکنولوژی	
ربات های زبردست، رکتنای نوری – سیده مهسا سرائی	۶
مقالات	
ارائه طرح حفاظتی ریز شبکه ها در حالت جزیره ای شدن آزاد رحیمی – هیئت علمی دانشگاه فنی و حرفه ای کردستان	۸
آرایه سنسور فیبر کریستال فوتونی مهران کریمیان ریزی- کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی مریم فریور- کارشناسی ارشد مهندسی برق – الکترونیک سیدپرویز موسوی – کارشناسی مهندسی برق - قدرت	۱۷
استفاده از معیارهای شباهت و ویژگی های دموگرافیک کاربران برای تشخیص اجتماعات در شبکه های اجتماعی احد فخاری- کارشناسی ارشد مهندسی برق موسی مجرد– استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد فیروزآباد حسن رافعی نیا- مربی موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی لیان بوشهر	۲۴
بررسی ترانزیستورهای Finfet امین شیخ نجدی – کارشناسی ارشد مهندسی برق الکترونیک	۳۳
کاربرد لنز فرنل در شرایط آب و هوایی نامساعد جهت افزایش بازده سیستم های فتوولتائیک طاهره پورسیف- کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل داریس کلاوند، روژین نظری، صدف کوچک خانی، پریسا ربیعی– پژوهشگر دپارتمان الکترونیک و رباتیک راحیل اکبری- کارشناسی مهندسی برق - مخابرات	۳۷
بیولیزر PSO مهران کریمیان ریزی- کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی مریم فریور- کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک	۴۵
ارائه روش جدید جهت بهینه کردن هزینه تولید میزان بار ژنراتور و حل مسئله تعهد واحد با استفاده از الگوریتم ژنتیک حامدی یاوری ، محسن نورمندی پور – شرکت توزیع برق جنوب استان کرمان سید رامین موسوی – شرکت کیان حدید سیرجان	۵۳
ارتباط با کهربا	۶۱

درباره کهربا

مجله الکترونیکی کهربا، باهمت و تلاش جمعی از دانشجویان و مهندسین برق، بخصوص اعضای انجمن علمی و پژوهشی نواندیشان، در سال هزار و سیصد و نود شروع به کارکرد. کهربا از سال ۹۱ با کسب شماره بین‌المللی استاندارد مجلات (ISSN:۲۳۲۲-۳۷۲۳) و ثبت در سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران، به‌عنوان فصلنامه‌ای رسمی و تخصصی در حوزه صنعت برق شناخته‌شده است. این نشریه تخصصی در سال ۹۵ موفق به اخذ پروانه انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، با مجوز شماره ۷۷۸۲۱ و ثبت در سامانه جامع رسانه‌های کشور(e-rasaneh) و بانک اطلاعات نشریات کشور(magiran) گردید. در سال ۹۷ طی تفاهم‌نامه‌ای با بانک مقالات کشور (سیویلیکا) موردحمایت این پایگاه قرارگرفته و مقالات ارائه‌شده به نشریه پس از انتشار در سیویلیکا نمایه شده و در نظام رتبه‌بندی دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.

یادداشت مدیرمسئول

در هشتمین زمستان از فعالیت نشریه کهربا و پس از انتشار بیست‌وپنج شماره از مجله مفتخریم با انتشار بیست و ششمین شماره از این نشریه در خدمت علاقه‌مندان این مجله تخصصی باشیم. تلاش ما از روز نخست، جمع‌آوری، تهیه و ارائه مطالبی ساده و کاربردی، درعین‌حال تخصصی، به قشر فرهیخته دانش‌پژوه و کسانی که مشتاق به دانستن علوم مهندسی برق و الکترونیک یا کامپیوتر هستند، بوده است. امید است با هدایت و راهنمایی شما هر شماره بهتر و پخته‌تر از شماره پیشین گردد. . امیداست که باهمت و همیاری دوستان بتوانیم قدمی هرچند کوچک، جهت جلب رضایت و بالا بردن سطح دانش شما برداریم؛ و روزبه‌روز شاهد پیشرفت و موفقیت‌های شما عزیزان باشیم.

آشنایی با مشاهیر



پروفسور بیژن داوری مدیر ارشد IBM

پروفسور بیژن داوری در سال ۱۹۵۴ در تهران به دنیا آمد. او مدرک دکترای خود را در رشته مهندسی برق از دانشگاه صنعتی شریف، و لیسانس خود از مؤسسه پلی‌تکنیک رنسلیر (RPI)دریافت کرد. او دکترا و پایان نامه‌اش را با عنوان رفتار مشترک وسایل نیمه‌رسانا از RPI دریافت کرد و در سال ۱۹۸۴ به مرکز تحقیقاتی توماس جی واتسون IBMپیوست.

او در IBM، بر روی راهکارهای بهبود فن‌آوری اکسید فلز مکمل (CMOS)کار می‌کرد، که زمینه‌ای برای بسیاری از پردازش‌های ابزارهای نیمه‌رسانای امروزی فراهم می کند. در سال ۱۹۸۵، وی یکپارچه‌سازی نسل بعدی مدارهای CMOS را آغاز کرد که به CMOS-5X معروف شد.

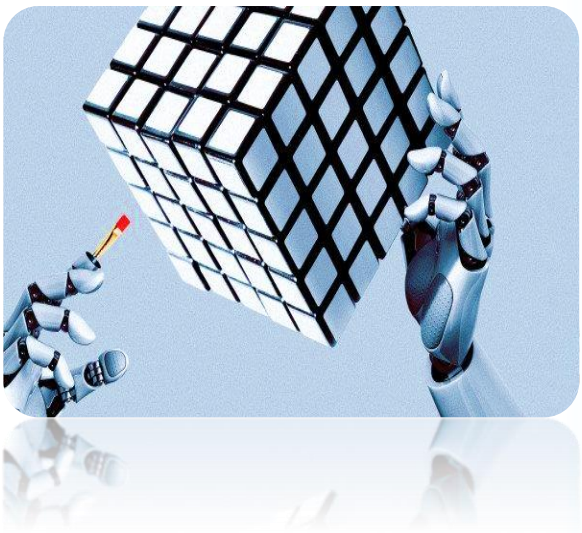
بیژن و تیمش در (آی بی ام) اولین جداسازی شیارهای کم عمق (STI)را نشان دادند. STI به جلوگیری از نشت جریان الکتریکی بین دستگاه های نیمه هادی در یک مدار یکپارچه کمک می کند.

او همچنین به توسعه نوآوری‌هایی از جمله سوئیچ‌های دارای ولتاژ پایین، اتصال مس، سیلیکون در تکنولوژی عایق‌ها کمک کرد، و ساخت کامپیوترها را امکان پذیر ساخت که به‌عنوان ستون فقرات مرکز داده‌های اینترنتی عمل می کنند.

امروزه داوری برای دستیابی به پیشرفت‌های مهم تکنولوژیکی در سطح سیستم در مقام معاون رئیس سیستم‌های محاسبه نسل بعدی در IBM فعالیت می‌کند. دستاوردهای عملکرد آینده از طریق ادغام بیشتر (مثل ادغام تراشه‌های جدید الکتریکی/نوری) IBM و همچنین از طریق پردازش موازی در سطح سیستم و نرم افزار، حاصل خواهد شد. در سال ۱۹۹۶ او به عنوان یکی از اعضای افتخاری شرکت IBM شناخته شد. او همچنین جایزه IEEE مؤسسه مهندسان برق و الکترونیک را برای مشارکت‌های برجسته در رشته خود دریافت کرد. او در سال ۲۰۱۴ به عنوان عضو آکادمی ملی مهندسی برای "مشارکت در مقیاس‌بندی فن‌آوری CMOS انتخاب

اخبار تکنولوژی

ربات‌های زبردست



ربات‌های خودآموز مدیریت جهان را به دست می-گیرند.

با وجود تمامی فعالیت‌هایی که ماشین‌آلات در دنیا انجام می‌دهند، صنعت ربات همچنان ناآزموده و انعطاف‌ناپذیر است. یک ربات می-تواند پیوسته قطعه‌ای را با دقتی شگفت‌آور، بدون آن‌که لحظه‌ای خسته شود از روی خط تولید بردارد. اما به محض اینکه قطعه را ذره‌ای جابه‌جا کنید، یا با شیء دیگری تعویض کنید، ماشین دچار اشتباه مفتضحانه‌ای می‌شود.

اگرچه یک ربات هنوز نمی‌تواند به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود تا بفهمد چگونه هر شیء را فقط با نگاه کردن به آن، همانند انسان‌ها، بردارد، می‌تواند یاد بگیرد که با استفاده از آزمون و خطا ، شیء خود را اداره کند.

یک پروژه مشابه به نام Dactyle وجود دارد که در آن یک ربات به خود آموخته است که چگونه یک بلوک اسباب‌بازی را روی انگشتانش بچرخاند. Dactyle، که محصول شرکت غیردولتی OpenAI در سان‌فرانسیسکو است، شامل دو بازوی ربات بوده که توسط آرایه‌ای از چراغ و دوربین احاطه شده است. با استفاده از مفهومی به نام یادگیری تقویتی، نرم‌افزار شبکه عصبی می‌آموزد که چگونه قبل از آنکه دست در فضای واقعی حرکتی انجام دهد، در فضای شبیه‌سازی شده بلوک را بردارد و ان را بچرخاند.

معمولاً انتقال این نوع تمرین مجازی به دنیای واقعی امکان پذیر نیست ، زیرا چیزهایی مانند اصطکاک یا خصوصیات متنوع مواد مختلف برای شبیه سازی بسیار دشوار است. تیم OpenAI با افزودن ویژگی تصادفی بودن به آموزش مجازی بر این مشکل غلبه کردند.

برای دستیابی به مهارت های پیشرفته مورد نیاز در یک انبار یا کارخانه واقعی، به پیشرفت های بیشتری برای روبات‌ها نیاز داریم. اما اگر محققان بتوانند با اطمینان از این نوع یادگیری استفاده کنند، ممکن است روبات ها در نهایت وسایل ما را جمع کنند ، ماشین ظرفشویی های ما را راه بیاندازند و حتی به مادر بزرگ کمک کننده از رختخواب بیرون آید.

منبع:

https://www.technologyreview.com/lists/technologies/2019/

رکتنای نوری

محققان به سرپرستی باراتوند کولا، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک جورجیا، اولین رکتنای نوری شناخته شده را ساختند- فناوری که می‌تواند از سلول‌های خورشیدی امروزی کارآمدتر و ارزان‌تر باشد.

رکتناها، که ترکیبی از آنتن و یکسو کننده هستند، انرژی الکترومغناطیسی را به جریان الکتریکی مستقیم تبدیل می‌کنند. ایده اصلی از دهه ۱۹۶۰ وجود داشته است، اما تیم کولا با استفاده از تکنیک‌های ساخت در مقیاس نانو و فیزیک‌های مختلف این امکان را فراهم آورد. وی توضیح داد: "به جای تبدیل ذرات نور، همان کاری که سلولهای خورشیدی انجام می‌دهند، ما در حال تبدیل امواج نور هستیم."

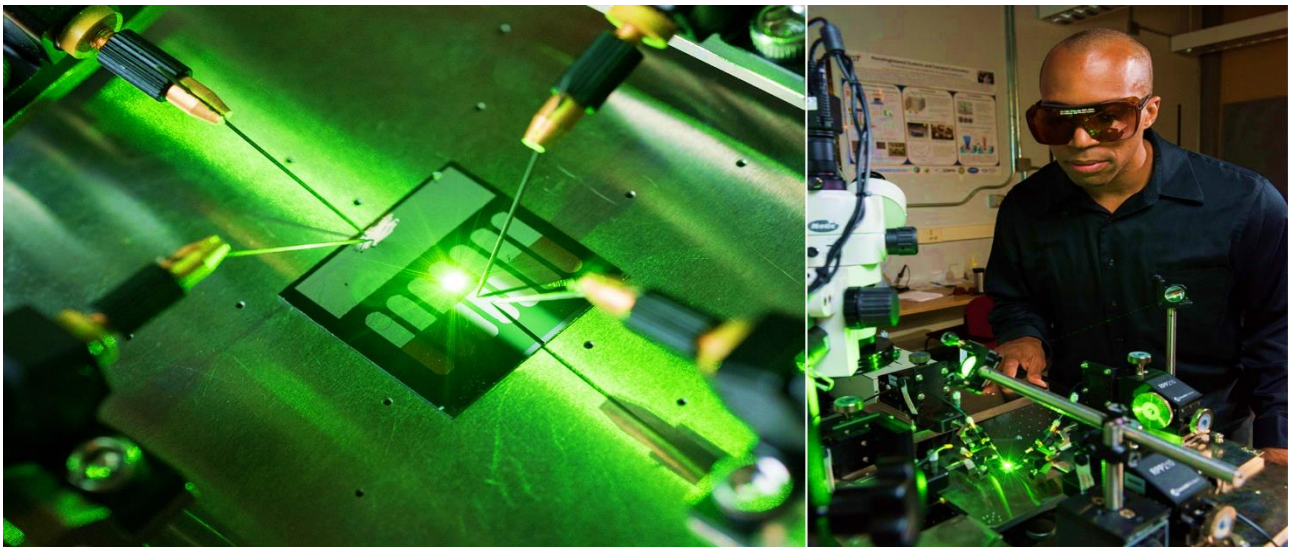
کلید این تکنولوژی آنتن‌های کوچکی هستند که با طول‌موج نور منطبق می‌شوند (حدود یک میکرون) و یک دیود فوق سریع است. کولا این فرایند را اینگونه شرح می‌دهد:

- نانو لوله‌های کربنی به صورت عمودی از یک زیرلابه بالا آمده‌اند.
- با استفاده از رسوب لایه اتمی، نانولوله‌ها با اکسید آلومینیوم پوشیده شده و به عنوان عایق عمل می‌کنند.
- لایه‌های بسیار نازکی از فلزات کلسیم و آلومینیوم در بالای صفحه قرار می‌گیرند تا به عنوان یک آند عمل کنند.

وقتی نور به نانولوله‌های کربنی برخورد می‌کند ، یک بار از طریق یکسو کننده حرکت می کند که برای ایجاد جریان مستقیم کوچک روشن و خاموش می شود. ساختار فلز-عایق-فلز دیود به اندازه کافی سریع است تا بتواند با سرعت ۱ کادریلیون در ثانیه باز و بسته شود.

از دیدگاه عملکرد، دستگاه‌ها در حال حاضر کارآیی کمتر از ۱ درصد دارند. با این وجود، چون تئوری با نتایج آزمایشگاه‌ها مطابقت دارد، کولا امیدوار است که بازده طیف گسترده را به ۴۰ درصد افزایش دهد (که این میزان در مقایسه با ۲۰ درصد راندمان سلول های خورشیدی سیلیکون است). از دیگر مزایای مهم: رکتنای نوری در دماهای بالا کار می‌کند و تولید انبوه آن باید ارزان باشد. همچنین می‌توان این فناوری را با فرکانس‌های مختلف تنظیم کرد، بنابراین می‌توان از رکتنا به عنوان یک ردیاب یا در برداشت انرژی استفاده کرد.

هم‌اکنون محققان بر روی کاهش مقاومت تماس و رشد نانولوله بر روی زیرلایه‌های منعطف برای کاربردهایی که نیاز به خم شدن



دانشیار تکنولوژی جورجیا، باراتوند کولا ، توان تولید شده توسط تبدیل نور لیزر سبز به الکتریسیته را با استفاده از یک رکتنای نوری نانولوله کربنی اندازه گیری می‌کند.

دارند، متمرکز شده‌اند. این کار توسط DARPA ، مرکز سیستم-های جنگ فضایی و دریایی و دفتر تحقیقات ارتش پشتیبانی شده است.

منبع:

https://rh.gatech.edu/features/12-emerging-technologies-may-help-power-future

نویسنده:

سیده مهسا سرائی – کارشناسی ارشد مهندسی برق – مخابرات میدان و امواج

ارائه طرح حفاظتی ریزشبکه‌ها در حالت جزیره ای شدن

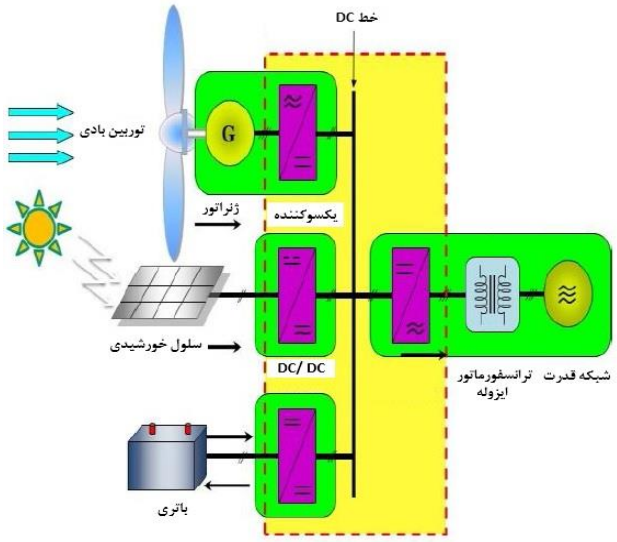
آزاد رحیمی
هیئت علمی، دپارتمان مهندسی برق دانشگاه فنی و حرفه ای کردستان، ایران،Azad2705@Gmail.com

چکیده: از چالشهای جدی شبکه های توزیع هوشمند شامل منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر، مسئله پیاده سازی طرح های حفاظتی مناسب و مطمئن برای کنترل و هماهنگی انعطاف پذیر توسط شبکه های توزیع هوشمند می باشند. لذا جهت کنترل فعال و حفاظت تطبیقی میبایست در ریز شبکه ها به عنوان بخشی از شبکه های توزیع فعال، از تکنولوژی شبکه های هوشمند استفاده نمود در این مقاله یک طرح حفاظتی با استفاده از رله های میکروپروسسوری بوسیله ی شبکه ی توزیع برای حفاظت ریزشبکه‌ها در حالت جزیره ای شدن به هنگام خطای امپدانس بالا پیشنهاد گردیده است. این طرح حفاظتی بر مبنای حفاظت تفاضلی با در نظر گرفتن ایجاد یک کانال ارتباطی با پروتکلهای مخابراتی بر روی یک سیستم توزیع واقعی در نرم افزار مطلب پیاده و شبیه سازی شده است. در طرح پیشنهادی، مشاهده می شود که تمامی تجهیزات حفاظتی قابلیت تشخیص، تنظیم و عملکرد خود را به هنگام خطای مدار باز را به درستی دارا می باشند.

کلید واژه‌ها: *حفاظت حالت جزیره‌ایِ ریزشبکه‌ها، رله میکروپروسسوری، خطای امپدانس بالا*

۱. مقدمه

ریزشبکه‌ها، شبکه هایی با مقیاس کوچک در سطح فشار ضعیف می باشند که عمدتاً بارهای گرمایی و الکتریکی نواحی کوچک نظیر خانه ها، مدارس، دانشگاهها و مناطق تجاری و اقتصادی و ... را تامین می کنند. از نقطه نظر بهره برداری، منابع کوچک تولید انرژی می بایست همراه با واسطه های الکترونیک قدرت (***PELs***) جهت تضمین کیفیت توان به کار گرفته می شوند که قابلیت انعطاف پذیری انها این امکان را فراهم می سازد که به صورت یک واحد کنترل شده مستقل، به شبکه اصلی متصل شوند و نیازهای قابلیت اطمینان و کیفیت توان شبکه را برطرف نمایند[۱]. کنترل و حفاظت یک ریز شبکه از دیدگاه شبکه اصلی به عنوان یک بار کنترل شده مستقل در شبه قدرت، باید مطابق با قوانین موجود در شبکه قدرت بوده و نباید هیچ گونه اختلالی در کیفیت توان و امنیت شبکه ایجاد نماید. اما از دیدگاه مشترکین، ریزشبکه‌ها قابلیت افزایش کیفیت توان، کاهش تلفات در فیدرها و همچنن بهبود پروفیل ولتاژ را فراهم می آورند. ریز شبکه ها می توانند در دو حالت متصل به شبکه و جزیره ای بهره برداری می شوند. به هنگام رخداد خطایی در شبکه اصلی، ریزشبکه‌ها به سرعت در نقطه اتصال مشترک از شبکه اصلی جدا شده و به صورت جزیره ای بهره برداری می شوند[۲].



شکل ۱: ساختار ساده یک ریزشبکه نمونه

از آنجا که الزامات حفاظتی ریزشبکه‌ها و شبکه های توزیع مرسوم در عین سازگاری مشخصه ها و عملکرد اکثر تجهیزات حفاظتی، با وجود منابع تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر، با یکدیگر متفاوت خواهد بود. روشی که در مرجع شماره[۳] پیشنهاد گردیده است، استفاده از هارمونیکهای ولتاژ خروجی اینورتر برای حفاظت ریزشبکه با مبدلهای الکترونیک قدرت است. در مرجع شماره[۴] ، بر مبنای انتقال سیگنال با استفاده از خطوط قدرت و حفاظت دیفرانسیل برای حفاظت فیدرها ارایه شده است. در مرجع شماره[۵] یک فیلتر تبدیل ویولت برای حذف مولفه هایی DC میرا شونده در ریزشبکه با حضور مبدلهای الکترونیک قدرت پیشنهاد گردیده است. در مراجع [۷] و[۸] ، در سیستم حفاظت ریزشبکه، یک واحد مرکزی حفاظت برای تعیین تاخیرهای زمانی وضریبهای عملکردی با وجود ارتباط مخابراتی بین رله ها و واحد حفاظتی ارایه شده است. در مراجع [۹] و[۱۰] به ترتیب از جریان و یک محدودکننده جریان خطا یکسویه برای حفظ هماهنگی حفاظتی در شبکه بالادستی و در [۱۱] اطلاعات گذرای خطا و فیلترهای مورفولوژی برای تشخیص خطا استفاده شده است. در مرجع [۱۲] نیز با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ذرات برای ریز شبکه، با استفاده از اطلاعات ولتاژ، زمان عملکرد رله جریان ظوری تطبیق داده شده است که تا حدودی تفاوت سطح اتصال کوتاه را جبران نماید. در این مقاله، از رله های دیجیتال با کانال مخابراتی بدون تاثیر نویز بر مبنای حفاظت دیفرانسیل استفاده شده است و حفاظ ولتاژی به عنوان حفاظت پشتیبان در نظر گرفته شده است.

۲.الزامات حفاظت در حالت جزیره ای شدن

عملکرد قابل اطمینان سیستم حفاظتی ریز شبکه ها، نیازمند ظرفیت جریان خطای کافی درحالت جزیره ای شدن ریط شبکه می باشد. این در حالیست که بکارگیری رله های اضافه جریان در ریز شبکه مستلزم آنست که دامنه جریان خطا در آن دست کم ۳ تا ۵ برابر جریان بار ماکزیمم باشد. اما ظرفیت جریان خطای توسط واحدهای اینورتری معمولاً کمتر از ۵۰٪ درصد جریان نامی است. این امر به نوبه خود سبب کاهش جریان خطای تغذیه شده توسط منابع تولید پراکنده در مقایسه با زنراتورهای شبکه اصلی می شود. حال اگر تعداد منابع تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر در ریز شبکه بیشتر شود، سطح جریان خطا هنگام تغییر ریز شبکه از حالت متصل به شبکه جزیره ای کاهش قابل توجهی می یابد. که این امر عملکرد و حساسیت رله های اضافه جریان را تحت تاثیر قرار داده و عملکرد آنها را نامناسب میگرداند. بنابر این حفاظت ریز شبکه درحالت جزیره ای نیازمند استفاده از طرحهای حفاظتی جدیدی است که برپایه حفاظت جریان بنا نشده اند. از طرفی دیگر، سرعت عملکرد تجهیزات حفاظتی به منظور عملکرد قابل اطمینان سیستم حفاظتی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. این مهم، احداث یک مسیر ارتباطی سریع بین شبکه اصلی و کلید فیدر اصلی ریز شبکه ر واقع در PCC را الزامی می سازد[۲و۱۳] .

۳. طرح حفاظتی پیشنهادی

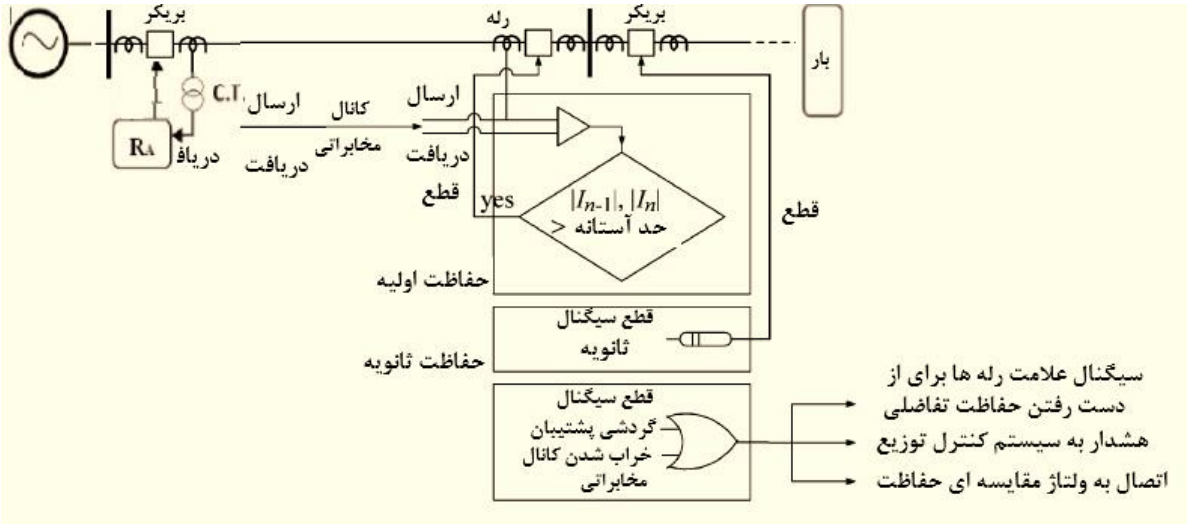
طرح حفاظتی پیشنهادر له های دیجیتالی از متد های استانداردی جهت محافظت از افزایش ولتاژ یا جریان بهره می گیرند. آنها همچنین قابل برنامه ریزی بوده و از طریق فیبر نوری یا شبکه اینترنت بهم متصل هستند. در این پروژه استفاده ار رله های دیجیتالی اندازه گیری فازورهای سنکرون شده و رله های میکروپروسسوری برای کشف تمامی عیوب در[۱] HIF استفاده شده است. این رله ها دارای نوسان نگارهایی هستند که حوادث را ثبت می کند[۱۴]. با استفاده از این رله ها در انتهای هر بخشی از خط یک محاظت بسیار خوبی انجام می گیرد. در طرح حفاظتی اولیه از یک رله ای استفاده شده که جریان را با سمپل ۱۶ یا بیشتر در هر دوره از طریق کانال مخابراتی به رله دیگر در آنسوی خط ارسال می کند. برای مسافت های زیر ۱۸مایل انتقال کمتر از ۰/۱ میلی ثانیه در انتقال سیگنال و چند میکروثانیه نیز برای پردازش طول می کشد.. به عبارت دیگر در این حالت نیازی به سنکرون کردن اندازه گیری ها در دو طرف خط برای خطوط توزیع با طول کم نیست. برای خطوط با طول بیشتر از ۱۸ مایل نیاز است. در این حالت ایجاد رله های تفاضلی بسیار سودمند می باشند [۱۵].

حفاظت اولیه برای هر فیدر بستگی به حفاظت تفاضلی همزمان دارد. اگر مقدار هر دو سمبل بالاتر از سطح آستانه باشد سطح

[۱] High Impedance Faults

لغزش به سوییچ ها فر ستاده می شود. پیش بینی می شود که این سوییچ ها برای وسایل اخیر در تکنولوژی سوییچینگ (مانند وقفه های خلا) و نرخ سمپلینگ بالاتر مفید باشند. آنها همچنین برای ایجاد وقفه جریان-طی ۳ الی ۵ سیکل سریع تر عمل می کنند.

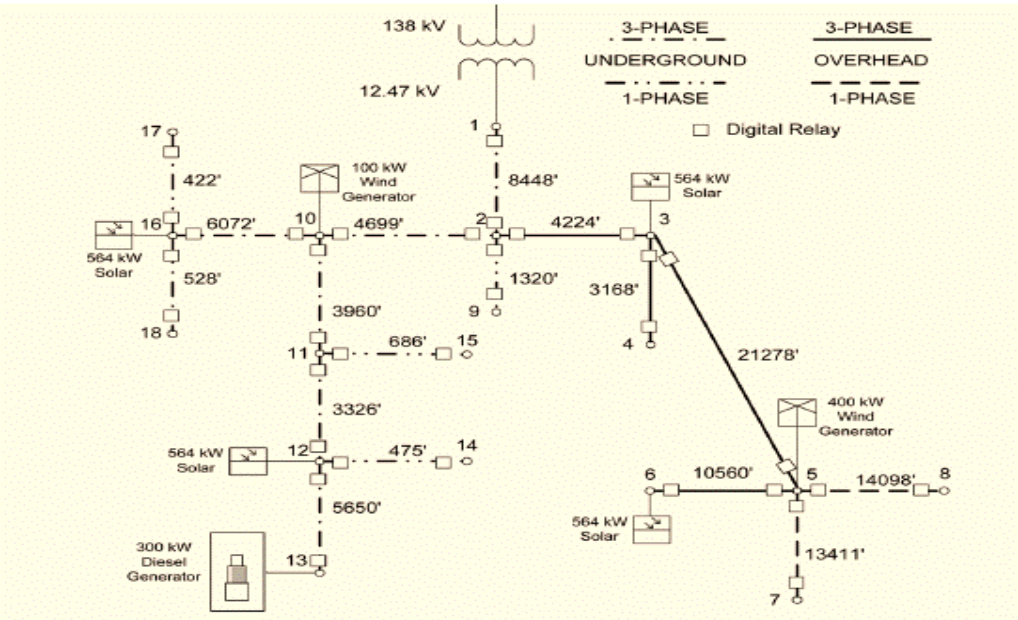
در هنگام بروز خرابی در وسیله سوییچینگ، یک سیگنال گردشی پشتیبان به رله های مجاور در همان باس فرستاده می شود. این سیگنال پس از یک تاخیر زمانی معین فرستاده می شود که بیشتر از ۰/۳ و کمتر از ۰/۶ ثانیه است بشرطی که جریان تفاضلی اندازه گیری شده اکنون بالاتر از سطح آستانه باشد. هر چند که این زمان از لحاظ عملی مناسب است ولی با بکارگیری رله های با امپدانس بالا و مدارشکن ها تاخیر ممکن است کوتاه تر شود. اگر رله یا لینک مخابراتی خراب شود این هشدار به دیگر رله های متصل شده به طرح تفاضلی فرستاده می شود. همچنین یک هشدار به مرکز کنترل ارسال می شود. رله های دیگر متکی بر ولتاژ محافظتی کامپیوتر هستند تا زمانی که سیستم احیا شود. ولتاژ محافظتی مقایسه شونده که ولتاژ موثر می باشد نسبت به ولتاژ در هر رله دیگر از رله های متصل شده مقایسه می شود. برای ولتاژهای کمتر از ۰/۷ پریونیت رله با کمترین ولتاژ بعد از ۰/۶ ثانیه و کمتر از ۰/۹ ثانیه به گردش در می آید. هر منبع در تولید پراکنده با وسایل ولتاژی گردشی برای کمتر از ۰/۷ پریونیت و کمتر از یک ثانیه تاخیر مجهز شده است . الگوی این طرح حفاظتی در شکل ۲ ترسیم شده است[۱۵].



شکل ۲: طرح حفاظتی پیشنهادی

۳،۱. سیستم شبکه ی جزیره‌ای

یک سیستم نمونه در شکل ۴ نمایش داده شده است..



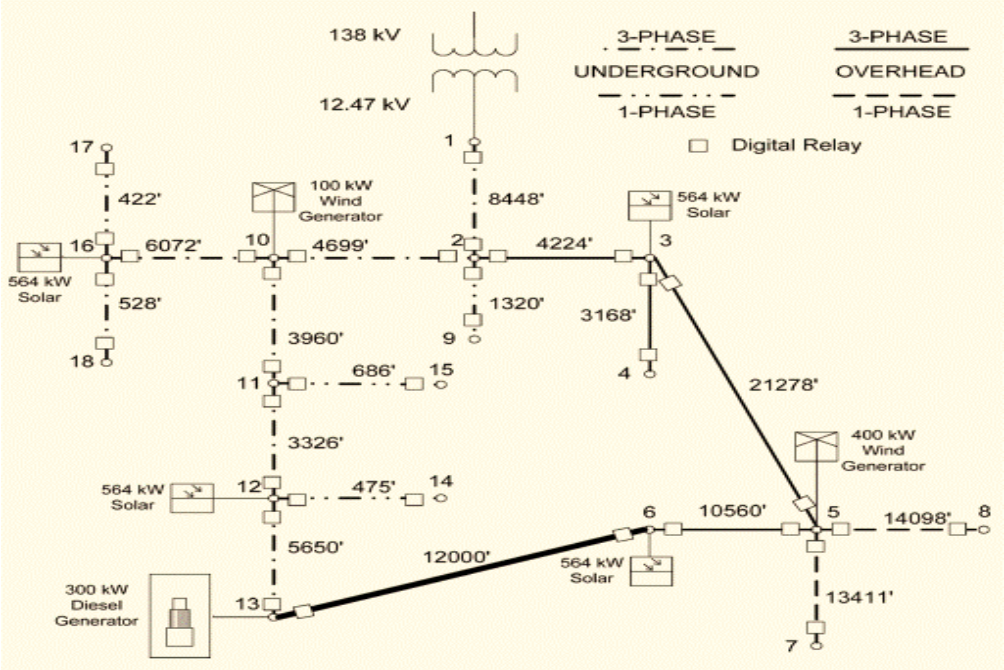
شکل ۳: دیاگرام میکروگرید آنلاین با منابع DG اضافه شده

یک سیستم توزیع ۱۸ باسی است که با اضافه کردن چند منبع توزیع پراکنده(DG) به یک ریزشبکه تبدیل شده است. مدل های منابع تغذیه از کتابخانه ی استاندارد بلوک ها و مثال های متلب برداشته شده اند. سیستم بار نامتعادل MVA ۳/۰۳ را حمل می کند و به یک ترانسفورمر MVA ۱۰ متصل استباس بار ها در جدول ۱ نشان داده شده اند. در این سیستم، ۴ پنل خورشیدی که که با اینورتر بسته شده اند،۲ توربین بادی، و یک ژنراتور دیزل به باس های مختلف وصل اند. پنل های خور شیدی به مبدل های ۳ فاز و صل شده اند و۲۲۵۶ کیلو وات انرژی فراهم می کنند. توربین های بادی ژنراتور های القایی هستند و ۵۰۰ کیلووات را فراهم می کنند. در حالت جزیره ای شدن،۳۰۰ کیلو وات توان اضافی توسط ژنوراتور های دیزل فراهم می شود. این انتخاب برای مدل کردن یک سیستم واقعی است که در ان مشترک های مالک ژنراتور های توزیع به حالت ریز شبکه در آمده اند[۱۶ و ۱۷]. در این شبکه ی زنجیره ای که مطابق شکل ۳ بصورت شعاعی متصل شده اند، قابلیت اطمینان به سادگی با هر خطایی بدست می آید. برای مثال، یک خطا بر روی خط مابین باس ۵ و ۶ یک پنل بزرگ خورشیدی را از سرویس خارج می کند. این باعث می شود تقریبا ۳۵۰ کیلووات کمبود در ریز شبکه داشته باشیم که بصورت جزیره ای در آمده است. حالات مشابه به این حالت را وقتی خواهیم داشت که هر یک از خط ها حین عملکرد در فاز جزیره ای حذف شوند[۱۸].

جدول ۱: بارهای باس ریزشبکه

باس	فاز A		فاز B		فاز C	
	P (kW)	Q (kvar)	P (kW)	Q (kvar)	P (kW)	Q (kvar)
۳	۱۱۵	۷۵	۱۲۰	۶۷	۹۲	۹۷
۴	۹۵	۳۰	۳۲	۸۵	۳۳	۳۵
۶	۴۵	۱۵	۷۸	۲۲	۶۴	۲۰
۷	۱۰۰	۶۷				
۸			۸۷	۳۳		
۹						۱۷۸
۱۳	۷۵	۳۵	۷۵		۱۷۵	۳۵
۱۴	۱۱۰	۵۲				
۱۵						
۱۶	۸۹	۶۳	۸۸	۶۲	۸۹	۶۳
۱۷			۳۱۵	۱۲۶		
۱۸	۲۱۱	۱۰۰				

برای کم کردن این مشکل یک خط اضافی قرار داده شده است تا یک ساختار حلقه مانند ایجاد شود. این خط باید در جایی اضافه شود که تا حد ممکن به بسیاری از منابع توزیع تولید که به شعاع مرکزی حلقه متصل اند، وصل شود تا بیشترین قابلیت اطمینان را بتوان داشت. برای تست سیستم تحت مطالعه، بین باس ۶ و ۱۳ قرار گرفته است. سیستم جدید در شکل ۴ نمایش داده شده است. یک ریزشبکه با ساختار حلقه ای در مقابل (N-2) خطا یا آلودگی محافظت شده است. یک ساختار حلقه ای اضافی هم می تواند قابلیت اطمینان سیستم را در حالت عملکرد پایدار، که در این مقاله بر روی آن تمرکز نشده است، کمک کند [۱۹ و۲۰].



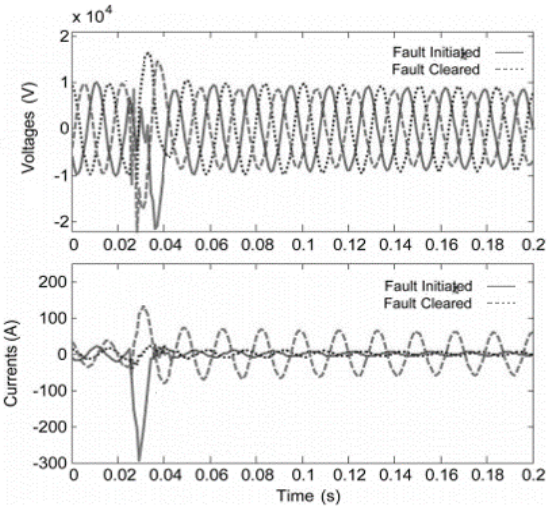
شکل ۴: دیاگرام تک خطی ریزشبکه با یک خطی اضافه شده مابین باس ۶ و ۱۳ با ساختار یک حلقه

۴. شبیه سازی و نتایج

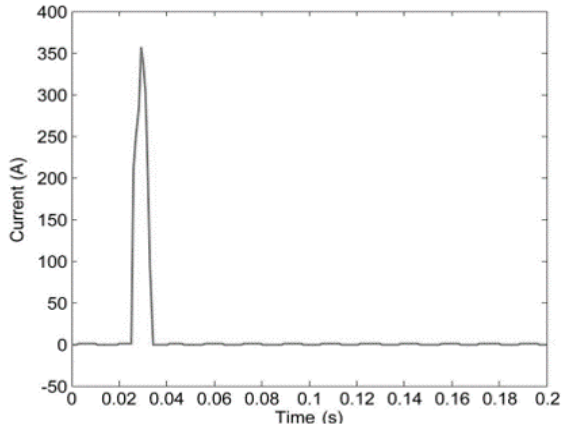
تست سیستم در شبیه ساز متلب انجام شده است. سیستم با استفاده از سیمولینک ode3 و پله های زمانی ثابت ۱ میکروثانیه شبیه سازی شده است. بررسی کامل ایجاد خطا برای همه ی مکان های سیستم و برای همه ی ۴ مدل خطا انجام شده است. خطای مدار باز تک خط به زمین نیز شبیه سازی شده است. همچنین، موارد کلیدزنی ابزار و خطاهای رله شبیه سازی شده اند تا از بازدهی سیستم حفاظت پشتیبانی شود. مورد خاص خطای تک خط به زمین(L-G) بین باس های ۳و۵ دقیقاً برای هر ۴ موردی که قبلا بحث شده است توضیح داده شده است. اندازه گیری ولتاژ و جریان روی باس ۱۰ قرار دارد تا راندمان و کارایی طرح پیشنهدی در آن نشان داده شود. شکل ۴ شبکه ساختار حلقه ای شکل گرفته را نشان می دهد. حالت اولیه خطای کلید زنی تجهیزات در همان مکان در شکل ۸ نشان داده شده است. خطا برای ۰/۳ ثانیه اضافی قبل از برطرف شدن ادامه میابد. همچنین چون عملکرد دومین یا پشتیبان بارهای اضافی را گیر می اندازد و ژنراتور خاموش است، تنها جریان جاری روی خط ۲-۱۰ به بار فاز C در باس ۹ تغذیه می شود.

۴,۱. حالت شعاعی و جزیره ای شده :

در این مورد، طرح اولیه حفاظت هیچ مشکل ایزولاسونی برای همه ی خطاها ندارد. رله ها قادرند همه ی خطاهای نقص ساخت را بعد از ۲ نمونه تشخیص و در سیکل گیر بیاندازند. جریان و ولتاژ در باس ۱۰ برای عملکرد معمولی رله ها برای یک خطای L – G در فاز A در شکل ۵ روی خط ۲-۱۰ اندازه گیری می شوند. جریان خطای تفاضلی که در رله ی باس ۳ اندازه گیری شده بر رله خط ۳-۲ در شکل ۶ نمایش داده شده است. از شکل ۵ دیده می شود که بعد از بر طرف شدن خطا، اغت ولتاژ را در اثر تولید پایین بر روی شبکه ی جزیره ای باقیمانده داریم. این نوع از شکل موج معمولا برای سیستم های شعاعی است. در تمام مکان های خطا، نتایجی بر اساس افزایش تولید روی زیر شبکه ها و کاهش تولید بر روی سایرین بدست می آید. این سناریو لزوم داشتن ساختار حلقه ای را برای ایجاد تعادل تولید تحت کمبود وضعیت خط توضیح می دهد.

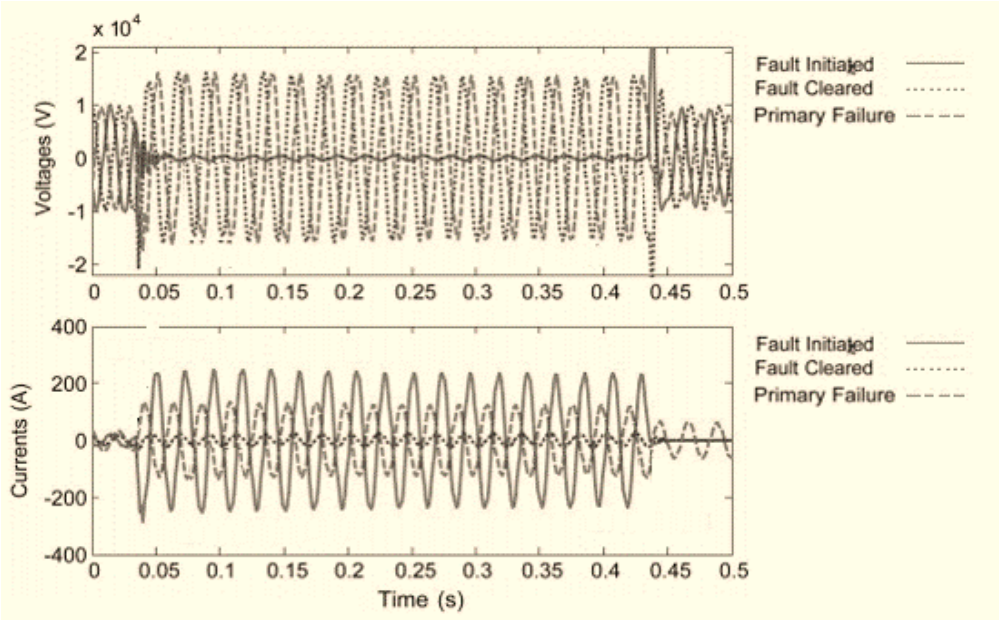


شکل ۵: ولتاژ و جریان خط ۲- ۱۰ روی خطای G – L روی خط ۳-۵ با عملکرد رله اولیه

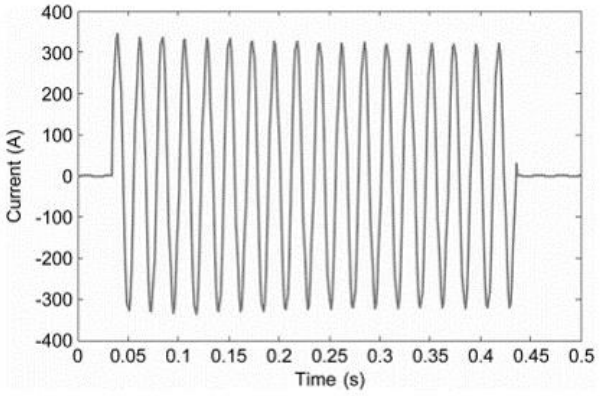


شکل ۶: جریان تفاضلی روی باس ۳ در خط ۳-۵ در ریزشبکه جزیره ای با ساختار شعاعی

حالت اولیه خطای کلید زنی تجهیزات در همان مکان در شکل ۷ نشان داده شده است. خطا برای ۰/۳ ثانیه اضافی قبل از برطرف شدن ادامه میابد. همچنین چون عملکرد دومین یا پشتیبان بارهایاضافی را گیر می اندازد و ژنراتور خاموش است، تنها جریان جاری روی خط ۲-۱۰ به بار فاز C در باس ۹ تغذیه می شود. شکل موج ولتاژ مشابه در تمام مکان های دیگر در این مورد با جریان های متفاوتی که به مکانشان وابسته است دیده می شود. در حالت خطای رله، حفاظت سوم، در شکل ۸ نمایش داده شده است. جریان خطا در این مورد برای ۰/۶ ثانیه قبل از برطرف شدن ادامه دارد. ولتاژ و جریان ایجاد شده مثل حالت خطای ابزار کلید زنی می باشد که در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۷: ولتاژ و جریان خط ۲- ۱۰ روی خطای G – L روی خط ۳-۵ در حالت خرابی اتصال اولیه و موفقیت قطعی توسط پشتیبان



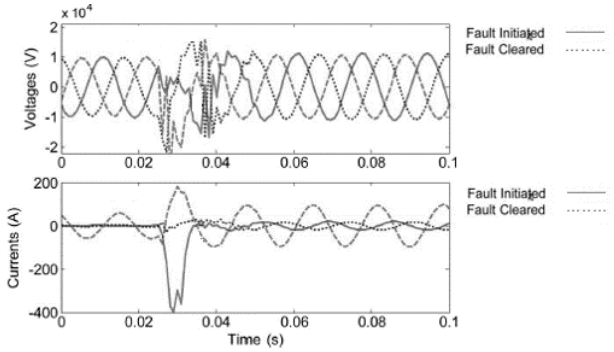
شکل ۸: جریان تفاضلی روی باس ۳ در خط ۳-۵ در حالت خرابی اتصال اولیه و موفقیت قطعی توسط پشتیبان

۴,۲. حالت شعاعی و شبکه ی متصل شده:

تفاوت اصلی بین عملکرد شبکه متصل شده و حالت جزیره ای این است که ناحیه ی ریزشبکه که همچنان به شبکه اصلی وصل است مطابقت بار تولیدی کاملی دارد چرا که توان اضافی می توان به سیستم تزریق و یا از آن گرفته شود. در این حال، آن بخش جدا شده از شبکه در این مورد همیشه تولید بیش از حد و یا خیلی کمتری تولید می کند تا اینکه بتواند از دست دادن بار را جبران کند.

۴,۳. ساختار حلقه ای و جزیره ای:

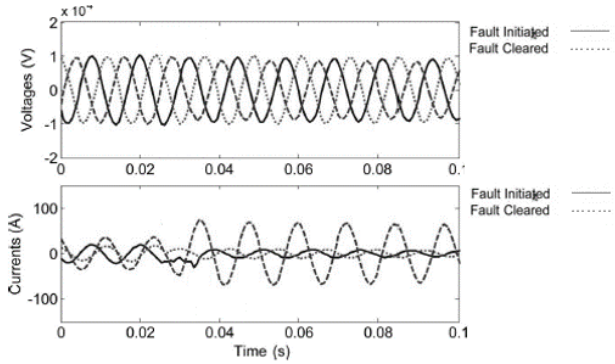
ساختار حلقه ای اطمینان بیشتری را خصوصا در بارهای حلقه اصلی دارد. برای خرابی ها در هر خط حلقه، همه بارها در سرویس باقی مانده و بالانس بارتولید باقی می ماند که به اندازه حفاظت اولیه عمل کند. زمان گذارا بزرگ تر است به دلیل fv'aj معکوس توان در طول خطوط هنگامی که سوییچ های همزمان باز هستند. ولتاژ و جریان ها برای خرابی L-G در حالت عملکرد عادی در شکل ۹ نشان داده شده است.



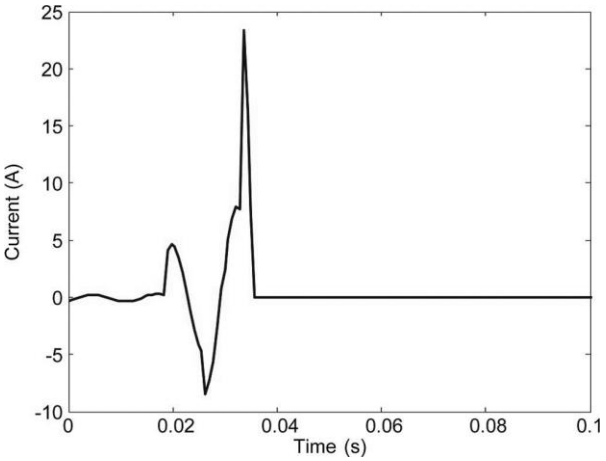
شکل ۹: نمایش ولتاژها و جریان ها برای خرابی L-G در حالت عملکرد عادی

۵. خطای امپدانس بالا

برای خرابی های امپدانس بالا، رله ها قادرند مادامی که جریان خرابی کلی بیشتر از ۱۰ درصد میزان نوعی شود تفاوت را حس کنند. این جریان نوعی در بعضی موارد فقط ۲۰ آمپر است. این تفاوت ها حتی زمانی که ترانسفورماتورهای جریان در نزدیک سطح نامی خود کار کرده و بنابراین در ناحیه خطی بوده یعنی جایی که خطاها کوچک هستند قابل کشف هستند. شکل موج های ولتاژ و جریان برای خرابی خط امپدانس بالا به زمین در فاز A در شکل ۱۰ آورده شده است. همچنین جریان تفاضلی در رله در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰: شکل موج ولتاژ و جریان در خطای امپدانس بالا



شکل ۱۱: جریان تفاضلی رله در باس ۳ بر خط ۳-۵ برای خطای امپدانس بالا با عملکرد نرمال جریان آستانه

۶. نتیجه گیری

در این مقاله یک طرح حفاظتی با استفاده از رله های دیجیتالی بوسیله ی شبکه ی توزیع برای حفاظت ریزشبکه‌ها در حالت جزیره ای شدن به هنگام خطای امپدانس بالا پیشنهاد گردیده است. این طرح حفاظتی بر مبنای حفاظت تفاضلی با در نظر گرفتن ایجاد یک کانال ارتباطی با پروتکلهای مخابراتی بر روی یک سیستم توزیع واقعی در نرم افزار مطلب پیاده و شبیه سازی شده است. در طرح پیشنهادی، مشاهده می شود که تمامی تجهیزات حفاظتی قابلیت تشخیص، تنظیم و عملکرد خود را به هنگام خطای مدار باز را به درستی دارا می باشند. در حالت شعاعی جزیره ایی بعد از بر طرف شدن خطا، افتادن ولتاژ را بر روی شبکه ی جزیره ای باقیمانده داریم. که در این سناریوی پیشنهادی لزوم داشتن ساختار حلقه ای را برای ایجاد تعادل تولید تحت کمبود وضعیت خط توضیح می دهد. در ساختار حلقه ای برای خرابی ها در هر خط حلقه، همه بارها در سرویس باقی مانده و بالانس بارتولید باقی می ماند که به اندازه حفاظت اولیه عمل کند. آن بخش جدا شده از شبکه در این مورد همیشه تولید بیش از حد و یا خیلی کمتری تولید می کند تا که بتواند از دست دادن بار را جبران کند. برای خطاهای امپدانس بالا، رله ها قادرند تفاوت را احساس کنند. این تفاوت ها حتی زمانی که ترانسفورماتورهای جریان در نزدیک سطح نامی خود کار کرده و بنابراین در ناحیه خطی بوده یعنی جایی که خطاها کوچک هستند قابل کشف هستند.

۷. مراجع

[1] Karthik.P., Belwin J. Brearley, 2014, Microgrid Protection Using Communication-Assisted Digital Relays. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. , Vol.: 2278 – 8876, Issue: 4,.

[۲] اس. چاودوری، اس.پی. چاودوری، پی کراســـلی، ترجمه: مجید گندمکار، محمد ر ضا میوه، سهراب میر سعیدی،۱۳۹۱، ریزشبکه‌ها و شبکه های توزیع فعال، انتشارات تهران، قدیس

[3] H.Al-Nasseri,.; M.A.Redfern., 2008, Harmonics content based protection scheme for Micro-grids dominated by solid state converters, 12th Power System Conference, MEPCON 2008, Pages: 50 – 56.

[4] A.Prasai.Yi Du, A.Paquette. E.Buck, R.G.Harley.D.Divan., 2010, Protection of meshed microgrids with communication overlay, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)., Pages 64 –71.

[5] Han Yi, Hu Xuehao, Zhang Dongxia, 2011,Study on applying wavelet transform to the protection algorithm of microgrid dominated by inverter–interfaced DGs ,International Conference on Power System Technology (POWERCON, Pages 1 – 6.

[6] T.S.Ustun, C.Ozansoy, A.Zayegh., 2012 ,Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420, IEEE Transactions on Power Systems, Vol: 27 , Issue: 3, Page(s): 1560 – 1567.

[7] T.S.Ustun, C.Ozansoy, A.Zayegh., 2013 ,Fault current coefficient and time delay assignment for microgrid protection system with central protection unit, I EEE Transactions onPower Systems, Vol: 28, Issue: 2, Pages:598 – 606.

[8]- Taha Selim Ustun, Cagil Ozansoy, Aladin Ustun., 2013, Fault Current Coefficient and Time Delay Assignment for Microgrid Protection System With Central Protection Unit, IEEE Transactions on Power Systems 28(2):598-606.

[9] C.Buque, O.Ipinnimo., S.Chowdhury, S.P.Chowdhury., 2012, Modeling and simulation of an Adaptive Relaying Scheme for a Microgrid , Power and Energy Society General Meeting, IEEE , Pages: 1 – 8.

[10]- T.Ghanbari, E.Farjah , 2013 ,Unidirectional Fault Current Limiter: An Efficient Interface Between the Microgrid and Main Network, IEEE

Transactions on Power Systems, Vol.28,Issue:2, Pages: 1591 –1598.

[11] X.Li., A.Dysko, G.Burt, 2012, Enhanced protection for inverter dominated microgrid using transient fault information, 11th International Conference on Developments in Power Systems Protection, DPSP, Pages: 1 – 5.

[۱۲] توحید سلیمانی اقدم، حسین کاظمی کارگر، ۱۳۹۲، رله جدید جریان زیاد با مشخصه جریان و ولتاژ برای حفاظت ریز شبکه ، دومین کنفرانس منطقه ای سیرد، تهران.

[13] E. Sortomme, G. J. Mapes, B. A. Foster, and S. S. Venkata, 2008 ,Fault analysis and protection of a microgrid, in Proc. North Amer. Power Symp., Sep., pp. 1–6.

[14] Vahidi, B. and Esmaeeli, E.,2010, MATLAB-SIMULINK-Based Simulation For Digital Differential Relay Protection of Power Transformer for Educational Purpose. In: J ComputApplEngEduc.

[15] E. Sortomme,.; S.S.Venkata,.; J.Mitra, 2010, Microgrid Protection Using Communication-Assisted Digital Relays “,Transactions on Power Delivery, IEEE , Vol: 25, Pages: 2789 – 2796, Issue: 4,.

[16] Sidhu, T.S.; Sachdev, M.S.; Wood, 1991,H.C. Design of a microprocessor-based overcurrent relay. In: IEEE Western Canada Conference. p. 41 – 46.

[17] H. Nikkhajoei and R. H. Lasseter, 2007 ,Microgrid protection, in Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting. , pp. 1–6.

[18] M. A. Redfern and H. Al-Nasseri, 2008 ,Protection of micro-grids dominated by distributed generation using solid state converters, in Proc. IET9thInt.Conf.Develop.PowerSyst.Protection, ,pp.670–674.

[19] H. H. Zeineldin, E. F. El-Saadany, and M. M. A. Salama, 2006 ,Distributed generation micro-grid operation: Control and protection,” in Proceeding soft the Power Systems Conference :Advanced Metering, Protection, Control, Communication, and Distributed Resources, ,Mar.2006, pp. 105–111.

[20] N. I. Elkalashy, M. Lehtonen, H. A. Darwish, M. A. Izzularab, and A. I. Taalab, “Modeling and experimental verification of high impedance arcing fault inmedium voltage networks,”IEEE Trans.Dielectr.Electr. Insulat., vol. 14, no. 2, pp. 375–383, Apr. 2007.

آرایه سنسور فیبر کریستال فوتونیکی

مهران کریمیان ریزی[۱]، مریم فریور[۲]، سیدپرویز موسوی[۳]

۱ دانشجو کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز،ایران، mehrankarimian97@ms.tabrizu.ac.ir
[۲] مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، شاهین شهر، ایران، farivar.maryam@yahoo.com
[۳] مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، همدان، ایران، ip.adrapana2@gmail.com

چکیده: یک روش جایگزین برای ساختن نقطه و آرایه سنسور بر اساس فیبرهای کریستال فوتونیکی (***PCFs***) ارائه می شود. یک طول کوتاه (در محدوده ***mm*** ۱۲-۹) از ***PCF*** با انتخاب درست ضریب شکست، بین فیبرهای تک مد متداول به صورت پخشی بهم متصل می شود. با برانگیختگی و هم پوشانی گزینشی مدهای خاص در ***PCF***، ما طیف های گذار سنسورها را می سازیم تا یک شکاف منفرد و نازک را نمایش دهیم. مکان شکاف با آشفتگی خارجی تغییر می کند که امکان آشکارسازی پارامترهای مختلف را به دست می دهد. شکاف منفرد خوش تعریف، نسبت اطفاء (***extinction***) که بیش از ***dB*** ۳۰ است و نیز اتلاف جایگذاری کلی امکان قرار دادن سنسورها به صورت سری را فراهم می کنند. این پیاده سازی شبکه های سنسوری را ممکن می سازد

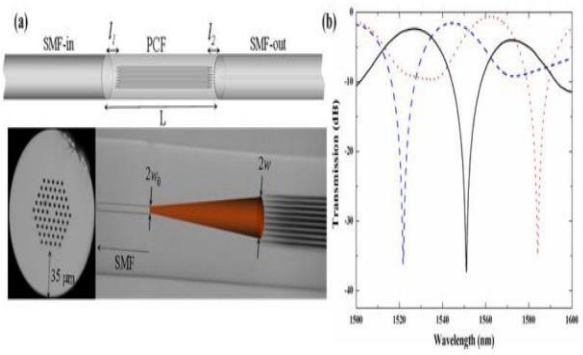
کلید واژه‌ها: *فیبرهای کریستال فوتونیکی، فیبرهای میکروساختار، سنسورهای فیبر نوری، حشگر و سنسورهای اپتیکی، تسهیم*

۱.مقدمه

سنسورهای فیبر نوری یک یا تنها راه حل مطمئن مخابره در موارد خاص هستند (مثلا در محیط هایی با مخاطره الکتریکی یا انفجار احتمالی). به علاوه سنسورهای فیبر نوری یک انتخاب مرجح در مواقعی هستند که چندبرابر کردن ظرفیت، حساسیت بالا و کاهش اندازه لازم هستند. مثلا قابلیت تسهیم سنسورهای فیبری امکان نظارت رفتار فردی چند سنسور واقع در شبکه ای با یک تک واحد تحقیق فراهم می سازد. این طراحی یک شبکه سنسوری را ساده کرده و هزینه آن را به حداقل می رساند.

سنسورهای مبتنی بر فیبرهای نوری سنتی بخوبی بررسی شده اند در حالی که سنسورهای مبتنی بر فیبرهای کریستال فوتونیکی (PCFs) توجه بسیار زیادی را به خود جلب کرده اند. PCFs فیبرهایی با ویژگی های نوری منحصربفرد هستند که میکروساختاری پریودیک در تمام طول فیبر دارند. مشخصات مدی و هدایتی آنها PCFs را برای حسگرهای نوری جذاب ساخته است. تا اینجا تعدادی از سنسورهای PCF ارائه شده اند ولی ما معتقدیم که سنسورهای مبتنی بر توری های براگ، توری های با پریود طولانی و تداخل سنج ها به دلیل قدرتشان نوید بخش ترین سنسورهای برای کاربردهای عملی هستند. اغلب این سنسورها طول های چند سانتی متری دارند و عملکرد قابل توجهی نظیر پایداری زیاد در طول زمان، کار در محدوده طول موجی وسیع یا در دماهای زیاد از خود نشان می دهند. با این همه آنها معمولا به صورت سنسورهای نقطه ای یا تکی عمل می کنند. تسهیم (مخابره همزمان) سنسورهای PCF بر اساس توری ها یا تداخل سنج های پیشنهادی به دلیل سیگنال خروجی خود سنسورها، اتلاف دستگاه های PCFs غیرفعال و اتلاف اتصال سنسورهای PCF ، تا حالا به سادگی آنچه گروه های دیگر ثابت کرده اند نبوده است (۱۰ dB یا بیشتر). تسهیم سنسورهای PCF یک مرحله ضروری برای گسترده ساختن قابلیت های آنهاست. به این صروت سنسورهای PCF می توانند با همتاهای خود بر اساس فیبرهای نوری استاندارد رقابت کنند.

در این کار ما روشی را ارائه می کنیم تا سنسورهای نقطه ای PCF را بسازیم که می توانند به آسانی تسهیم شوند و آرایه ای از سنسورها یا شبکه ها را تشکیل دهند. سنسورها ساده و متشکل از یک تکه همجوشی PCF مبتنی بر ضریب شکست به درستی انتخاب شده است که بین فیبرهای تک مدی متداول (SMF) پیوند زده شده است. دستگاه های ما در دسته ی دستگاه های تک مد – چند مد – تک مدی (SMS) قرار می گیرند که متغیرهای بسیاری از آنها در مقالات ارائه شده اند. در مورد ما، خلاهای PCF روی طول مناسبی در سطح مشترک PCF-SMF مهر شده اند. این یک جابجاسازی طولی را بوجود می آورد که برانگیختگی موثر و همپوشانی مدهای خاصی را در PCF امکان پذیر می سازد. درنتیجه طیف انتقال دستگاه ها یک شکاف باریک و منفرد را در یک طول موج رزونانس نشان می دهند. تغییرات اندکی در ضریب شکست مدی یا در طول فیبر (مثلا ناشی از دما یا کشش) منجر به یک جابجایی قابل شناسایی در موقعیت شکاف خواهد شد. وقتی n سنسور در کاسکاد (اتصال آبشاری) قرار داده می شوند، انتقال سری ها، n افت (شیب) را نشان می دهد. افت ها از یکدیگر مستقل هستند درنتیجه جابجایی (شیفت) در یکی از آنها بقیه را مختل نخواهد ساخت. این امکان پیاده سازی آرایه های سنسوری ساده ی مبتنی بر PCF ولی عملی رافراهم می سازد. دمدولاسیون (demodulation) آرایه ، ساده است چون موقعیت هر شکاف را می توان با تجهیزات تجاری موجود نظیر جستجوگرها یا طیف سنج های نوری مینیاتور کنترل کرد.



شکل۱: نمایش دستگاه در طول سطح مقطع فیبر مورد استفاده در آزمایشات

ما معتقدیم که به دلیل حساسیت، تسهیم ساده، فشردگی و هزینه کم شان، سنسورهای PCF پیشنهادی در اینجا می توانند با دیگر سنسورهای PCF میتنی بر توری با تداخل سنج ها و نیز با ساختارهای SMF ساخته شده با فیبرهای سنتی رقابت کنند.

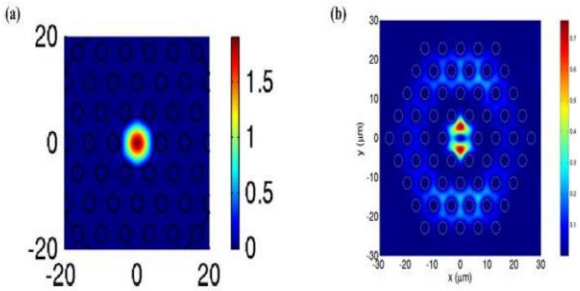
۲. ویژگی های حسگر و اصول کار دستگاه

نمایش دستگاه در طول سطح مقطع فیبر مورد استفاده در آزمایشات در شکل ۱ نشان داده شده است. فیبر یک PCF تجاری موجود است که تقارن شش تایی دارد و بعنوان PCF ناحیه- مد – بزرگ (LMA-10, NKT Photonics) معروف است. قطر هسته فیبر برابر ۱۰ μm و فضای خالی آن قطری برابر ۳,۱ μm دارد (با دوره ۶,۶ μm و قطر خارجی ۱۲۵ μm). برای ساخت دستگاه ها، PCF و فیبر استاندارد (SMF-28) را می توان با هر ماشین همجوشی تجاری به هم متصل نمود. بطور کلی، ماشین های همجوشی دو فیبر را با انجام یک پرفیوژن که در آن فیبرها با گرمادهی کم پاکسازی می شوند، بهم متصل نمود. بعد از پرفیوژن، یک فرآیند فیوژن اصلی صورت می گیرد که در آن برای چند ثانیه دو سر فیبر در معرض یک تخلیه شدید (دمای زیاد) قرار می گیرند. در طی پروسه فیوژن (هم جوشی) اصلی، فیبر فشرده و کشیده می شود تا یک اتصال نیرومند و دائمی را شکل دهد. به دلیل ساختار حفره ای، نقطه نرم شدن PCF ها کلا کمتر از SMF هاست. از این رو اگر یک SMF و یک PCF یا یک برنامه پیش فرض برای پیوند فیبرهای تک مدی بهم متصل شوند، حفره های هوای PCF کلا در طول خاصی از بین می روند. در اغلب ماشین های اتصال، شدت و مدت تخلیه قوسی مربوط به پروسه فیوژن اصلی را می توان تنظیم نمود. درنتیجه می توان طول ناحیه از بین رفته (collapsed) در PCF را کنترل کرد. ما مجموعه ای از نمونه ها را با ماشین اتصال فیوژنی تجاری ساختیم (Ericsson FSU 955). برای کنترل طول ناحیه از بین رفته ما از تکنیک

گزارش شده در مرجع ۲۵ پیروی کردیم. ما دریافتیم که وقتی نواحی از بین رفته طول های متفاوت داشتند (مثلا 10± 200~ µm در سطح مشترک داخل PCF-SMF و 10 ± 110~ µm در سطح مشترک خارج PCF-SMF)، طیف انتقال (گذار) دستگاه یک شکاف منفرد و عمیق را نشان می دهد (شکل ۱). می توان از شکل مشاهده کرد که شکاف ها بسیار باریک هستند و اتلاف اتصالی حول طول موج رزونانس ، کوچک است. توجه کنید که مکان شکاف را می توان با طول PCF کنترل کرد. بعدا ما خواهیم دید که این ویژگی ها تسهیم دستگاه ها را ساده می سازد.

به منظور توضیح رفتار دستگاه ها تحول انتشار پرتو را در حین عبور از داخل SMF (داخل PCF به خارج SMF) در نظر بگیرید. وقتی مد اصلی درون SMF وارد ناحیه از بین رفته ی PCF می شود، بلافاصله ضروع به پراش می کند و درنتیجه مد پخش می شود. اگر w_0 اندازه لکه در سطح مشترک SMF-in-PCF در طول موج λ باشد (شکل ۱)، درنتیجه بعد از انتشار در طول ۱۱ ناحیه از بین رفته، اندازه لکه برابر زیر خواهد بود:

$$w = w_0\sqrt{1 + (\mu l_1/\pi n_f w_0^2)^2}$$



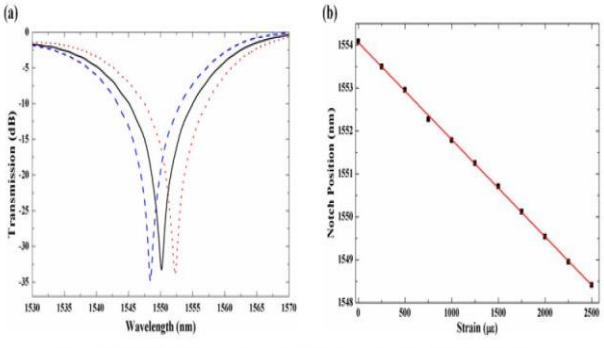
شکل ۲: ما مولفه طولی محاسبه شده ی بردار پیونتینگ در میانگین زمانی

که در آن nf ضریب شکست ناحیه از بین رفته (فیبر سیلیکایی جامد) است. فرض کنید مقادیر واقعی بصورت زیر باشند:

λ = 1550 nm, l1 = ~200 µm, nf = 1.444 (silica), و w0 = 5 µm. تحت این شرایط، PCF با یک پرتو گاوسی برانگیخته خواهد شد که اندازه آن برابر 2w = ~30 µm است یعنی با لکه نوری بزرگتر از اندازه هسته PCF. عدم انطباق میدان مدی با مشخصات مدی PCF امکان برانگیختگی مدهای خاصی در PCF را فراهم می آورد. بعلت تقارن محوری و جابجایی طولی خاص از ناحیه از بین رفته، مدهای برانگیخته مدهایی هستند که تقارن سمتی مشابهی دارند، یعنی مد هسته HE11 و احتمالا مد روکش شبه HE22 (رزونانس مد روکش شبه HE22). برای تقویت این مکانیسم، در شکل ۲ ما مولفه طولی محاسبه شده ی بردار پیونتینگ در میانگین زمانی را برای مد اصلی هسته و مد شبه HE22 روکش نشان می دهیم که هر دو برای یک طول موج λ = 1550nm هستند. شبیه سازی ها با استفاده از نرم افزار تجاری (Comsol Multiphysics) انجام شدند. از شکل ۲ می توان ملاحظه نمود که میدان مد شبه HE22 به کل ناحیه مد هسته نفوذ می کند؛ بنابراین قویا با مد اصلی هسته هم پوشانی می کند.

مدهای برانگیخته وقتی پهن می شوند که به دلیل پراش وارد ناحیه از بین رفته در قسمت بیرونی PCF-SMF شوند. نوع مدهای برانگیخته در PCF همراه با پهن شدگی مناسب مدها (یعنی طول مناسب ناحیه از بین رفته در PCF)، یک شکاف تک شیب در گذار دستگاه ایجاد می کند. بطور تجربی مشاهده شد که وقتی طول ناحیه از بین رفته در بخش بیرونی PCF-SMF برابر 10 ± 110 µm~ بود (یعنی کوتاهتر از دیگر ناحیه از بین رفته)، دستگاه ها طیف های گذار مشابه شکل ۱ را به دست دادند. بنابراین ما نتیجه می گیریم که شیب ها در طیف های گذار نتیجه ای از همپوشانی بین مدهای برانگیخته در PCF هستند. باید خاطرنشان کرد که دستگاه های ما با دستگاه های مبتنی بر ساختارهای SMS ای که تاکنون گزارش شده فرق دارند (۹-۱۱، ۱۵-۲۴). آن دستگاه ها نیز با اتصال یک قطعه فیبر با نوع دیگری فیبر ساخته شدند. در این ساختارها دو یا چند مد با فیبر متصل شده در نخستین پیوندگاه جفت می شوند. در دومین پیوندگاه، مدها دوباره ترکیب می شوند. اگر دو مد برانگیخته شوند و بازترکیب شوند، طیف انتقال ساختار SMS یک الگوی سینوسی را نشان خواهد داد. با این حال اگر چند مد برانگیخته و بازترکیب شوند، یک تک پیک یا شکاف

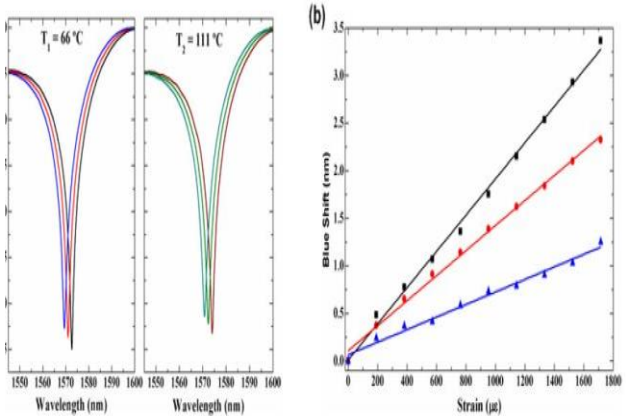
(معمولا پهن) مشاهده می شوند. تفاوت دیگر دستگاه های ما با دیگر ساختارهای SMF تاکنون ارائه شده، طول کلی و فقددان جایگذاری آنهاست. در نمونه ما طول دستگاه های ما حدود ۱ سانتی متر است در حالی که دیگر ساختارهای SMF چند سانتی متر درازا دارند. اتلاف ها در نمونه ما کمتر از ۲ dB است، در مقابل بیش از ۱۰ dB در برخی نداخل سنج های مبتنی بر PCF. ما معتقدیم که همه این تفاوت ها و مزایا به واسطه ویژگی های مدی PCF است.



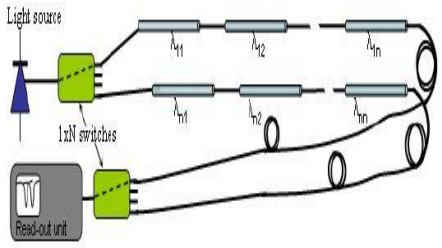
شکل۳: طیف های انتقال یک دستگاه به طول ۱۲ میلی متر

مشخصات حسگری دستگاه های منفرد نخست بررسی شد (بویژه کشش و دما). اصولا این پارامترها تغییرات اندکی را در طول دستگاه یا در ضاخص مدی بوجود می آورند که منجر به تغییرات اندک در شرایط همپوشانی می شود. درنتیجه مکان شکاف ها تغییر می یابد. با ارتباط دادن مکان شکاف به پارامتری که دریافت می شود، یک منحنی کالیبراسیون را می توان به دست آورد. شکل ۳ طیف های انتقال مشاهده شده یک دستگاه به طول ۱۲ میلی متر قرار گرفته در معرض کشش انبساطی محوری را نشان می دهد. شیفت های شکاف به سمت طول موج های کوتاهتر بدون تغییر زیاد در شکل آن دیده می شود. همچنین شکل مکان شکاف را به صورت تابعی از کشش وارد شده نشان می دهد. یک رفتار خطی را می توان ملاحظه نمود و فاکتورهمبستگی برابر $R^2 = 0.9996$ است. حساسیت کشش برابر 2.2 pm/με است که این مقدار حدود ۲۰۰٪ بیشتر از مورد یک FBG معمول است و تقریبا برابر دیگر سنسورهای کششی PCF مبتنی بر توری ها یا تداخل سنج هاست که کلا پیچیده تر یا بسیار طولانی تر هستند. با طیف سنج های مینیاتوری موجود یا تحقیق کننده ها (جستجوگرها)ی FBG، یک شیفت ۲۰ پیکومتری را می توان شناسایی نمود. از این رو رزولوشن کشش براوری برای دستگاه ۱۲ میلی متری برابر με 10~ است. با این همه در شرایط عملی، رزولوشن به دستگاه جستجوگر یا به مکانیسم رمزگشایی شیفت آن شکاف بستگی دارد. باید توجه نمود که چند پارامتر فیزیکی نظیر میدان های الکتریکی، فشار، ارتعاش، بار، شیب و غیره را می توان به تغییر کشش تعبیر نمود. دستگاه های ما به اندازه کافی نیرومند هستند که این پارامترها را دریافت کنند. همانند سنسور نقطه ای، آنها می توانند اندازه گیری های رزولوشن بالا و مطلقا طول موج کدگذاری شده را به دست دهند. بنابراین دستگاه ها در این کار می توانند در کاربردهای مختلفی مفید باشند.

بستگی دمایی دستگاه ها نیز تحقیق شده است. دریافته شد که هر چه دما بالاتر باشد، طول موج شکاف بلندتر است. حساسیت دمایی مشاهده شده در محدوده pm/°C ۹-۷ بود که به طول دستگاه بستگی دارد. بنابراین تاثیر بر حساسیت کشش یک دستگاه در دمای متفاوت نیز بررسی شد. شکل ۴ طیف های انتقالی یک دستگاه ۹/۵۲ میلی متری را وقتی در معرض کشش انبساطی محوری قرار گرفته و دمای محیط ۶۶ یا ۱۱۱°C بود، نشان می دهد.



شکل۴: طیف های انتقال یک دستگاه به طول ۹,۵۲ میلی متر

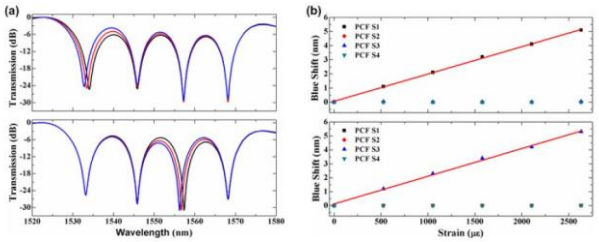


شکل۵: یک طرح پیشنهادی را برای تسهیم سنسورها

رفتار خطی در هر دمایی در محدوده آنالیز شده حفظ می شود درحالی که حساسیت کشش با افزایش دما کاهش می یابد. این قابل انتظار بود چون کشش و دما جابجایی های طول موج شکاف با علامت مخالف را بوجود می آورند.

۳. قابلیت تسهیم

جامعه سنسور متوجه شد که قابلیت تسهیم سنسورهای فیبری یکی از اصلی ترین مزایای آنهاست. این قابلیت امکان کنترل چند نقطه حسگر را با یک تک واحد جستجو (مثلا متشکل از یک تک منبع نور و یک طیف سنج نوری مینیاتوری) فراهم می کند، از این رو هزینه و پیچیدگی یک آرایه سنسور را کاهش می دهد. اغلب سنسورهای مبتنی بر SMS پیشنهادی تا اینجا، طیف های انتقالی یا بازتابشی با یک سری ماکزیمم و مینیمم یا شکاف ها/شیب های پهن را نشان می دهند که تسهیم انها دشوار است. مثلا تداخل سنج های PCF ، الگوهای تداخل سینوسی بروز می دهند در حالی که PCF های با تغییرات پریودیک در ساختارشان معمولا شیب های پهن و غیرمعمول دارند. درنتیجه وقتی چند تا از این سنسورها یکی بعد از دیگری به شکل آبشار می شوند، یک همپوشانی از پیک ها یا شیب ها می توانند رخ دهند که طرح های دمدولاسیون پیچیده یا قیود شدیدی را در ساخت دستگاه ها را تحمیل می کنند. مشابه شکل ۱، دستگاه های ما یک شیب منفرد و باریک را در انتقالشان نشان می دهند. بنابراین تسهیم کاملا سرراست و ساده است (با تنظیم n سنسور در یک فیبر، n شیب قابل پیش بینی است). شکل ۵ یک طرح پیشنهادی را برای تسهیم سنسورها نشان می دهد. در یک فیبر، n سنسور را می توان به صورت سری قرار داد که در همه آنها می توان همزمان جستجو انجام داد. برای افزایش تعداد سنسورها در آرایه، دو سوئیچ را می توان به کار برد. برای اثبات مفهوم بالا، چهار سنسور به صورت سری قرار داده شدند و فاصله بین سنسورهای متوالی حدود ۵۰ سانتی متر بود. برای تایید عملکرد سنسورها به صورت سری، هر سنسور مستقلا در معرض کشش انبساطی محوری قرار داده شد. شکل ۶ (الف) طیف های انتقال شکل یافته ی سری ها را وقتی یک سنسور تحت کشش و بقیه در حالت عادی بودند را نشان می دهد. شیفت تنها در یک شیب مشخص است، بقیه شیب ها کاملا بدون تغییر باقی ماندند. شکل ۶ (ب) شیفت های مشاهده شده را به صورت تابعی از کشش وارد شده در چهار سنسور سری نشان می دهد.



شکل ۶: الف) طیف های انتقال شکل یافته ی سری ها
ب) شیفت های مشاهده شده را به صورت تابعی از کشش وارد شده در چهار سنسور سری

به علت فشردگی دستگاه ها، فاصله بین نمونه های متوالی می تواند به اندازه چند سانتی متر باشد (~4-6 cm) به شرطی که مدهای روکش SMF بین PCF نواربندی شده باشند. با این همه در عمل، بسته بندی می تواند قیودی را در تفکیک بین سنسورهای متوالی تحمیل نماید. تعداد ماکزیمم سنسورهایی که می توان بطور سری قرار داد به عواملی از جمله گستره طول موجی منبع نور، پارامتر دریافتی، محدوده مورد اندازه گیری و اتلاف های کلی بستگی دارد. محدوده اندازه گیری، ماکزیمم شیفت مورد انتظار را تحمیل خواهد کرد در عین این که اتلاف ها بودجه توانی را تعیین می کند. مثلا اگر پارامتر اندازه گیری، کشش باشد و محدوده (برد) مورد نظر με ۱۰۰۰± باشد، حداکثر شیفت nm ۳± را باید فرض نمود تا از همپوشانی بین شکاف های متوالی جلوگیری کرد. برای برآورد تعداد واقعی سنسورهایی که می توان به طور سری قرار داد، فرض کنید که اتلاف اتصالی هر دستگاه برابر 3 dB باشد، یک 10dBm-

LED با یک پوشش ۱۰۰ nm بعنوان منبع نور و نیز ماکزیمم شیفت مورد انتظار برابر ۵± nm باشد. در این شریاط، تقریبا ۸ سنسور را می توان کاسکاد نمود در صورتی که واحد خوانش یا جستجو قادر به کار با یک توان ورودی حدود ۶۰- dBm باشد. از این رو با دو سوئیچ 1x4، آرایه ای بیش از ۳۰ سنسور PCF را می توان پیاده سازی نمود. چنین آرایه ای می تواند در کاربردهای بسیار سودمند باشد.

۴. نتیجه گیری

ما یک سنسور فیبری همه کاره و ساده را ارائه نموده ایم که شامل تکه ای از فیوژن PCF متصل شده به فیبر تک مدی استاندارد است. دو ناحیه از بین رفته با طول های مختلف در یک PCF با ساختار مناسب امکان برانگیختگی و همپوشانی مدهای خاصی را در فیبر فراهم می کنند. طیف انتقالی حاصل دستگاه ها یک شکاف منفرد، عمیق و باریک را نشان می دهند که تغییرات مکانی آنها با اختلالات بیرونی،امکان دریافت پارامترهای مختلف را فراهم می سازد. مشابه سنسورهای نقطه ای، دستگاه های پیشنهادی جالب هستند چون آنها اطلاعات کدگذاری شد بوسیله طول موج را به دست می دهند، فشرده، بسیار حساس و مقرون به صرفه هستند. در حقیقت آنها را می توان یک جایگزین جدی برای سنسورهای PCF موجود و نیز برخی سنسورهای مبتنی بر فیبر سنتی دانست. ما معتقدیم که نتایج ارائه شده در اینجا مخصوصا قابلیت تسهیم ، بر برخی محدودیت های سنسورهای مبتنی بر PCF که قبلا گزارش شده فائق می آیند.

تسهیم سنسورهای پیشنهادی کاملا ساده است به طوری که وقتی n سنسور بطور سری قرار گیرند، n شیب (افت) در انتقال مشاهده می شود. شیب ها مستقل از یکدیگرند یعنی شیفت یکی از آنها بر موقعیت بقیه تاثیر نمی گذارد. با منابع نوری تجاری موجود، سوئیچ ها و طیف سنج ها، می توان آرایه ای را با ده ها سنسور پیاده سازی نمود. درنتیجه به کارگیری سنسورهای PCF در اینجا در کاربردهای واقعی نوید بخش به نظر می رسد.

۵. مراجع

1. J. M. Lopez-Higuera, ed., *Handbook of Optical Fiber* Sensing Technology, (Wiley, New York, 2002).

2. P. St. J. Russell, "Photonic-crystal fibers," J. Lightwave Technol. 24(12), 4729–4749 (2006).

3. Y. Zhu, P. Shum, H. W. Bay, M. Yan, X. Yu, J. Hu, J. Hao, and C. Lu, "Strain-insensitive and high-temperature long-period gratings inscribed in photonic crystal fiber," Opt. Lett. 30(4), 367–369 (2005).

4. C. Martelli, J. Canning, N. Groothoff, and K. Lyytikainen, "Strain and temperature characterization of photonic crystal fiber Bragg gratings," Opt. Lett. **30**(14), 1785–1787 (2005).

5. Y. Wang, H. Bartelt, W. Ecke, R. Willsch, J. Kobelke, M. Kautz, S. Brueckner, and M. Rothhardt, "Sensing properties of fiber Bragg gratings in small-core Ge-doped photonic crystal fibers," Opt. Commun. **282**(6), 1129–1134 (2009).

6. V. M. Churikov, V. I. Kopp, and A. Z. Genack, "Chiral diffraction gratings in twisted microstructured fibers," Opt. Lett. **35**(3), 342–344 (2010).

7. W. J. Bock, J. Chen, P. Mikulic, T. Eftimov, and M. Korwin-Pawlowski, "Pressure sensing using periodically tapered long-period gratings written in photonic crystal fibres," Meas. Sci. Technol. **18**(10), 3098–3102 (2007).

8. L. Rindorf and O. Bang, "Sensitivity of photonic crystal fiber grating sensors: biosensing, refractive index, strain, and temperature sensing," J. Opt. Soc. Am. B **25**(3), 310–324 (2008).

9. J. Villatoro, V. P. Minkovich, V. Pruneri, and G. Badenes, "Simple all-microstructured-optical-fiber interferometer built via fusion splicing," Opt. Express **15**(4), 1491–1496 (2007).

10. J. Villatoro, V. Finazzi, V. P. Minkovich, V. Pruneri, and G. Badenes, "Temperature-insensitive photonic crystal fiber interferometer for absolute strain sensing," Appl. Phys. Lett. **91**(9), 091109 (2007).

11. W. Bock, T. Eftimov, P. Mikulic, and J. Chen, "An inline core-cladding intermodal interferometer using a photonic crystal fiber," J. Lightwave Technol. **27**(17), 3933–3939 (2009).

12. Q. Shi, Z. Wang, L. Jin, Y. Li, H. Zhang, F. Lu, G. Kai, and X. Dong, "A hollow-core photonic crystal fiber cavity based multiplexed Fabry-Pérot interferometric strain sensor system," IEEE Photon. Technol. Lett. **20**(15), 1329–1331 (2008).

13. H. Y. Fu, A. C. L. Wong, P. A. Childs, H. Y. Tam, Y. B. Liao, C. Lu, and P. K. A. Wai, "Multiplexing of polarization-maintaining photonic crystal fiber based Sagnac interferometric sensors," Opt. Express **17**(21), 18501–18512 (2009).

14. D. Barrera, J. Villatoro, V. P. Finazzi, G. A. Cárdenas-Sevilla, V. P. Minkovich, S. Sales, and V. Pruneri, "Low-loss photonic crystal fiber interferometers for sensor networks," J. Lightwave Technol. **28**, 3542–3547 (2010).

15. K. Abe, Y. Lacroix, L. Bonnell, and Z. Jakubczyk, "Modal interference in a short fiber section: fiber length, splice loss, cutoff, and wavelength dependences," J. Lightwave Technol. **10**(4), 401–406 (1992).

16. A. Kumar and R. K. Varshney, "Transmission characteristics of SMS fiber optic sensor structures," Opt. Commun. **219**(1-6), 215–219 (2003).

17. Q. Wang, G. Farrell, and W. Yan, "Investigation on single-mode–multimode–single-mode fiber structure," J. Lightwave Technol. **26**(5), 512–519 (2008).

18. S. Silva, J. L. Santos, F. X. Malcata, J. Kobelke, K. Schuster, and O. Frazão, "Optical refractometer based on large-core air-clad photonic crystal fibers," Opt. Lett. **36**(6), 852–854 (2011).

19. Y. Jung, S. Kim, D. Lee, and K. Oh, "Compact three segmented multimode fibre modal interferometer for high sensitivity refractive-index measurement," Meas. Sci. Technol. **17**(5), 1129–1133 (2006).

20. W. S. Mohammed, P. W. E. Smith, and X. Gu, "All-fiber multimode interference bandpass filter," Opt. Lett. **31**(17), 2547–2549 (2006).

21. E. Li, "Temperature compensation of multimode-interference-based fiber devices," Opt. Lett. **32**(14), 2064–2066 (2007).

22. F. Pang, W. Liang, W. Xiang, N. Chen, X. Zeng, Z. Chen, and T. Wang, "Temperature-insensitivity bending sensor based on cladding-mode resonance of special optical fiber," IEEE Photon. Technol. Lett. **21**(2), 76–78 (2009).

23. J. E. Antonio-Lopez, A. Castillo-Guzman, D. A. May-Arrioja, R. Selvas-Aguilar, and P. Likamwa, "Tunable multimode-interference bandpass fiber filter," Opt. Lett. **35**(3), 324–326 (2010).

24. H. Liu, F. Pang, H. Guo, W. Cao, Y. Liu, N. Chen, Z. Chen, and T. Wang, "In-series double cladding fibers for simultaneous refractive index and temperature measurement," Opt. Express **18**(12), 13072–13082 (2010).

25. L. Xiao, M. S. Demokan, W. Jin, Y. Wang, and C. L. Zhao, "Fusion splicing photonic crystal fibers and conventional single-mode fibers: microhole collapse effect," J. Lightwave Technol. **25**(11), 3563–3574 (2007).

26. H. P. Uranus, "Theoretical study on the multimodeness of a commercial endlessly single-mode PCF," Opt. Commun. **283**(23), 4649–4654 (2010).

استفاده از معیارهای شباهت و ویژگی‌های دموگرافیک کاربران برای تشخیص اجتماعات در شبکه‌های اجتماعی

احد فخاری[۱]، موسی مجرد[۲و۳] و حسن ارفعی‌نیا[۳]

[۱] دانشجو کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی-غیر دولتی لیان بوشهر، بوشهر، ایران، fakhari.eng@gmail.com
[۲] استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران، m.mojarad@iauf.ac.ir
[۳] باشگاه پژوهشگران جوان، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران
[۴] مربی، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی-غیر دولتی لیان بوشهر، بوشهر، ایران، msc.harfaeinia@gmail.com

چکیده: امروزه شبکه‌های اطلاعاتی در حوزه‌های مختلفی مورداستفاده قرار می‌گیرد. یکی از انواع شبکه‌های اطلاعاتی که امروزه به‌صورت گسترده‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرد، شبکه‌های اجتماعی است. شبکه‌های اجتماعی با کاربردهای متنوع دربرگیرنده تعداد بالایی از کاربران است که با واسطه یا بدون واسطه با یکدیگر در ارتباط هستند. در این راستا، با توجه به حجم بالای کاربران شبکه، یکی از قابلیت‌هایی که شبکه می‌تواند در اختیار کاربران قرار دهد، تشخیص اجتماعات بر اساس معیارهای تشابه بین کاربران است. ساختار کلی سیستم‌های تشخیص اجتماعات در نظر دارد که با استفاده از یکسری معیارها، شباهت بین کاربران را محاسبه کرده و سپس کاربرانی با بالاترین شباهت را به‌عنوان یک اجتماع معرفی کند. این معیارها می‌توانند شباهت بین کاربران را بر اساس اطلاعات کاربران و برخی ویژگی‌های ساختاری گراف محاسبه کنند. در این مقاله ویژگی‌های مورد نیاز جهت خوشه‌بندی و تشخیص اجتماعات از اطلاعات دموگرافیک کاربران استخراج می‌شود. سیستم خوشه‌بندی با استفاده از درخت تصمیم آموزش داده می‌شود تا کاربران جدید را در مناسب‌ترین گروه قرار دهند. درنهایت با ترکیب چند معیار شباهت معروف و کنترل تأثیر هر یک در محاسبه شباهت نهایی، نمره مشابهت بین کاربران مشخص شده و اجتماعات نهایی تشخیص داده می‌شود. به‌منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی از مجموعه داده واقعی شبکه اجتماعی پوپک استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها عملکرد بالای روش پیشنهادی را در مقایسه با سایر روش‌های مشابه نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: *شبکه‌های اجتماعی، تشخیص اجتماعات، معیارهای شباهت، خوشه‌بندی کاربران.*

۱- مقدمه

نخستین بار مفهومی با عنوان شبکه‌های اجتماعی اینترنتی با قالب امروزی در سال ۱۹۶۰ اولین بار در دانشگاه ایلی نویز در ایالت متحده امریکا مطرح شد [۱]. پس از آن در ۱۹۹۷ نخستین سایت شبکه اجتماعی اینترنتی SixDegrees راه‌اندازی شد. این سایت به کاربرانش اجازه ایجاد پروفایل داد تا آن‌ها بتوانند فهرستی از دوستانشان ایجاد کنند [۲]. شبکه‌های اجتماعی ساختاری اجتماعی است که از گره‌هایی که به‌صورت منفرد و یا گروهی تشکیل شده‌اند که با یکدیگر ارتباط دارند؛ بنابراین می‌توان گفت هر شبکه اجتماعی شامل تعدادی از افراد و ارتباط بین آن‌ها می‌باشد [۳]. برای نمایش شبکه‌های اجتماعی و محاسبات اولیه روی آن‌ها می‌توان نگاشتی از شبکه‌ها به ماتریس‌ها و گراف‌ها در نظر گرفت که می‌توان از ماتریس‌های مجاورت یا شباهت استفاده کرد.

شبکه‌های اجتماعی متشکل از افراد (سازمان‌ها) هستند که توسط یک یا چند نوع علاقه خاص به هم گره‌خورده‌اند.

وابستگی‌هایی مثل دوستی، خویشاوندی، منافع مشترک، تبادل مالی، علاقه خاص به یک موضوع باورهای مشترک، دانش و هنر و غیره. تجزیه‌وتحلیل شبکه های اجتماعی و تحلیل نظریه‌های موجود نشان می‌دهد که اصلی‌ترین نکته در هر شبکه‌ای، روابط است [۴-۶]. از آنجا که درک و فهم این روابط در سطح و گستره یک شبکه بسیار مشکل و غیرممکن است، تحلیل شبکه‌های اجتماعی نیز کاری بسیار دشوار می‌نمایاند. شبکه‌های اجتماعی در بسیاری از سطوح فعالیت می‌کنند، از خانواده تا سطح کشورها و بین‌الملل و نقش مهمی در تعیین راه حل مشکلات یا ایجاد آن ها دارند. جامعه مجازی در ساده‌ترین شکل آن، بستری است برای ایجاد روابط، مشخص مانند دوستی، بین گره‌های، گروه‌هایی که به افراد متصل هستند است در نتیجه ارتباطات اجتماعی از آن فرد به شبکه و از شبکه به‌کل افراد سرایت می‌کند [۷].

بررسی‌ها نشان می‌دهد که شبکه‌های اجتماعی در خصوصیات مشترک ساختاری به طرز قابل‌توجهی اشتراک دارند. تحلیل‌های با ارزشی به‌منظور گراف‌کاوی تاکنون ارائه شده است. در دهه‌ی اخیر، بررسی ساختار شبکه‌ها با استفاده از داده‌های واقعی و ابزارهای پرداز شی قوی، خصوصیات مشابه انواع شبکه‌ها با یکدیگر را آشکار کرده است. به‌عنوان مثال کوچک بودن میانگین کوتاه‌ترین فاصله‌ها، بالا بودن خوشه‌بندی و وجود اجتماعات در شبکه‌های پیچیده تنها برخی از خصوصیات مشترک شبکه‌ها در علوم مختلف می‌باشد. حضور تمامی این خصوصیات در شبکه‌های واقعی آنان را از مدل‌های بررسی شده در ریاضیات، مانند تورها و گراف‌های تصادفی، متمایز می‌کند [۸]. توپولوژی شبکه‌های اجتماعی نقش مهمی در استخراج برخی اطلاعات از آن ها ایفا می‌کند. توپولوژی شبکه به ساختار و نحوه اتصال نودهای آن اشاره دارد. قسمت اعظم فرایند استخراج توپولوژی شبکه با استفاده از توزیع درجه نودها انجام می‌شود.

با گسترش روزافزون تعداد کاربران شبکه های اجتماعی، تشخیص اجتماعات موضوع محور بر اساس موضوعات مشترک موردعلاقه کاربران به یکی از زمینه‌های پژوهشی جذاب در حوزه تحلیل شبکه‌های اجتماعی بدل گشته است. یک از چالش های این حوزه وابسته بودن الگوریتم ها و راهکارهای تشخیص اجتماعات بر اساس محوریت موضوع شبکه‌های اجتماعی است [۸]. در اغلب مطالعات تنها روابط ساده مابین کاربران مورد بررسی قرار گرفته است؛ اما اخیراً ویژگی دموگرافیک کاربران برای محاسبه روابط و میزان علاقه بین دو کاربر در شبکه‌های اجتماعی و در نظر داشتن آن در تحلیل‌ها، موردتوجه محققان این حوزه قرار گرفته است. مفهوم اجتماعات کاربران، یک مفهوم اجتماعی است. اجتماعات کاربران شبکه‌های اجتماعی می‌تواند گروه‌های دوستان یا گروه‌هایی از مردمی باشند که علایق مشترکی دارند.

ادامه این تحقیق بدین صورت است؛ پیشینه تحقیق در بخش دوم ارائه می شوند. بخش سوم مرتبط به روش پیشنهادی این تحقیق جهت کشف اجتماعات است و نتایج حاصل از آن در بخش چهارم ارائه می‌گردد. در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها مطرح می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

در زمینه تشخیص اجتماعات در شبکه‌های اجتماعی، تحقیقات متعددی صورت گرفته است. در این بخش به تحلیل و بررسی برخی از جدیدترین تحقیق‌های مرتبط در زمینه می‌پردازیم.

روش ECD توسط علیزاده و همکاران (۱۳۹۲) ارائه شد که یک الگوریتم تشخیص اجتماعات ترکیبی برای شبکه‌های اجتماعی می‌باشد [۹]. خوشه‌بندی یا تشخیص اجتماعات، طبقه‌بندی کاربران در شبکه‌های اجتماعی و ارتباطات پنهان بین مؤلفه‌های آن‌ها را آشکار خواهد نمود. اکثر روش‌های رایج تشخیص اجتماعات موجود قطعی نیستند و نتایج آن‌ها به مقادیر اولیه‌ای که در اکثر مواقع به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود بستگی دارد؛ اما خوشه‌بندی ترکیبی، بدون توجه به مقادیر اولیه تصادفی هرکدام از الگوریتم‌های پایه‌اش، با ترکیب آن‌ها، نتایج مستحکم و پایداری تولید می‌کند. روش ECD یک الگوریتم ترکیبی تشخیص اجتماعات با الهام از خوشه‌بندی ترکیبی ارائه می‌دهد. از مشخصه‌های این روش تشخیص اجتماعات ترکیبی، توانایی ترکیب با روش های دیگر است به‌گونه‌ای که می‌توان از الگوریتم‌های دقیق‌تر نیز در چهارچوب پیشنهادی استفاده کرد. نتایج تجربی روش ECD نشان می‌دهند که به متوسط روش‌های تشخیص اجتماعات پایه‌ای

مورد استفاده در آن از کارایی بسیار بالاتری برخوردار بوده و در اکثر موارد حتی از بهترین الگوریتم پایه‌ای خود نیز بهتر عمل کرده است.

روش DLA توسط دادا و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور طبقه‌بندی توئیت‌های خشونت‌آمیز کاربران شبکه‌های اجتماعی ارائه شد [۱۰]. اکثر روش‌های تجارتی اخیر برای تشخیص واژه‌های خشونت‌آمیز از لیست سیاه استفاده می‌کنند، بااین‌وجود این تکنیک کارایی مناسبی در برابر نمونه‌های زیادی که در نظر گرفته نشده‌اند، ندارد. در روش DLA از یک الگوریتم مبتنی بر یادگیری ماشین برای کشف توئیت‌های خشونت‌آمیز در نظرات کاربران آنلاین استفاده می‌کند. تکنیک استفاده شده در DLA، یادگیری عمیق است که به‌صورت پیشرفته‌ای توسعه داده شده است. نتایج این تحقیق روی مجموعه داده توئیتر برای طبقه‌بندی کاربران اعمال شده است که اطلاعات مؤثری را در طول زمان گزارش می‌دهد.

فصیح فر و همکاران (۱۳۹۶)، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی جهت تشخیص اجتماعات در شبکه‌های اجتماعی را مورد بررسی قرار دادند [۱۱]. در این تحقیق روشی توسط الگوریتم‌های خوشه‌بندی، پیشنهاد شده که شبکه را خوشه‌بندی نموده، سپس با کمک روش‌های تحلیل پیوند، اجتماعات را در هر یک از این خوشه‌ها تشخیص می‌دهد.

لو و همکاران (۲۰۱۴)، الگوریتم‌ها و برنامه‌های کاربردی برای تشخیص اجتماع در شبکه‌های وزن‌دار را مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. در این مقاله به رفع مشکل تشخیص اجتماع در شبکه‌های وزن‌دار پرداخته شده است که استخراج اجتماع‌ها، جابه‌جایی داده در DNT و محدود کردن فعالیت الگوریتم کرم شب‌تاب در شبکه‌های اجتماعی آنلاین را ساده می‌کند و نشان می‌دهد که اجتماع چگونه می‌تواند این طرح‌های شبکه را تسهیل ببخشد.

ژانگ و همکاران (۲۰۱۳)، کشف جامعه کاربری از شبکه‌های چند ارتباطی را پیشنهاد دادند [۱۳]. در این مطالعه، یک قالب کار واحد برای کشف اجتماع‌های کاربری از شبکه‌های چند ارتباطی، پیشنهاد داده شده است. نتایج این روش نشان می‌دهد که محتویات تولید شده توسط کاربران دارای نقشی اساسی در شناسایی اجتماع‌های کاربری در شبکه‌های اجتماعی دارد.

سان و همکاران (۲۰۱۵)، الگوریتم انتشار برچسب بر مبنای مرکزیت برای شناسایی اجتماع در شبکه‌های اجتماعی را با نام CenLP معرفی کردند [۱۴]. این الگوریتم یک تابع جدید را برای اندازه‌گیری مرکزیت گره‌ها به‌طور کمّی بدون هیچ‌گونه تعامل با کاربر به‌وسیله محاسبه تراکم محلی و شباهت با همسایه‌های با تراکم بالا برای هر گره معرفی می‌کند. بر اساس مرکزیت گره‌ها، یک الگوریتم انتشار برچسب جدید را با ترتیب به‌روزرسانی خاص و اولویت گره برای کشف کردن اجتماعات در شبکه‌های مقیاس بزرگ به‌طور اتوماتیک بدون تحمیل کردن هیچ محدودیت از پیش، ارائه می‌شود.

یو و همکاران (۲۰۱۶)، تشخیص جامعه در شبکه‌های پیچیده با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر تراکم و یادگیری چند ظرفیتی را مطرح ساختند [۱۵]. در این تحقیق چارچوب خوشه‌بندی مبتنی بر تراکم برای شناسایی ساختار جامعه، چگالی پارتیشن بهبود یافته برای ارزیابی کیفیت جوامع شناسایی، چارچوب به پارامترهای آن حساس است و آسان برای اجرای آن و مقایسات انجام شده بر روی معیارهای مصنوعی و شبکه‌های دنیای واقعی اثربخشی چارچوب پیشنهاد و بررسی شده است.

ژانگ و همکاران (۲۰۱۷)، الگوریتم انتشار برچسب برای تشخیص جامعه بر اساس اهمیت گره و تأثیر برچسب را پیشنهاد دادند [۱۶]. این الگوریتم به خاطر مزایایی که دارد مورد توجه زیادی قرار گرفته است، از جمله اینکه پیچیدگی زمانی خطی دارد و نیازی نیست تابع هدف و تعداد جامعه از قبل معلوم باشد. بااین‌حال، عیب آن نااطمینانی و تصادفی بودن در فرآیند انتشار برچسب است که دقت و پایایی جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

عظوظی و رمضان (۲۰۱۷)، الگوریتم انتشار برحسب بر اساس تأثیر مبتنی بر شواهد برای تشخیص جامعه توزیع‌شده در شبکه‌های اجتماعی را مورد بررسی قرار دادند [۱۷]. در این مدل تخصیص انبوه و میزان معقول بودن بر اساس تأثیر اجتماعی برای تشخیص برچسب دامنه هر گره محاسبه می‌شود. آزمایش این مدل در دنیای واقعی و شبکه‌های LFR مصنوعی، کارایی این الگوریتم را در مقایسه با پیشرفته‌ترین الگوریتم‌ها نشان می‌دهد.

چی و همکاران (۲۰۱۳)، تشخیص جوامع همپوشان در شبکه‌ها: جدیدترین تکنولوژی و مطالعه تطبیقی را بررسی کردند [۱۸]. این مقاله جدیدترین تکنولوژی الگوریتم تشخیص جامعه همپوشان، معیارهای و مقیاس‌های کیفی را مورد تجدیدنظر قرار می‌دهد. پس از در نظر گرفتن اجرای تشخیص در سطح جامعه که با اطلاعات مفعل و انفعال نرمال‌سازی شد ارزیابی‌شده‌اند، شاخص امگا و اجرای تشخیص در سطح گره که با نمره F ارزیابی می‌شود.

ژانگ و همکاران (۲۰۱۷)، دست‌کاری ترندهای توییتر: اولین مطالعه از دیدگاه امنیتی به ترند توییتر به بررسی اینکه آیا ترندهای توییتر از دست‌کاری‌ها توسط حساب‌های مخرب ایمن هستند یا خیر پرداختند [۱۹]. در این روش و در مرحله تحلیل از یک مدل نفوذ خطی استفاده کردند تا تأثیر شبکه بر انتشار یک موضوع در توییتر را بسنجند که آن‌ها را قادر ساخت تا شواهدی از دست‌کاری را پیدا کنند. کاربرد این مدل محدود به سناریوهای خطی است.

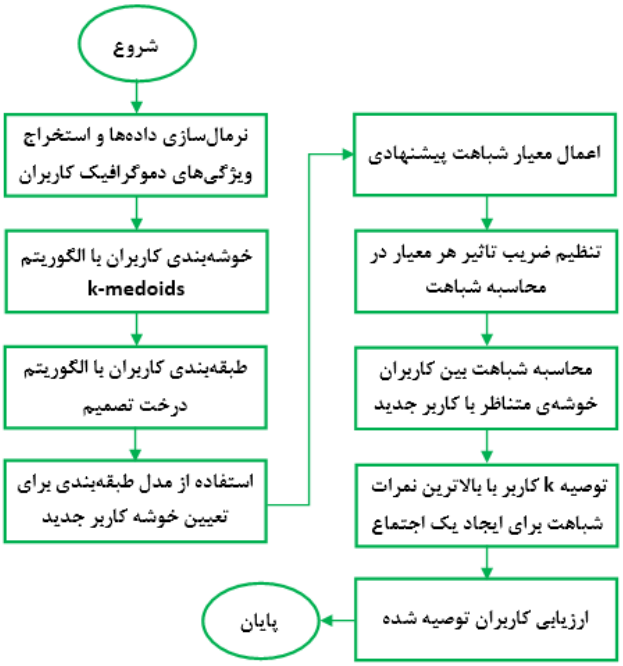
جاین و همکاران (۲۰۱۶)، در خصوص تشخیص اتوماتیک و بلادرنگ اطلاعات غلط در توییتر انجام دادند [۲۰]. از آنجا که اطلاعات غلطی که در توییتر درحال گردش می‌باشد، عمدتاً از منابع معتبر نمی‌باشند ازاین‌رو رویکرد ما بر اساس فرضیه حساب‌های کانال‌های خبری تائید شده به‌عنوان منابع معتبر اطلاعات شروع شد و با مقایسه این اطلاعات با اطلاعات مشابه به‌دست‌آمده از حساب‌های کاربری ناآشنا (عموم مردم) ادامه می‌یابد.

ژائو و همکاران (۲۰۱۵)، پیش‌بینی لینک‌ها و وزن‌ها در شبکه‌ها را با مسیرهای قابل‌اطمینان ارائه داده‌اند [۲۱] . هدف از پیش‌بینی لینک کشف لینک‌های گم‌شده و یا پیش‌بینی ظهور روابط در آینده با توجه به ساختار شبکه جاری می‌باشد. بسیاری از الگوریتم‌های امروزی برای پیش‌بینی لینک در شبکه‌های اجتماعی بدون وزن ارائه شده‌اند. در این تحقیق ایده مسیرهای قابل‌اطمینان مطرح شده است. یک مسیر قابل‌اطمینان به‌منظور توسعه شاخص شباهت محلی بدون وزن به شاخص‌های وزن‌دار ارائه شده است.

۳- روش پیشنهادی

در این تحقیق روش جدیدی برای پیش‌بینی دقیق‌تر اجتماعات در شبکه‌های اجتماعی با استفاده از ویژگی‌های دموگرافیک کاربران و ساختار توپولوژی گراف شبکه‌ها ارائه می‌شود. هدف ایجاد یک سیستم تشخیص اجتماعات است. در روش پیشنهادی استفاده از داده‌های واقعی و پیش‌بینی توصیه به کاربران، به‌منظور ایجاد ارتباط بین کاربرانی با بالاترین شباهت مورد توجه می‌باشد.

روش پیشنهادی در این تحقیق از چند مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول ویژگی‌های مورد نیاز از اطلاعات دموگرافیک کاربران استخراج و نرمال می‌شوند. اطلاعات استخراج‌شده به‌منظور قرار دادن کاربران در خوشه‌های مشابهی استفاده می‌شود. این عمل در مرحله دوم و با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی k-medoids انجام می‌گیرد. در مرحله سوم و به‌منظور تعیین خوشه کاربر جدید و تعیین مشابهت آن به یک گروه از کاربران از یک مدل طبقه‌بندی درخت تصمیم استفاده می‌شود. تعیین شباهت بین کاربر جدید و سایر کاربران با استفاده از یک معیار شباهت ترکیبی در مرحله چهارم محاسبه می‌شود. این معیار تنها بین کاربران خوشه‌ی متناظر با کاربر جدید شباهت محاسبه می‌شود. در نهایت در مرحله پنجم الگوریتم پیشنهادی، فهرستی از k کاربر با بالاترین نمرات شباهت را به‌عنوان یک اجتماع معرفی می‌کند و با استفاده از چندین شاخص دقت اجتماعات مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شکل ۱ فلوچارت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: معماری روش پیشنهادی

۳-۱- نرمال‌سازی و استخراج ویژگی‌ها از اطلاعات دموگرافیک کاربران

هدف این بخش استخراج اطلاعات دموگرافیک کاربران می‌باشد. در این تحقیق با توجه به شبکه اجتماعی استفاده شده ویژگی-های سن، جنسیت، مکان جغرافیایی، شغل، علاقه به موزیک و علاقه به فیلم از کاربران استخراج می‌شود. به‌منظور استفاده از مقادیر این ویژگی‌ها نیاز به نرمال‌سازی آن‌ها ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه در پردازش داده‌ها با اعداد سروکار دارم و برخی از مشخصه‌های مجموعه داده دارای مقادیر کیفی هستند، لذا تغییر آن‌ها به مقادیر کمی برای انجام پردازش الزامی می‌باشد. برای نرمال‌سازی به هر مقدار ممکن و منحصربه‌فرد از هر ویژگی از نمایه موجود، یک عدد یکتا نسبت داده شود. سپس آن‌ها را با استفاده از روش مینیمم – ماکزیمم، نرمال‌سازی می‌کنیم. این روش داده‌ها را در بازه [0-1] قرار می‌دهد. مقدار نرمال شده j-مین ویژگی از کاربر i-ام با $X_{i,j}^{new}$ نشان داده می‌شود و به‌صورت رابطه زیر است.

$$X_{i,j}^{new} = \frac{X_{i,j} - \min\limits_{1<i\leq N}(X_{i,j})}{\max\limits_{1<i\leq N}(X_{i,j}) - \min\limits_{1<i\leq N}(X_{i,j})} \qquad (۱)$$

در این رابطه $X_{i,j}$ مقدار ویژگی j-ام از i-مین کاربر است. N تعداد کل کاربران و M تعداد ویژگی‌های استخراج‌شده از اطلاعات دموگرافیک کاربران می‌باشد.

۳-۲- خوشه‌بندی کاربران

در این مقاله برای خوشه‌بندی کاربران الگوریتم k-medoids مورد توجه می‌باشد. در این خوشه‌بندی برای محاسبه گره‌های مشابه از معیارهای شباهت شناخته شده‌ای نظیر فاصله اقلیدسی، فاصله همینگ و غیره استفاده می‌شود. این معیارها، شباهت گره‌ها را بر اساس فاصله آن‌ها محاسبه می‌کنند، یعنی هرچقدر فاصله بین دو گره کمتر باشد، این دو گره شبیه‌تر بوده و درنتیجه در یک خوشه قرار داده می‌شوند. به‌طورکلی الگوریتم k-medoids برخی از مشکلات الگوریتم را برطرف کرده است. در این الگوریتم بجای کمینه نمودن مجموع مجذور اقلیدسی فاصله بین نقاط، مجموع تفاوت‌های فواصل جفت نقاط را کمینه می‌کنند.

۳-۳- تعیین خوشه کاربران جدید با درخت تصمیم

بعد از انجام خوشه‌بندی و قرار دادن کاربران در گروه‌های مشابه، جهت تعیین کلاس کاربر جدید مجموعه داده مربوط به اطلاعات دموگرافیک استخراج‌شده از کاربران طبقه‌بندی می‌شوند. به این صورت که کلاس هر نمونه (خوشه هر کاربر) با توجه به خروجی الگوریتم خوشه‌بندی مشخص می‌شود. در این مقاله از الگوریتم طبقه‌بندی درخت تصمیم ID3 برای تعیین خوشه کاربر جدید استفاده می‌شود. درخت تصمیم یکی از روش‌های قوی و متداول برای دسته‌بندی و پیش‌بینی است.

۳-۴- ایجاد اجتماعات اولیه کاربران

در ساختار توپولوژی شبکه‌های اجتماعی، پیش‌بینی احتمال وجود ارتباط میان دو کاربر بر اساس خصوصیت‌های کاربران و سایر ارتباطات مشاهده شده را پیش‌بینی لینک می‌گویند. پیش-بینی لینک در یک گراف به‌عنوان تعامل بین رأس‌های گراف تعریف می‌شود. یک شبکه اجتماعی به‌صورت $G = (V, E)$ در نظر گرفته می‌شود. جایی که هر یال ارتباط بین و کاربر u و v را به‌صورت $(u, v) \in E$ نشان می‌دهد.

معیار شباهت بین دو کاربر احتمال دوستی بین آن‌ها را در آینده نشان می‌دهد. در سیستم توصیه دوست برای هر کاربر آزمون باید میزان شباهت آن با تمامی کاربران آموزش محاسبه شده و کاربرانی با بالاترین نمره شباهت به‌عنوان دوست به کاربر آزمون توصیه شوند. با توجه به امکان توصیه چند دوست، در اینجا فهرستی از k-top کاربر با بالاترین نمره شباهت پیشنهاد می‌شوند.

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، در این تحقیق از ترکیب معیارها شامل پیوند دوست و کاتز برای محاسبه شباهت استفاده می‌شود. اگر M تعداد معیارهای انفرادی استفاده شده باشد، معیار شباهت ترکیبی پیشنهاد شده با رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$sim(u,v) = \sum_{q=1}^{M} a_q \times score_q \qquad (۲)$$

جایی که $sim(u,v)$ شباهت بین دو کاربر u و v ؛ $scoe_q$ شباهت محاسبه شده توسط q-مین شاخص شباهت انفرادی و a_q ضریبی ثابتی برای نشان دادن تأثیر q-مین روش انفرادی در محاسبه شباهت نهایی می‌باشد.

مقدار این ثابت‌ها با توجه به درصد تأثیر هر یک از این معیارها تنظیم می‌شود. این مقادیر با استفاده از خصوصیت بهینه‌سازی این پارامتر و با معرفی یک تابع هدف مستقل، مقادیر پارامترها را با سعی و خطا در بهینه‌ترین حالت جستجو می‌شوند. تابع هدف ارائه شده به فرم $F(a,i)$ است که مقدار برازندگی ضرایب a را در تکرار i-ام نشان می‌دهد. این تابع به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$F(a,i) = \frac{1}{H}\sum_{h=1}^{H} Precision(ds_h, a) \qquad (۳)$$

جایی که H تعداد مجموعه داده‌های واقعی مورد آزمایش و ds_h به h-مین مجموعه داده اشاره دارد. $Precision(ds_h, a)$ تابعی است که مقدار دقت (درستی) را به ازای h-مین مجموعه داده و ضرایب a محاسبه می‌کند. در اینجا ضرایب ثابت با سعی و خطا به‌صورت جدول ۱ تنظیم شده است.

جدول ۱: تخمین ضرایب با سعی و خطا

ضرایب	a_1	a_2
مقدار بهینه	۰,۷۷۳۰	۱,۰۰۰
معیار شباهت	پیوند دوست	کاتز

مقادیر به‌دست‌آمده حاکی از اهمیت بالای معیار شباهت کاتز در تعیین میزان شباهت بین دو کاربر در روش پیشنهادی می‌باشد. با توجه به گزارش عملکرد بالای معیار کاتز در تحقیقات مختلف به نظر می‌رسد این معیار در شبکه‌های بزرگ و با بکار بردن آن به‌صورت ترکیبی، عملکرد خوبی را نشان می‌دهد.

۳-۵- ایجاد اجتماعات نهایی

در این تحقیق برای ایجاد اجتماعات نهایی از ماتریس شباهت بین کاربران استفاده می‌شود. ازاین‌رو برای هر کاربر k کاربر با بالاترین امتیاز شباهت انتخاب شده و به‌عنوان یک اجتماع در نظر گرفته می‌شوند. اگر لیست کاربران تست را با V^P و لیست کاربران آموزش را با V^T نشان دهیم؛ آنگاه برای هر کاربر تست از مجموعه V^P نمره شباهت آن با تمام کاربران V^T در دسترس است. با مرتب‌سازی نزولی نمره شباهت، کاربرانی با امتیاز تشابه بیشتر در ابتدای لیست قرار می‌گیرند. با توجه به تعداد کاربران مشابه که با پارامتر top-k شناخته می‌شود، k کاربر ابتدایی لیست به‌عنوان یک اجتماع در نظر گرفته می‌شود.

۴- نتایج و بحث

در این تحقیق آزمایش‌ها گسترده‌ای را برای نشان داده برتری الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است. به‌منظور بررسی عملکرد و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، مقایسه‌ای با سایر معیارهای شباهت معروف انجام شده است. این معیارها کاتز [۲۲]، پیوند دوست [۲۳]، جاکارد [۲۴] و آدامیک آدار [۲۵] می‌باشند. علاوه بر این، پارامتر top-k برابر ۲۰، حداکثر طول مسیر برابر ۳ و همچنین تعداد خوشه ۴ در نظر گرفته شده است.

پیاده‌سازی و تمامی آزمایش‌ها با استفاده از یک پردازنده اینتل هفت هسته‌ای با فرکانس 2.4 گیگاهرتز، حافظه 8 گیگابایت سیستم‌عامل ویندوز 10 نسخه Enterprise و با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام گردیده است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی به‌منظور حصول نتایج دقیق‌تر، میانگین ۱۰ مرتبه تکرار تست می‌باشد.

شبیه‌سازی روی مجموعه داده شبکه اجتماعی پوپک انجام شده است. با توجه به حجم بالای این مجموعه داده زیاد بودن تعداد

کاربران و لینک‌های در آن‌ها، در این حاضر به‌منظور ارزیابی الگوریتم پیشنهادی تعداد ۲۰۰۰ کاربر ابتدایی از هر دو مجموعه داده به همراه تمامی لینک‌های آن‌ها در نظر گرفته شده است. جدول ۲ مشخصات مجموعه داده‌های اصلی و استفاده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مشخصات مجموعه داده پوپک

مجموعه داده	تعداد گره‌ها	تعداد لینک‌ها
پوپک نسخه اصلی	۱۶۳۲۸۰۳	۳۰۶۲۲۵۶۴
پوپک نسخه استفاده شده	۲۰۰۰	۱۸۳۱۵

در این تحقیق از معیارهای درستی، یادآور، اندازه‌گیری F و AUC جهت ارزیابی و مقایسه نتایج استفاده شده است. معیار درستی نسبت تعداد کاربران مرتبط از لیست top-k (کاربرانی از لیست top-k متعلق به مجموعه E^P) به تعداد واقعی کاربران مرتبط (تعداد لینک‌ها برای کاربر هدف از مجموعه E) می‌باشد. معیار یادآور نسبت تعداد کاربران مرتبط از لیست top-k به تعداد کل کاربران مرتبط (تعداد کل کاربران مجموعه E^P برای کاربر هدف) است. معیار اندازه‌گیری F توصیف‌کننده میانگین هارمونیک نرمال از دو معیار درستی و یادآور است. این معیار با توجه به رابطه زیر محاسبه می‌شود.

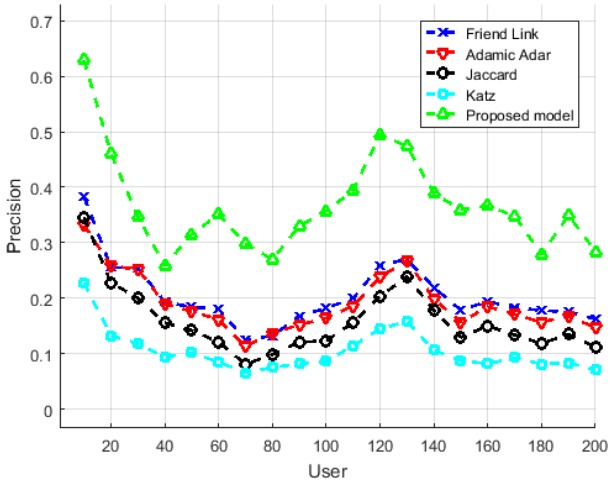
$$F - Measure = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \qquad (۴)$$

در نهایت معیار AUC معادل ناحیه زیر منحنی ROC است، که هر چه مقدار این عدد مربوط به یک دسته بزرگ‌تر باشد کارایی نهایی مدل مطلوب‌تر ارزیابی می‌شود. رابطه زیر نحوه محاسبه این معیار را نشان می‌دهد.

$$AUC = \frac{n' + 0.5 \times n''}{n} \qquad (۵)$$

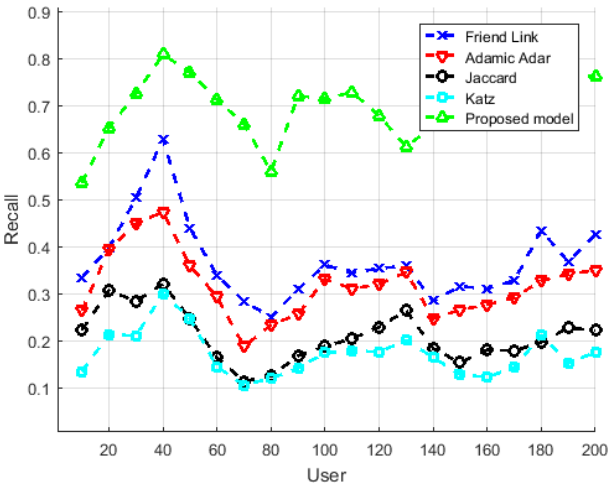
در این رابطه n تعداد کل مقایسه‌ها می‌باشد. درواقع این مقدار برابر تعداد لینک‌های موجود در مجموعه E^P است. در این رابطه منظور از لینک مفقود شده، لینک‌های موجود در E^P و منظور از لینک غیر موجود، لینک‌هایی که در ماتریس شباهت پیشنهاد شده ولی در E^P وجود ندارد. n' در این رابطه تعداد دفعاتی است که لینک مفقود شده مقدار شباهت بیشتری دارد. n'' نیز تعداد دفعاتی است که لینک‌های مفقود شده و لینک‌های غیر موجود مقدار شباهت یکسانی داشته باشند.

در اولین مقایسه معیار ارزیابی درستی برای الگوریتم پیشنهادی و سایر معیارهای شباهت محاسبه شده است. شکل ۲ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.



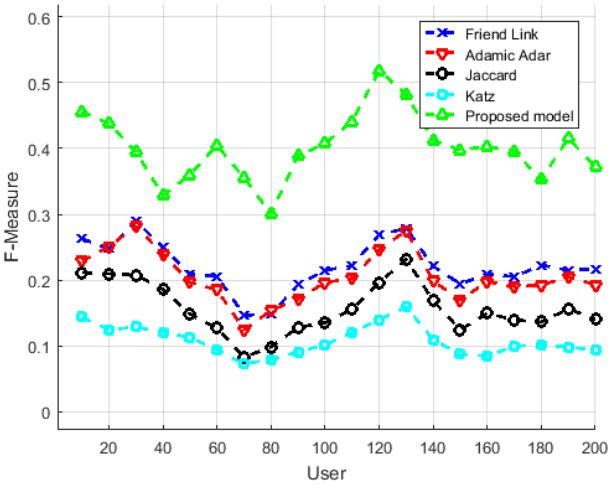
شکل ۲: نتایج مقایسه معیار درستی

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از معیار شباهت درون خوشه‌ها باعث تمرکز الگوریتم روی کاربران با علایق مشابه شده و عملکرد الگوریتم ما را در مقایسه با سایر روش‌ها بالا برده است. در ادامه معیار یادآور برای روش‌های مورد مقایسه محاسبه شده و نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مقدار یادآوری به‌دست‌آمده در روش پیشنهادی نسبت به روش‌های دیگر بهتر می‌باشد.

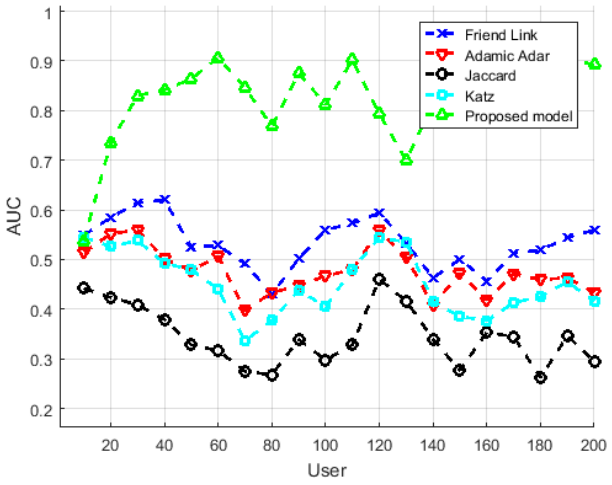


شکل ۳: نتایج مقایسه معیار یادآور

همچنین درصد بهبود الگوریتم پیشنهادی ازنظر معیار اندازه-گیری F نسبت به سایر الگوریتم‌ها در شکل ۴ به‌وضوح مشخص است.



شکل ۴: نتایج مقایسه معیار اندازه‌گیری F



شکل ۵: نتایج مقایسه معیار AUC

بر اساس نمودارها و نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از خوشه‌بندی کاربران با استفاده از معیار شباهت ارائه شده که ترکیبی از شباهت ساختاری و شباهت دموگرافیک کاربران می‌باشد، باعث می‌شود که کاربرانی که دارای تعاملات، ویژگی‌ها و علائق یکسانی هستند در یک خوشه قرار بگیرند و درنتیجه پذیرش توصیه‌ها از جانب کاربران افزایش می‌یابد.

۵- نتیجه‌گیری

در تجزیه‌وتحلیل شبکه اجتماعی تشخیص اجتماعات یک گام اساسی برای درک ساختار و عملکرد شبکه است. برخی از روش-های تشخیص اجتماعات امروزی عملکرد محدودی دارند، زیرا تنها به ساختار توپولوژی در شبکه تمرکز می‌کنند. علاوه بر توپولوژی، اطلاعات محتوا یکی دیگر از جنبه‌های مهم شبکه‌های اجتماعی است. در این مقاله از یک روش ترکیبی برای تشخیص اجتماعات بر مبنای ویژگی‌های توپولوژیکی و دموگرافیکی استفاده شد. استفاده از الگوریتم معیار شباهت پیشنهادی ترکیبی و اعمال آن به درون خوشه‌ها برای تشخیص اجتماعات، سبب بالا رفتن دقت می‌شود، زیرا معیار شباهت پیشنهادی از ترکیب چند روش با ضریب تأثیر می‌باشد و این روش‌ها از اطلاعات محلی و سراسری گراف بهره می‌گیرند.

در سیستم پیشنهادی برای تعریف معیار شباهت ویژگی‌های نمایه کاربران از ویژگی‌های هر کاربر (مانند سن، جنسیت، شغل و غیره) استفاده شده است. استفاده از تعاملات روزانه کاربران (مانند کامنت‌گذاری در پست‌های افراد، برچسب‌گذاری مشترک عکس‌ها، نرخ‌دهی مشابه به محصولات و غیره) نیز می‌تواند برای تعریف معیار شباهت به کار گرفته شود تا به ایجاد توصیه‌هایی دقیق‌تر کمک کند.

مراجع

[1] Pennacchiotti, M., & Popescu, A. M. (2011). A Machine Learning Approach to Twitter User Classification. Icwsm, 11(1), 281-288.

[2] Malouf, R., & Mullen, T. (2008). Taking sides: User classification for informal online political discourse. Internet Research, 18(2), 177-190.

[3] Bhagat, S., Cormode, G., & Muthukrishnan, S. (2011). Node classification in social networks. In Social network data analytics (pp. 115-148). Springer, Boston, MA.

[4] Lu, Z., Sun, X., Wen, Y., Cao, G., & La Porta, T. (2015). Algorithms and applications for community detection in weighted networks. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 26(11), 2916-2926.

[5] Zhang, Z., Li, Q., Zeng, D., & Gao, H. (2013). User community discovery from multi-relational networks. Decision Support Systems, 54(2), 870-879.

[6] Sun, H., Liu, J., Huang, J., Wang, G., Yang, Z., Song, Q., & Jia, X. (2015). CenLP: A centrality-based label propagation algorithm for community detection in networks. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 436, 767-780.

[7] Said, A., Abbasi, R. A., Maqbool, O., Daud, A., & Aljohani, N. R. (2018). CC-GA: A clustering coefficient based genetic algorithm for detecting communities in social networks. Applied Soft Computing, 63, 59-70.

[8] Azaouzi, M., & Romdhane, L. B. (2017). An evidential influence-based label propagation algorithm for distributed community detection in social networks. Procedia Computer Science, 112, 407-416.

[۹] علیزاده، حسین، رسول حسین‌زاده و اسلام ناظمی (۱۳۹۶)، تشخیص اجتماعات ترکیبی در شبکه‌های اجتماعی، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، ۱۱(۲)، صفحه ۴۹-۶۰.

[10] Dadhe, M. M. S., Masidkar, M. P. S., Vaidya, M. V., & Jalan, P. A. (2018). Detection of Abusive Language from Tweets in Social Networks. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 6(3), 148-151.

[۱۱] فصیح فر، زهره، زهرا عالیشاه، نجمه مشکانی و حمیدرضا رخصتی (۱۳۹۶)، بررسی روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی جهت تشخیص اجتماعات در شبکه‌های اجتماعی، پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق و کامپیوتر با تأکید بر دانش بومی، تهران، موسسه آموزش عالی مقدس اردبیلی

[12] Lu, Z., Sun, X., Wen, Y., Cao, G., & La Porta, T. (2015). Algorithms and applications for community detection in weighted networks. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 26(11), 2916-2926.

[13] Zhang, Z., Li, Q., Zeng, D., & Gao, H. (2013). User community discovery from multi-relational networks. Decision Support Systems, 54(2), 870-879.

[14] Sun, H., Liu, J., Huang, J., Wang, G., Yang, Z., Song, Q., & Jia, X. (2015). CenLP: A centrality-based label propagation algorithm for community detection in networks. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 436, 767-780.

[15] You, T., Cheng, H. M., Ning, Y. Z., Shia, B. C., & Zhang, Z. Y. (2016). Community detection in complex networks using density-based clustering algorithm and manifold learning. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 464, 221-230.

[16] Zhang, X. K., Ren, J., Song, C., Jia, J., & Zhang, Q. (2017). Label propagation algorithm for community detection based on node importance and label influence. Physics Letters A, 381(33), 2691-2698.

[17] Azaouzi, M., & Romdhane, L. B. (2017). An evidential influence-based label propagation algorithm for distributed community detection in social networks. Procedia Computer Science, 112, 407-416.

[18] Xie, J., Kelley, S., & Szymanski, B. K. (2013). Overlapping community detection in networks: The state-of-the-art and comparative study. Acm computing surveys (csur), 45(4), 43.

[19] Zhang, Y., Ruan, X., Wang, H., Wang, H., & He ,S. (2017). Twitter Trends Manipulation: A First Look Inside the Security of Twitter Trending. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 12(1), 144-156 .

[20] Jain, S., Sharma, V., & Kaushal, R. (2016). Towards automated real-time detection of misinformation on Twitter. Paper presented at the Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2016 International Conference on.

[21] Zhao, J., Miao, L., Yang, J., Fang, H., Zhang, Q. M., Nie, M., ... & Zhou, T. (2015). Prediction of links and weights in networks by reliable routes. Scientific reports, 5, 12261.

[22] Katz, L. (1953). A new status index derived from sociometric analysis. Psychometrika, Vol. 18. No. 1. 39-43

[23] Papadimitriou, A., Symeonidis, P., & Manolopoulos, Y. (2012). Fast and accurate link prediction in social networking systems. Journal of Systems and Software, 85(9), 2119-2132.

[24] Niwattanakul, S., Singthongchai, J., Naenudorn, E., & Wanapu, S. (2013, March). Using of Jaccard coefficient for keywords similarity. In Proceedings of the International MultiConference

of Engineers and Computer Scientists (Vol. 1, No. 6).

[25] Adamic , L. A., & Adar, E. (2003). Friends and Neighbors on the Web, Social Networks, vol. 25(3), 211–230.

بررسی ترانزیستورهای FINFET

امین شیخ نجدی

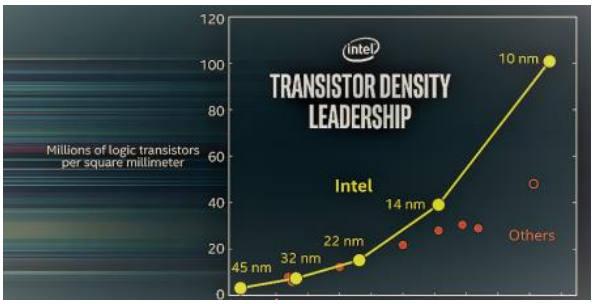
دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول ، najdi@iaud.ac.ir

چکیده: ترانزیستور ***FINFET*** فین‌فت نوعی خاص از ماس‌فت‌های با چند گیت است که با توجه به فیزیک خاص و شکل ظاهری خود در کوچک‌تر کردن ابعاد ترانزیستورها به سمت اندازه‌های کمتر از ۲۲نانومتر کمک شایانی خواهد کرد. مشکل اصلی در این راه، اثرات کانال کوتاه است که به شدت مانع کوچک‌تر کردن ترانزیستور خواهد شد و عملکرد قطعه را مختل خواهد کرد. فین‌فت علاوه بر کنترل بهینه‌ی اثرات کانال کوتاه، نقش‌های دیگری هم دارد که از بین آن‌ها می‌توان به بهبود قابلیت حرکت و جریان راه‌اندازی، تغییرات کمتر ولتاژ آستانه، کاهش جریان نشتی و قابلیت کنترل پتانسیل کانال بدون استفاده از ناخالصی اشاره کرد. بنابراین می‌بینیم که گسترش و استفاده‌ی بیشتر از این قطعه مزایای چشمگیری را به همراه دارد که در مدارهای آنالوگ و دیجیتال تغییرات عمده‌ای را باعث خواهد شد.

کلید واژه: گیت سه فلزی ، *FINFET* ، *SOI*

۱- مقدمه

همان طور که می دانید طبق پیش بینی قانون مور میزان تراکم تعداد ترانزیستور ها در هر میلی مترمربع در هر دو سال دو برابر خواهد شد بر همین اساس شرکت اینتل اعلام کرد که توانسته رکورد جدیدی در این زمینه ثبت کرده و حتی قانون مور را نیز به نوعی با این تکنولوژی جدید دست خوش تغییر کرده است تا جایی که توانسته اند تعداد ۱۰۰ میلیون ترانزیستور را در هر میلی متر مکعب جای دهند وبر این اساس این بار نه تنها ۲برابر بلکه اینتل توانسته این میزان را به ۲/۵ برابر افزایش دهد که به نوعی خود قانون مور را تغییر میدهد . چرا که همانطور که در نمودار زیر مشاهده میکنید تعداد ترانزیستور های قرار داده شده در پردازنده های ۲۲ نانومتری ۱۵/۳ میلیون و سپس در پردازنده های ۱۴ نانومتری ۳۷/۵ میلیون ترانزیستور میباشد ولی با تکنولوژی جدید این بار در پردازنده های ۱۰ نانومتری اینتل موفق شده است ۱۰۰ میلیون ترانزیستور را در هر میلی مترمکعب جای دهد که این میزان نیم درصد بیشتر از میزانی است که قانون مور پیش بینی نموده است و به خودی خود موفقیت بزرگی برای این شرکت و صنعت پردازنده محسوب میشود [۱].



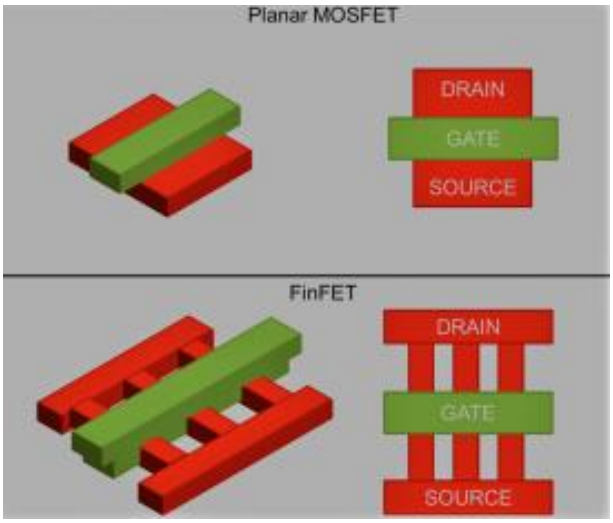
۲- معرفی

امروزه با توجه به پیشرفت روزافزون صنایع الکترونیک و کاهش ابعاد ترانزیستورها، ترانزیستورهای MOSFET به علت مسائل پیش آمده در فناوری های جدید دیگر قابل کوچک شدن نیستند. از جمله این مسائل، اثرات کانال کوتاه، تونل زنی از طریق اکسید گیت و نیز عدم کنترل دقیق بر روی تعداد و مکان اتم‌های ناخالصی است. این مشکلات باعث کاهش کارایی و قابلیت اطمینان مدارهای دیجیتال ساخته شده با این نوع از ترانزیستورها شده است. لذا، انقلابی در ساختار این ترانزیستورها برای پیشرفت فناوری ضروری خواهد بود.[2] در راستای کاهش مشکلات و اثرات پیش گفته استفاده از ساختارهای جدید مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این ساختارها، ترانزیستورهای فین‌فت (FinFET) است که می تواند با استفاده از فناوری

سیلیسیم بر روی عایق (SOI) و یا بالک (Bulk) معمولی ساخته شود و با ایجاد کنترل الکترواستاتیک بهتر بر روی کانال، اثرات کانال کوتاه(از جمله DIBL, GIDL) توان نشتی را به طورموثر کاهش و سرعت سوییچینگ قطعه را افزایش می دهد. این نوع از ترانزیستور به دلیل کنترل مناسب گیت بر روی کانال اثرات کانال کوتاه را کاهش داده و نیاز به ناخالص کردن شدید بدنه (کانال) را از بین می برد. علاوه بر ساختارهای متداول و متقارن، می توان از ساختارهای ترانزیستوری نامتقارن نیز جهت افزایش بهره وری ترانزیستورهای فین‌فت استفاده کرد .

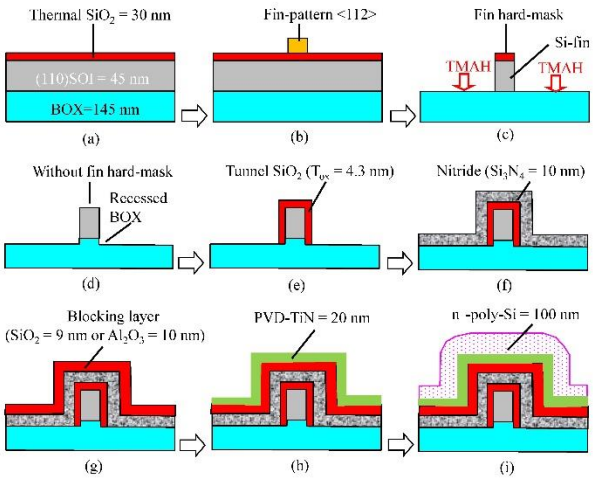
از نظر ساختاری، فین‌فت دارای دو نوع گیت مشترک Common Gate FinFET (CGFinFET) و گیت‌های مستقل از هم Independent Gate FinFET (IGFinFET) می‌باشد. IGFinFET، به دلیل داشتن پایانه از انعطاف‌پذیری بیشتری برای طراحی مدارهای دیجیتال برخوردار است، بنابراین بیشتر مورد توجه طرّاحان قرار گرفته‌است. یکی از عوامل مهم و تاثیرگذاری که در طراحی مدارها و بهینه‌سازی آنها نقش دارد، وجود مدل‌های فنّاوری پیش‌بینی کننده Predictive Technology Model (PTM) می‌باشد.[۳]

همانطور که قبلا بیان شد اینتل موفق شده است در پردازنده های ۱۰ نانومتری ۱۰۰ میلیون ترانزیستور را در هر میلی مترمکعب جای دهد که این میزان نیم درصد بیشتر از میزانی است که قانون مور پیش بینی نموده است و به خودی خود موفقیت بزرگی برای این شرکت و صنعت پردازنده محسوب میشود. روشی که اینتل برای جای دادن این تعداد از ترانزیستور را در هر میلی متر مکعب استفاده کرده است به جای تاکید بر کوچک کردن حجم استفاده از ترانزیستور های سه بعدی بوده است که FinFET نامیده میشود که در این روش ترانزیستور به گونه ای طراحی میشود که گیت های متفاوت بر روی ترانزیستور واحد و در زمان واحد بتوانند مورد استفاده قرار بگیرند .در تصویر زیر به وضوح میتوانید تفاوت بین تکنولوژی MOFSET مسطح و FinFET سه بعدی را مشاهده نمایید.



شکل ۲ : شمای سه بعدی finfet [1]

ترانزیستور FINFET فین‌فت نوعی خاص از ماس‌فت‌های با چند گیت است که با توجه به فیزیک خاص و شکل ظاهری خود در کوچک‌تر کردن ابعاد ترانزیستورها به سمت اندازه‌های کمتر از ۲۲نانومتر کمک شایانی خواهد کرد.



شکل ۳ : فرایند ساخت finfet [2]

در یک ترانزیستور FinFet ، گیت FET در سه جهت ترانزیستور می پیچد و کانال به گونه ای به سمت بالا می آید.این حالت از ترانزیستور، قابلیت کنترل بر روی هدایت کانال در سه جهت بصورت عمودی را ایجاد می کند ، که باعث می شود کنترل بر روی جریان دهی ترانزیستور نسبت به ترانزیستورهای مسطح (Planar) به مراتب بهتر شود. علت اطلاق نام FinFet ، کانال

بالا آمده ی آن است ، بدین مفهوم که، این کانال بعلت بالا آمدن همانند یک بال(Fin) شده و به همین دلیل به دو طرف گیت Fin یا بال گفته می شود. لازم به ذکر است که استفاده از چند Fin به جریان دهی بیشتر ترانزیستور کمک می کند.FinFetها، بشدت توان مصرفی را در همان سطح از کارایی، نسبت به مدارات قبلی ، کاهش می دهند. بر طبق داده های شرکت Intel ، ترانزیستورهای سه-گیته ۲۲ نانومتری ، عملکرد (performance) را ۳۷ درصد بهبود بخشیده و ۵۰ درصد توان مصرفی کمتری در عمکردی مشابه ، نسبت به ترانزیستورهای ۳۲ نانومتری مسطح ، استفاده می کنند و تنها ۲ الی ۳ درصد به هزینه ویفر اضافه می شود.

باید توجه داشت در ساختار چند گیتی این ترانزیستورها ، به دلیل افزایش تعداد گیتها ، کنترل گیت بر روی کانال افزایش پیدا میکند و اقر بار القا شده از سورس و درین در کانال کاهش می یابد که باعث توقف اثر کانال کوتاه میشود [۵].

FINFET با ساختار ترانزیستور CMOS معمولی نیز سازگار است که امکان ساخت سریع این قطعه را فراهم میسازد [۶].

مراجع

[۱] بانک جامع مقالات و پروژه های الکترونیک https://glcd.ir/finfet/

[۲] بهبود کارایی و قابلیت اطمینان با استفاده از ترانزیستورهای نانوی FinFET در مدارهای دیجیتال رضا اسدپور و علی افضلی کوشا کارشناسی ارشد، ۱۳۹۲/۰۶/۰۴

[۳] ابراهیمی, محمدجواد و مهران ابدالی، ۱۳۹۵، طراحی و شبیه سازی ترانزیستور FinFET جهت اصلاح نسبت جریان حالت روشن به جریان حالت خاموش، سومین کنگره بین المللی کامپیوتر، برق و مخابرات، تربت حیدریه، دانشگاه تربیت حیدریه،

[4] Liu, Y.; Nabatame, T.; Matsukawa, T.; Endo, K.; O'uchi, S.; Tsukada, J.; Yamauchi, H.; Ishikawa, Y.; Mizubayashi, W.; Morita, Y.; Migita, S.; Ota, H.; Chikyow, T.; Masahara, M. Comparative Study of Charge Trapping Type SOI-FinFET Flash Memories with Different Blocking Layer Materials. J. Low Power Electron. *Appl.* 2014, *4*, 153-167

[5] X. Huang, W.-C. Lee, C. Kuo, D. Hisamoto, L. Chang,J. Kedzierski, E. Anderson, H. Takeuchi, Y.-K. Choi,K. Asano, V. Subramanian, T.-J. King, J. Boker, and C.Hu, "Sub 50nm FinFET:PMOS," Int. Electron Devices Meeting Tech. Dig., Washington,pp.67, 1999

[6] Prateek Mishra, Anish Muttreja, and Niraj K. Jha," FinFET Circuit Design" , DOI 10.1007/978-1-4419-7609-3_2, Springer Science+Business Media, LLC 2011



ICIRES 2020

5th International Conference on Innovation and Research in Engineering Sciences

29 Feb. 2020 -TBILISI GEORGIA

ارائه تور جهت رفاه شرکت کنندگان حضوری کنفرانس

پنجمین کنفرانس بین المللی نوآوری و تحقیق در علوم مهندسی

گرجستان – تفلیس(۱۰ اسفند ماه ۱۳۹۸) آکادمی بین المللی علوم و مطالعات گرجستان

GIASS

www.icires.ir

info@icires.ir

UG

- امکان ثبت نام در کنفرانس به صورت حضوری و غیر حضوری
- محل برگزاری کنفرانس:آکادمی بین المللی علوم و مطالعات گرجستان
- نمایه مقالات کنفرانس در پایگاه های معتبر داخلی و خارجی

ICIRES 2019

Sponsored and Indexed by CIVILICA

CIVILICA

محور های کنفرانس

- مهندسی برق
- مهندسی مکانیک
- مهندسی عمران
- مهندسی کشاورزی
- مهندسی معماری
- مهندسی هوا و فضا
- مهندسی متالوژی و مواد
- مهندسی نفت
- مهندسی کامپیوتر
- مهندسی مکاترونیک
- مهندسی فناوری اطلاعات
- مهندسی معدن
- مهندسی صنایع
- مهندسی پزشکی
- و ...

شماره تماس دبیرخانه: +98 905 026 5032

Samgori District, Mikheil Gakhokidze St., Georgia, Tbilisi

کاربرد لنز فرنل در شرایط آب و هوایی نامساعد جهت افزایش بازده سیستم‌های فتوولتائیک

طاهره پورسیف[۱]
داریس کلاوند[۲]، روژین نظری[۲]، صدف کوچک خانی[۲]، پریسا ربیعی[۲]
راحیل اکبری[۳]

[۱]دبیر پژوهش موسسه آموزشی حضرت معصومه(س) و فارغ‌التحصیل مهندسی برق کنترل دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، t. pourseif@gmail.com

[۲]پژوهشگر مجتمع آموزشی حضرت معصومه(س)، دپارتمان الکترونیک و رباتیک، تهران، ایران

[۳]فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات دانشگاه سهند، تبریز، ایران، akbari.rahil@gmail.com

چکیده: سلول‌های خورشیدی جهت تبدیل انرژی نورانی به انرژی الکتریکی در دنیای امروز بسیار کاربرد فراوانی دارند. اما این سیستم‌ها دارای محدودیت‌هایی اعم از روزهای بارانی و ابری هستند که در این زمان‌ها، نور کمتری دریافت کرده و درنتیجه انرژی الکتریکی کمتری تولید می‌گردد. در این پژوهش به معرفی عدسی فرنل به‌عنوان یک جمع‌کننده و متراکم‌کننده منبع نور و رفع این معضل پرداخته شده است. با طراحی این لنزها بر روی سیستم‌های فتوولتائیک، حداکثر انرژی خورشیدی دریافت و تولید انرژی الکتریکی با بالاترین بازده در شرایط آب و هوایی نامساعد صورت می‌گیرد.

کلیدواژه: *انرژی خورشیدی، سلول خورشیدی، سیستم فتوولتائیک، شرایط آب و هوایی نامساعد، لنز فرنل*

۱- مقدمه

تبدیل مستقیم انرژی موجود در نور خورشید به الکتریسیته، بیش از یک قرن پدیده‌ای آزمایشگاهی بود. تحولات مهم در این زمینه از نیمه قرن بیستم آغاز گردید. در ابتدا انگیزه مهم تأمین انرژی سفینه‌های فضایی بود و به‌تدریج انرژی خورشیدی کاربردهای گسترده‌تری یافت [۱].

سلول‌های خورشیدی از اثر فتوولتائیک استفاده می‌کنند که اولین بار در سال ۱۸۳۹ توسط بکرل کشف شد. نخستین ماده جامد که تحت تابش نور، ولتاژی قابل‌توجه و وابسته به نور تولید کرد سلنیوم در سال ۱۸۷۶ بود. سپس این اثر در اکسید مس مشاهده شد و نشان داد برای کاربرد فتوولتائیک، نیم‌رساناها محتمل‌ترین گروه مواد هستند. پیشرفت‌های این فناوری با ساخت اتصال مثبت- منفی سیلیکون به‌صورت نفوذی در سال ۱۹۵۴ آغاز شد. این سلول درواقع پدر سلول-های سیلیکونی امروزی بود و با کارایی درخور توجهی نور را تبدیل به الکتریسیته می‌کرد[۲]. هم‌زمان با توسعه سلول‌های سیلیکونی نخستین سلول با اتصال ناهمگون ساخته شد که نقطه ابتدایی بر تحقیقات بسیار در زمینه سلول‌های خورشیدی لایه نازک بود. پس از دهه ۱۹۸۰ سلول‌های خورشیدی از نظر مواد و طراحی تنوع بسیاری یافتند . نخستین کاربرد عملی سلول‌های خورشیدی در اکتشافات فضایی بود. این اتفاق در سال ۱۹۵۸ رخ داد. تحولات خاورمیانه و تحریم نفتی دهه ۱۹۷۰ به همراه باور به فنا

پذیربودن سوخت‌های فسیلی، محرک اصلی گسترده‌تر شدن کاربرد سلول‌های خورشیدی به‌عنوان یک منبع انرژی عمومی بود[۳].

استفاده از سلول‌های خورشیدی در بخش‌های مختلف صنعتی، تجاری و الکتریکی دارای مزایایی همچون قابلیت اطمینان بالا، نداشتن هزینه سوخت مصرفی، نداشتن نویز و فرسایش به سبب عدم استفاده از قطعات متحرک، قابلیت اتصال به شبکه بار و امکان توسعه متناسب با افزایش بار، عمر طولانی، حداقل ۲۰ سال و...می‌باشد. اما با توجه به مزایای فوق دارای محدودیت‌هایی است که امکان استفاده در تمام شرایط محیطی را به آن نمی‌دهد. از محدودیت‌های اصلی این سلول‌ها، شب‌ها و نبود نور خورشید است که توانایی ذخیره انرژی نور در تاریکی را ندارد. محدودیت دیگر آن در روزهای ابری و بارانی بازده سلول خورشیدی کاهش یافته و تمام نور تابیده شده را نمی‌توانند ذخیره کنند[۴]. با توجه به محدودیت‌های فوق، برای رفع معضل کاهش بازدهی در روز ابری و بارانی، در این پژوهش از تمرکزکننده نور استفاده شده است. انواع مختلفی تمرکزکننده وجود دارد ولی آنچه در این مقاله مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است، استفاده از لنز فرنل به‌عنوان جمع‌کننده نور و دریافت حداکثری نور خورشید در روزهای ابری و بارانی است. این کار سبب افزایش راندمان سلول‌های خورشیدی در تمام شرایط آب و هوایی می‌شود و از نظر هزینه و اقتصادی، نصب و نگهداری بسیار به‌صرفه می‌باشد.

پیکره‌بندی این مقاله بدین‌صورت می‌باشد که: پس از مقدمه، در بخش دوم در مورد انرژی خورشیدی بحث می‌گردد. در بخش سوم اهمیت سیستم‌های فتوولتائیک بیان می‌شود و در بخش بعد روش‌های افزایش راندمان این سیستم‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. لنز فرنل در بخش پنجم معرفی می‌شود و چگونگی عملکرد، شکل کلی، مزایا و درنهایت طراحی آن برای دریافت حداکثر نور خورشید توسط سلول‌های خورشیدی در شرایط آب و هوایی نامساعد به‌طور کامل شرح داده شده است. در بخش آخر به نتیجه‌گیری عملکرد مناسب این لنز جهت بالا بردن بازده سلول خورشیدی در روزهای بارانی و ابری پرداخته شده است.

۲- انرژی خورشیدی

انرژی تشعشعی خروجی از خورشید از برهمکنش گدازان هسته‌ای به دست می‌آید . در هر ثانیه حدود ۶×۱۰^{۱۱} کیلوگرم هیدروژن با کاهش جرم خالص ۴×۱۰^{۳} کیلوگرم به هلیوم تبدیل می‌شود که از طریق رابطه $(E=mc^2)$ به ۴×۱۰^{۲} j انرژی تبدیل می‌شود. این انرژی اصولاً به‌صورت تشعشع الکترومغناطیسی در ناحیه ماوراءبنفش تا مادون‌قرمز (μm) ۰,۲-۳) گسیل می‌شود. شدت تشعشع خورشیدی در فضای آزاد در فاصله متوسط زمین از خورشید به‌صورت ثابت خورشیدی تعریف می‌شود و دارای مقدار $^{w}/_{m^2}$ ۱۳۵۳ است[۲-۳].

میزان انرژی خورشیدی پس از عبور از جو کاهش پیدا کرده و به Kw (در مترمربع) در سطح زمین و دریا می‌رسد یعنی در صورت جذب کامل انرژی خورشیدی در یک مترمربع می‌توان ۱۰ لامپ ۱۰۰ واتی را روشن کرد. ایران از مناطق بسیار مستعد برای بهره‌گیری از این انرژی است، به‌طوری‌که میزان تابش متوسط روزانه آفتاب به معادل ۴ Kw ساعت بر مترمربع می‌رسد و متوسط ساعات آفتاب از ۲۸۰۰ در سال بیشتر است که رقم در شهرهای کویری کشور مانند یزد بیشتر بوده به ۳۲۰۰ ساعت نیز می‌رسد[۵].

ازآنجایی‌که انرژی خورشیدی جزء پیوسته‌ای از زندگی روزمره روی کره زمین است، بشر از طلوع عصر فناوری سعی کرده است که توان این انرژی را برای اهداف مفید مهار نماید. روش‌های فنی گوناگونی به وجود آمده و تکمیل شده است یکی از روش‌های استفاده از انرژی خورشیدی به‌کارگیری سیستم‌های فتوولتایی می‌باشد. سیستم‌های فتوولتایی در اصل برای کاربردهای فضایی ابداع و تکمیل شده بودند. برای تبدیل انرژی نوری به الکتریکی از اثر فتوولتایی انرژی استفاده می‌شود[۱-۳].

تمام قطعات فتوولتایی تشکیل شده از یک پیوند p-n با مساحت بزرگ هستند که ولتاژ فوری تولید شده در این

پیوندگاه پدیدار می‌شود. سلول‌های خورشیدی بلورهایی هستند که از لایه‌های نازک از جنس نیمه‌رسانا ساخته شده‌اند. فوتون‌های موجود در نور خورشید انرژی موردنیاز الکترون‌ها برای جابجایی از یک‌لایه‌ی نیمه‌هادی به لایه دیگر را تأمین می‌کنند و ولت الکترون‌ها یک جریان را به وجود می‌آورند و این اثر، اثر فتوولتایی گفته می‌شود. درنهایت سلول‌های فتوولتایی به هم متصل شده و به‌صورت مدول درآورده می‌شوند. مدول‌هایی که بر روی یک صفحه نصف شده‌اند و زاویه و جهت صحیح برای حداکثر گردآوری فصلی و سالی به آن‌ها داده شده است، پانل فتوولتایی و یا شبکه فتوولتایی نامیده می‌شود. این سلول‌های خورشیدی، جریان مستقیم DC الکتریسیته را فراهم می‌کند که به کمک تبدیل‌کننده‌هایی به هر ولتاژ dc یا ac مطلوب قابل تبدیل می‌باشد و می‌تواند برای شارژ کردن باتری‌هایی که قابلیت شارژ دوباره را دارند مورد استفاده قرار گیرد[۳].

۳- اهمیت سیستم‌های فتوولتائیک

منابع انرژی فتوولتائیک یکی از تکنولوژی‌هایی اصلی جهت تأسیس انرژی در آینده است امروزه کاربرد منبع نو و پاک در حال حاضر افزایش بوده و روند همگانی نمودن آن و بهبود شرایط استفاده از آن مرتب در حال تحقیق می‌باشد. فتوولتائیک تبدیل مستقیم انرژی تابش خورشیدی به انرژی الکتریکی است. جذب نور فوتون‌ها در یک پیوند نیمه‌هادی $p-n$ بدون بایاس در شرایط معین می‌تواند باعث تولید یک جریان الکتریکی شود[۵].

ظرفیت فعلی آرایه‌های PV خورشیدی مورداستفاده در دنیا برحسب پیک وات (ظرفیت ایستگاه خورشیدی در حداکثر توان) در مقایسه با کل توان تولیدی از سایر منابع، خیلی پایین می‌باشد، ولی کاربردهای فراوانی با مزایای عالی جهت این سیستم به وجود آمده است. گسترده‌ای که در آینده، منابع توان pv به‌طور چشمگیری در آن مورداستفاده واقع می‌شوند، خانه‌ای می‌باشد ولی در برخی استفاده‌های کوچک، بهره‌گیری از pv به سمت همگانی شدن می‌رود[۴-۶].

نگرانی از وضعیت شرایط زیست‌محیطی و تمام شدن سوخت-های فسیلی نگاه‌ها را به سمت خورشید معطوف کرده است، تا از این انرژی در مقیاس‌های بزرگ استفاده گردد. سیستم‌های PV به سبب داشتن مزایای زیاد به‌سرعت در حال گسترش هستند و روزبه‌روز نقش مهم‌تری در تکنولوژی تولید توان الکتریکی بازی می‌کنند. نور خورشید یک انرژی تجدیدپذیر بوده و مسائل و مشکلات زیست‌محیطی و محدودیت‌های آشکار و پنهان سایر منابع انرژی را ندارد و لذا جذابیت آن به‌طور چشمگیری روبه افزایش است. فناوری فتوولتائیک تقویت اهمیت منابع نو در جهت دستیابی به منابعی است که سوخت‌های فسیلی فاقد آن هستند. علاوه بر مزایایی که گفته شد، مزایای دیگری مانند، کاهش هزینه‌ها و افزایش اعتمادپذیری، پاکیزگی، پایان‌ناپذیری، عدم سروصدا، عدم وجود قطعات متحرک در سیستم که سبب خوردگی و شکستگی می‌شود، تعمیرات ساده و نگهداری ساده بدون نیاز به روغن یا فیلترهای مختلف، سبب گشته استفاده از این سیستم‌ها در بخش‌های مختلفی همچون، حفاظ‌های الکتریکی در بخش کشاورزی و دامداری، سیستم‌های حافظت از آب جهت ضدعفونی و تصفیه آب آشامیدنی که این سیستم‌ها نور ماوراءبنفش را ذخیره می‌نمایند و با آن باکتری‌های آب را از بین می‌برند، برق‌رسانی روستاها، ارتباطات تلفنی و سیستم‌های کنترلی از فاصله دور، سیستم‌های توانی اضطراری، ذخیره کردن خون‌ها در یخچال و واکسن آبله برای مناطق دور و...روزبه‌روز بیشتر گردد[۵-۷].

با توجه به مزایای نام‌برده، اما سیستم فتوولتائیک دارای محدودیت‌هایی نظیر زیر می‌باشد که امکان استفاده از آن را در تمام شرایط محیطی سخت می‌کند و میزان بازدهی ان را کاهش می‌دهد.

۱- بالا بودن هزینه و قیمت اولیه تجهیزات مورداستفاده در مقایسه با سایر انرژی‌های معمول (۳۷٪ هزینه کل سیستم را آرایه خورشیدی، ۳۰٪ هزینه را باتری ذخیره‌سازی و سایر تجهیزات و سیستم کنترل مابقی هزینه را تشکیل می‌دهند[۳].

۲- پایین بودن راندمان در ساختارهای فعلی، به دلیل اینکه تمامی نور تابیده شده بر سطح پیوند جذب نگردیده و نیز سلول دارای تلفات اهمی است. ضمناً باید توجه داشت که آرایه‌های خورشیدی به‌ندرت در نقطه حداکثر توان خودکار می‌کنند.
۳- کاهش بازدهی در تأمین برق در شرایط آب و هوایی ابری و بارانی

لذا اگر به طریقی بتوان راندمان این سیستم‌ها را بالا برد، می‌توان در هزینه آن‌ها صرفه‌جویی نمود. یعنی به‌جای داشتن یک آرایه بزرگ، آرایه کوچک با همان توان خروجی را داشته باشیم. بنابراین مسئله راندمان در سلول‌های خورشیدی بسیار حائز اهمیت است. زیرا راندمان بالاتر به مفهوم کاهش ابعاد سلول‌های خورشیدی و به‌تناسب آن کاهش وزن سلول‌ها و نیز وزن سایر زیرسیستم‌های مربوط نظیر سیستم کنترل وضعیت آرایه و ساختارهای جانبی خواهد بود[۶].

بر این اساس اگر بتوان به طریقی تلفات نورانی و اهمی سلول‌های خورشیدی را کاهش داد و همچنین بر اساس سختی pv سلول حداکثر توان را به بار تحویل دهیم، استفاده بهینه‌ای از آرایه خواهیم داشت.

۴- روش‌های افزایش راندمان سیستم‌های فتوولتائیک

برای افزایش راندمان سیستم‌های خورشیدی از روش‌های متعدد (مکانیکی- الکتریکی) استفاده می‌شود که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از[۴-۷]:

- **بهبود فرآیند ساخت آرایه خورشیدی** : تاکنون تحقیقات و تلاش‌های فراوانی در جهت بهبود مواد نیمه‌رسانای بکار رفته در آرایه خورشیدی و ساخت این سلول‌ها انجام شده است.
- **کنترل سطح مؤثر تابش** : این کار با استفاده از کنترل‌کننده‌های جستجوگر انجام می‌شود.
- **افزایش تراکم نوری** : نور خورشید را می‌توان با استفاده از آینه‌ها و عدسی‌ها کانونی نمود. تراکم نوری با جانشین کردن یک سطح متراکم‌کننده به‌جای مساحت بزرگ سلول، رهیافت جالب و قابل انعطافی جهت افزایش راندمان ارائه می‌دهد.
- **استفاده از پوشش ضد بازتاب مناسب**
- **ساخت سلول‌ها با سطوح برجسته**
- **تغییر آرایش سلول‌های خورشیدی به‌صورت سری و موازی** : این کار تقریبی از حداکثر توان انتقالی را می‌دهد.
- **تغییر تعداد باطری‌ها**: این کار نیاز به مدارات سخت-افزاری زیاد و پیچیده‌ای دارد.
- **انتخاب بهینه نقطه کار سیستم خورشیدی با استفاده از دنبال‌کننده‌ها** : این وسایل، ساختارهای الکترونیکی هستند که توان خروجی آرایه را کنترل می‌کنند و لذا با این روش نقطه کار سیستم نزدیک نقطه کار بهینه سلول‌های خورشیدی انتخاب می‌شود.

۵- لنز فرنل

لنزهای فرنل یک نوع از لنزهایی هستند که توسط فیزیکدان فرانسوی آگوستین جین فرنل[۲] برای فانوس دریایی گسترش یافته است . طراحی این اجازه را به ساختمان لنزهایی با روزنه‌ی بزرگ و طول کانونی کوتاه بدون حجم ظرفیت موادی که نیازمند لنزهای با طراحی متداول هستند می‌دهد .در مقایسه با لنزهای متداول حجیم، لنزهای فرنل نازک‌تر، بزرگتر و صاف‌تر و نورهای مورب بیشتری را از یک منبع نوری دریافت می‌کند ، بنابراین اجازه می‌دهد فانوس دریایی از فاصله‌ی بیشتری دیده شود [۸].

لنزهای فرنل می‌توانند برای بزرگ کردن، تمرکز و مراحل تصویرسازی لایه‌های مسطح قالب‌گیری شوند. لنزهای فرنل

[۲] Augustin-Jean Fresnel

صنعتی و تجاری به شکل‌های مربع، مستطیل و دایره درمیایند اما آن‌ها می‌توانند با کاربردهای علمی و تولیدی شما به هر شکلی دربیایند. برخلاف لنزهای شیشه‌ای سنتی، لنزهای فرنل معمولاً از نظر قیمتی به‌صرفه‌تر و ساخته‌شده از مواد پلاستیکی سبک تا زمانی که هنوز تصویرسازی باکیفیت پیشنهاد می‌شوند هستند [۹].

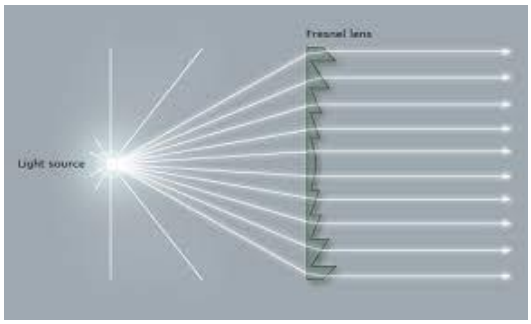
در کنار ذره‌بین‌ها استفاده و کاربردهای معمول به‌کاربرده شده‌ی لنزهای فرنل برای مخارج کلی و پروژکتورهای تلویزیون، اقلامLED مثل صفحه‌نمایش‌های بزرگ و کاربردهای لامپ‌هایی که در استفاده از نشر و منقبض کننده-ی سیستم‌ها برای جمع‌آوری نور و پروژه‌های انرژی خورشیدی شرکت می‌کنند. لنزهای فرنل می‌توانند در حرکت ردیاب، دوربین‌ها و زنگ هشدار سارق یافت شوند. به‌علاوه، لنزهای صنعتی فرنل برای چراغ دستی‌های اتوماتیک، سیستم‌های نوری فرود برای سفینه، چراغ نورافکن‌ها و برج فانوس دریایی به کار برده می‌شود شکل۱ نمایی از این لنز را نمایش داده است[۱۰].



شکل۱: لنز فرنل پلاستیکی

۵-۱ چگونگی عملکرد لنز فرنل

در ادامه نحوه تمرکز نور در لنز فرنل نشان داده شده است.



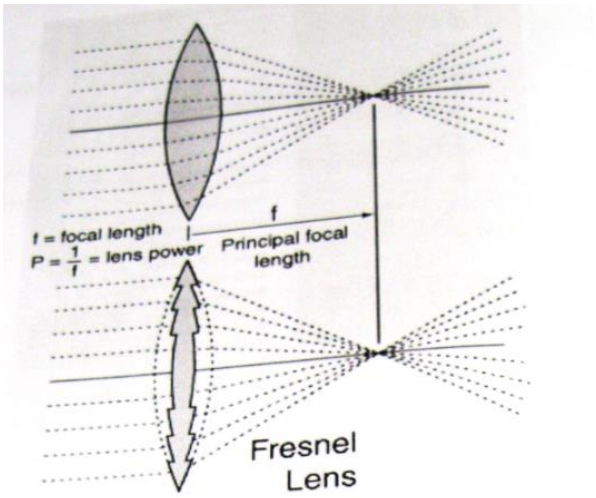
شکل۲: چگونگی تمرکز نور یک لنز فرنل

با توجه به شکل فوق، لنزهای فرنل مقدار زیادی از مواد موردنیاز در مقایسه با لنزهای کروی متداول توسط تقسیم لنزها به مجموعه‌ای از بخش‌های هم‌محور حلقه‌ایی که با نام"Fresnel zones"شناخته شده است را کاهش می‌دهد. در تئوری نواحی زیادی مثل این به‌طور نامحدود وجود دارد. در اولین تغییرات لنزها، هر منطقه عملاً منشور جدا هستند[۱۰-۱۱]. اگرچه لنزهای فرنل ممکن است مثل تکه-ایی از شیشه نمایان شوند، آزمایش دقیق‌تر زیاد بودن تکه‌های کوچک‌تر را آشکار می‌کند .ذره‌ی تکی لنزهای فرنل بعدها تولید شده، برای استفاده نورافکن ماشین، ترمز، توقف خودرو، تغییر سیگنال لنزها و غیره بوده است. در هر یک از این مناطق، ضخامت کلی لنزها کاهش می‌یابد ، تقسیم‌بندی مؤثر سطح پیوسته لنزها به مجموعه‌ای از همان انحنا ،به همراه ناپیوستگی گام‌به‌گام بین آن‌ها لنزهای فرنل می‌تواند با عنوان نظم منشورهای چیده شده در یک شکل مدور به همراه منشورها در کناره‌ها و تقریباً مرکز صاف محدب در نظر گرفته شود[۱۲].

طراحی لنزهای فرنل اجازه می‌دهد که یک کاهش اساسی در ضخامت (و همچنین در حجم و مقدار مواد)، در هزینه‌ی کاهش یافته کیفیت تصویربرداری لنزها صورت بگیرد،که چرا دقت کاربردهای تصویر مثل عکس‌برداری هنوز از لنزهای بزرگ متداول (غیر فرنلی) استفاده می‌کنند. لنزهای فرنل معمولاً از شیشه یا پلاستیک ساخته شده‌اند که در بسیاری موارد آن‌ها بسیار نازک و صاف، تقریباً منعطف به همراه ضخامت ۱به ۵ میلی‌متر هستند[۱۲].

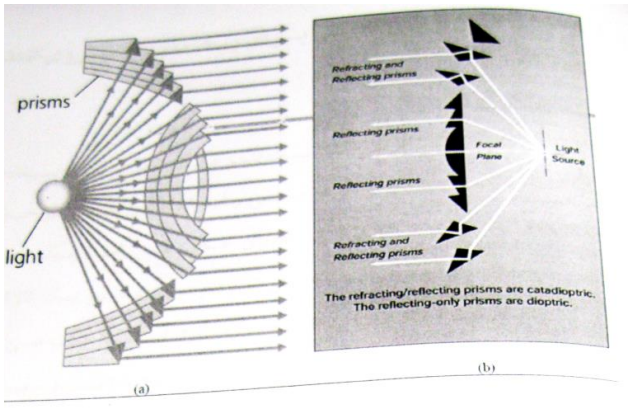
۵-۲ شکل کلی لنزهای فرنل

لنز فرنل مانند لنز معمولی است که بر روی آن حلقه‌های نازکی بریده شده است، که اگر پله‌های به وجود آمده روی آن باریک باشند سطح هر پله به‌صورت مخروطی درمی‌آید، نه کروی. این لنز به‌طور مشهود مجموعه‌ای از منشورهای زیادی است که در شکل ۳ نشان داده شده است[۱۳].



شکل۳: نمای کلی لنز فرنل

شکل۴ نیز نشان می‌دهد که لنز فرنل چگونه کار می‌کند که باریکه‌های نور را در یک نقطه متمرکز می‌کند و یک باریکه متمرکز با شدت و نور بالا به وجود می‌آورد. منشور نور را شکست داده و منعکس می‌کنند[۱۴].



شکل۴: نمایش چگونگی کارکرد لنز فرنل

در مقایسه با لنزهای معمولی که ٪۸۳ از نور عبوری خود را تلف می‌کنند، لنزهای فرنل فقط ٪۱۷، نور عبوری خود را تلف می‌کنند که بسیار قابل توجه است.

۵-۳ مزایای لنزهای فرنل

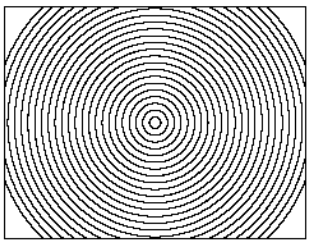
این لنزها دارای مزایای زیادی هستند که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است[۱۳-۱۵]:

۱- لنزهای فرنل می‌توانند به علت ضخامت کمتر از ۴mm در اندازه‌های بسیار بزرگ و وزن بسیار کم طراحی و ساخته شوند درنتیجه قیمت آن‌ها ارزان‌تر از عدسی‌های سنتی خواهد بود.
۲- لنزهای فرنل به علت طول کانونی کوتاه می‌توانند نقطه‌ای کوچک‌تر بر روی صفحه‌نمایش بیاندازند.
۳- لنزهای فرنل به علت وزن کم و قطر زیادی که دارند نور بیشتری از منبع می‌گیرند.

با توجه به همین مزایا، این لنزها کاربردهای بسیاری دارند که در این پژوهش به‌عنوان متراکم‌کننده نور در شرایط آب و هوایی نامساعد برای تولید انرژی الکتریکی توسط سیستم‌های فتوولتائیک استفاده شده است.

۵-۴ طراحی لنز فرنل خطی برای یک منبع نیروی الکتریکی خورشیدی

لنز فرنل یک صفحه نازک می‌باشد که یک طرف آن مسطح بوده و طرف دیگر آن شیارهای طولی ریز دارد. این لنز معمولاً از صفحات پلاستیکی آکریلیک ساخته می‌شود. سیستم لنز فرنل به علت فواید ذاتی خود به انواع دیگر برتری دارد اما عمده‌ترین مزیت آن این است که نور را متمرکز می‌کند. لنزهای صاف توسط برش شیارهای مدور هم‌مرکز به شیشه یا صفحه پلاستیکی ساخته شده‌اند . شکل۵ لنزهای صاف با برش شیاری را نمایش داده است[۱۴].



شکل۵: لنزهای صاف تولید شده توسط برش شیارهای مدور هم‌مرکز

با توجه به شکل۶، این‌گونه لنزها، با نصب آن‌ها بر روی سلول-های خورشیدی، حداکثر انرژی خورشیدی وارد به سلول را دریافت نموده و در روزهای بارانی و ابری بسیار مناسب بوده و عملکرد مناسبی نسبت به زمانی که از این لنزها استفاده نمی‌شود، دارد. شکل زیر نحوه استفاده از این لنزها را بر روی سلول‌های خورشیدی نشان می‌دهد[۱۳].



شکل۶: نصب لنز فرنل بر روی سلول خورشیدی

۶- نتیجه‌گیری

سیستم‌های PV به‌طور عمده در مناطق آفتاب خیز و در کاربردهای مقیاس کوچک و دور از شبکه قدرت و جهت تغذیه بارهای ایزوله در مکان‌های دور مورد استفاده واقع می‌شوند. با توجه به مزایای زیاد این سیستم‌ها نظیر طول عمر بالا، افزایش بازدهی، قابلیت نصب در همه مکان‌ها و تعمیر و نگهداری آسان، کاهش سروصدا، پاکیزگی و پایدار بودن، دارای محدودیت‌هایی نظیر کاهش بازدهی تولید برق در شرایط آب و هوایی ابری و بارانی می‌باشد. در این مقاله برای افزایش بازدهی در شرایط نامساعد، از لنز فرنل به‌عنوان جمع-کننده نور خورشید به‌عنوان حداکثر دریافتی و تولید نیروی الکتریکی استفاده شده است. لنزهای فرنل می‌توانند برای بزرگ کردن ،تمرکز و مراحل تصویرسازی لایه‌های مسطح قالب‌گیری شوند. لنزهای فرنل صنعتی و تجاری به شکل‌های مربع، مستطیل و دایره درمی‌آیند اما آن‌ها می‌توانند با کاربردهای علمی و تولیدی شما به هر شکلی دربیایند. برخلاف لنزهای شیشه‌ای سنتی، لنزهای فرنل معمولاً از نظر قیمتی به‌صرفه‌تر و ساخته شده از مواد پلاستیکی سبک هستند که با قرار گرفتن بر روی سلول خورشیدی، عملیات تمرکز نور خورشید را در همه شرایط اب و هوایی اعم از ابری، بارانی و... انجام می‌دهد.

۷- قدردانی

در این مقاله، از مدیریت محترم مجموعه آموزشی حضرت معصومه(س) سرکار خانم لیلا مظلومی به جهت همکاری و در اختیار گذاشتن شرایط پژوهش و دانشگاه فنی دکتر شریعتی تشکر و قدردانی می‌شود.

۸- منابع

[1] Hirschl, Ch, M. Biebl–Rydlo, M. DeBiasio, W. Mühleisen, L. Neumaier, W. Scherf, G. Oreski et al. "Determining the degree of crosslinking of ethylene vinyl acetate photovoltaic module encapsulants—A comparative study." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 116 (2013): 203-218.

[2] Louwen, Atse, Wilfried Van Sark, Ruud Schropp, and André Faaij. "A cost roadmap for silicon heterojunction solar cells." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 147 (2016): 295-314.

[3] Latunussa, Cynthia EL, Fulvio Ardente, Gian Andrea Blengini, and Lucia Mancini. "Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels." *Solar*

energy materials and solar cells 156 (2016): 101-111.

[4] Ma, Zhiwei, Huashan Bao, and Anthony Paul Roskilly. "Study on solidification process of sodium acetate trihydrate for seasonal solar thermal energy storage." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 172 (2017): 99-107.

[5] Grant, N. E., T. C. Kho, K. C. Fong, E. Franklin, K. R. McIntosh, M. Stocks, Y. Wan et al. "Anodic oxidations: Excellent process durability and surface passivation for high efficiency silicon solar cells." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 203 (2019): 110155.

[6] Besharat, Fariba, Ali A. Dehghan, and Ahmad R. Faghih. "Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21 (2013): 798-821.

[7] El-Sayed, M. M., AA Abou El-Ela, and Ragab A. El-Sehiemy. "Effect of photovoltaic system on power quality in electrical distribution networks." In *2016 Eighteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, pp. 1005-1012. IEEE, 2016.

[8] Huang, Hulin, Yuehong Su, Yibing Gao, and Saffa Riffat. "Design analysis of a Fresnel lens concentrating PV cell." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 6, no. 3 (2011): 165-170.

[9] Jing, Lei, Hua Liu, Yao Wang, Wenbin Xu, Hongxin Zhang, and Zhenwu Lu. "Design and optimization of Fresnel lens for high concentration photovoltaic system." *International Journal of Photoenergy* 2014 (2014).

[10] Qandil, Hassan, Shuping Wang, and Weihuan Zhao. "Application-based design of the Fresnel lens solar concentrator." *Renewables: Wind, Water, and Solar* 6, no. 1 (2019): 3.

[11] Zimmermann, Florian, Berit Schmitz, Lasse Klingbeil, and Heiner Kuhlmann. "GPS multipath analysis using Fresnel zones." *Sensors* 19, no. 1 (2019): 25.

[12] Kim, Jinseob, Hyuntai Kim, Gun-Yeal Lee, Juhwan Kim, Byoungho Lee, and Yoonchan Jeong. "Numerical and experimental study on multi-focal metallic Fresnel zone plates designed by the phase selection rule via virtual point sources." *Applied Sciences* 8, no. 3 (2018): 449.

[۱۳] رجایی, معراج و میترا مقنی، "افزایش راندمان سلول‌های خورشیدی با استفاده از متمرکز کننده‌های خورشیدی"، *چهارمین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران*، اصفهان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۴.

[۱۴] شفیعی، محمد و مهدوی مزده، محمد، "مقایسه بهره و بهبود عملکرد فتوولتائیک متمرکز"، چهارمین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان، ۱۳۹۴

[۱۵] خوش‌سیما، حبیب و جواد زاده، مهرزاد،" مطالعه تجربی عدسی فرنل مبتنی برثبت الگو با فاصله کانونی کوک پذیر در بلور مایع آلائیده با رنگینه آزو"، بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۵.

بیو لیزر PCO

مهران کریمیان ریزی[۱]، مریم فریور[۲]

۱ دانشجو کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی، دانشگاه تبریز،ایران، mehrankarimian97@ms.tabrizu.ac.ir

[۲] مربی سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور، شاهین شهر، ایران، farivar.maryam@yahoo.com

چکیده: اخیراً کاربرد بیو لیزرهای حلال نوری در تجزیه های زیستی مورد توجه قرار گرفته است که به دلیل مزیت آن ها در برابر روش های رایج حسگر زیستی قرار می گیرد. با استفاده از یک بلوک کریستال فوتونی با حفرات انتخابی هوا نافذ رنگ، یک بیو لیزر جدید با ساختار غیر یکنواخت حلال نوری پیشنهاد شده است، که دارای قدرت کارایی تبدیل ۲۵٪ و پهنای خط طیفی ۰/۲۴ نانومتر است. شبیه سازی ها نشان می دهد که علاوه بر این خصوصیات رضایت بخش لیزری، تراشه بیو لیزر- آزمایشگاهی پیشنهاد شده حساسیت بالایی به تغییرات زیستی بسیار کوچک دارد که ممکن است در حفرات آنها روی دهد و می تواند یک ویروس را در شعاعی به کوچکی ۱۳ نانومتر شناسایی کند.

کلیدواژه‌ها: بیو لیزر، حسگر زیستی، تراشه آزمایشگاهی، حلال نوری، کریستال فوتونی

۱-مقدمه

فوتون های نانو با حلال های میکرو - یعنی سیال نوری- تلفیق می شوند و روش جدیدی را برای اجرای ابزارهای کوچک الکترونیک نوری فراهم می‌کنند که می‌تواند از نظر درونی سازگار و قابل تنظیم باشد. خصوصیات منحصر به فرد مایع، مانند قابلیت اختلاط در سیستم های آزمایشگاه- روی یک تراشه و سازگاری با اجزای میکرو سیال موجب می‌شود تا سیستم‌های سیال زیستی در توسعه فوتون های زیستی بسیار رقابتی عمل کنند. علاوه بر این، بیشتر واکنشهای بیوشیمیایی باید در یک حلال انجام شوند، که سبب می شود سیستم سیال نوری مزیتهای پایداری در کاربرد حسگرهای زیستی داشته باشد. جدیدترین ابزاری که در این زمینه ساخته شده است بیو لیزر حلال نوری است که می تواند با دقت تغییرات را در مولکولهای زیستی اندازه گیری کند. وقتی مولکول های بیوشیمیایی یا زیستی با هم در برای محیط حاصل تلفیق می شوند، گروه جدیدی از لیزر به عنوان لیزر سیال نوری به دست می آید [۱]. تعدادی از سنسورهای زیستی سیال نوری بر اساس اصول مختلف همراه با مزایای متنوع، اشکالات، حساسیت ها و محدودیت های شناسایی در محصولات تجاری و تحقیقاتی ایجاد شده اند [۲-۷]. در میان حسگرهای غیرفعال، مواردی که بر اساس کریستالهای فوتونی (PhCs) [۲-۴] یا حلقه ارتعاش دهنده بودند، سیگنال حسی مطلوبی را نشان دادند. با این وجود، سایر انواع حسگرهای زیستی غیر فعال ممکن است سیگنال حسی و گستردگی طیفی ضعیفی را تجربه کنند [۱].

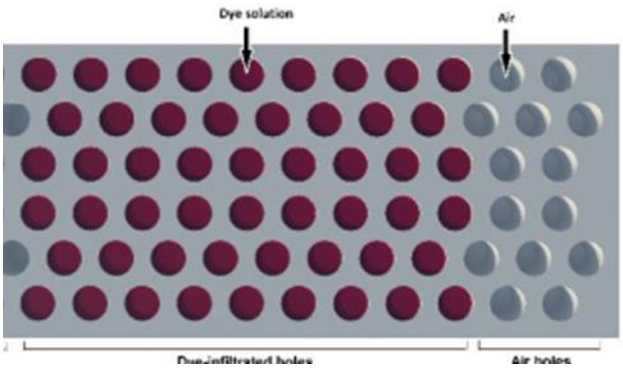
لیزرهایی با خصوصیاتی مانند تحریک گسیل، انسجام، و تقویت ارتعاش حلال های جالب توجه ی را برای غلبه بر این کمبود و بهبود حساسیت ارائه می‌دهند. در سال های اخیر، تعدادی از لیزرهای سیال نوری پیشنهاد شده اند. که توسط انواع مختلفی از حفرات نوری شناسایی می شوند، مانند شبکه بازخورد توزیع (DFB) (۸ و ۹)، فابری پروت [۱۰-۱۱] و حلقه ارتعاشی [۱۲-۱۳]. برخی از این لیزرهای سیال نوری در حسگرهای زیستی مولکولی مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر اینکه حسگر زیستی هستند می‌توانند تحلیل زیست مولکولی را تسهیل کنند.

اثر متقابل نور با یک مولکول زیستی که در داخل یک حفره قرار گرفته است شدیداً تشدید می شود. طی این افزایش، سیگنال حسی حاصل از تغییر خصوصیات نوری در پاسخ به واکنش تشدید می شود. بنابراین، خصوصیات لیزرها مانند آستانه‌های نیروی ورودی، شدت نیروی خروجی و طیف میتواند اطلاعات مفصلی را در رابطه با کوچکترین تغییرات بیوشیمیایی و زیستی که در حفرات روی می‌دهد فراهم کند [۱]. اولین بیو لیزر سیال نوری برای تحلیل واکنشهای مولکولی زیستی توسط [۱۴] مورد ارزیابی قرار گرفت و شیوه‌های گوناگونی نیز پس از آن پیشنهاد شد. یکی از چشم اندازها برای این تکنولوژی بیو لیزر سیال نوری مبتنی بر PhC است [۱] که توجه زیادی را به عنوان حسگر زیستی سیال نوری در چندین سال اخیر به خود معطوف کرده است. این سنسور زیستی سیال نوری می تواند به خوبی در ساختارهای سیال نوری مورد استفاده قرار گیرد، در حالی که دارای مزایایی چون فاکتور کیفیت بالا (Q) و حالت حجم پایین حفرات هستند که آنها را نسبت به سایر خردحفرات نوری به تغییرات محیطی حساس تر می کند.

۲- بررسی خواص مخابراتی

آسان ترین مسیر برای حسگر PhC بررسی خواص مخابراتی است زیرا ضریب شکست روکش فلزی تغییر یافته است. از سوی دیگر، در ضریب بالای PhC با شکاف کامل باند، حفره می‌تواند با حذف یک یا چند حفره توضیح داده شود. سپس طیف انتقالی حفره زمانی مشخص می شود که مولکول های زیستی را حس کند. به عبارت دیگر، وجود مولکول ها درون حفره می‌تواند از طریق بررسی تغییر کوچک طیف مشخص شود که به دلیل واکنش نور با مولکول ها ایجاد شده است. در بیو لیزر سیال نوری مبتنی بر PhC، بررسی ویژگی لیزری و همچنین طیف مخابراتی می‌تواند مفید باشد. به ویژه، جدای از تشدید سیگنال حسی، لیزر پارمترهای خروجی بیشتری دارد که می‌تواند مورد بررسی قرار بگیرد و به عنوان یک معیار سیگنال ارائه شود. بنابراین، بیو لیزرها سیال نوری تکنولوژی قدرتمندی را برای تحلیل تغیرات بیومولکول ها فراهم می‌کنند که ممکن است با حسگرهای زیستی رایج قابل شناسایی نباشد.

در این مقاله، مزایای سیال های نوری و سیستم‌های آزمایشگاه روی تراشه برای طراحی یک خردساختار بیو لیزر کوچک شده گردآوری شده است که بر اساس یک محلول دارای مولکول های رنگی آلی در یک حلال به عنوان مایع نوری و یک حفره PhC دو بعدی در شکل اصلی و بدون نقص است. ایده اولیه ما برای طراحی این دستگاه نفوذ حفرات PhC توسط محیط فعال بود. طراحی ساختار PhC در این روش که در آن تهییج نوری مواد لیزری انجام شد، چالش مهمی برای اجرای این ایده بود. به عبارت دیگر، دستگاه باید دارای قابلیت تلفیق با سیستم های تحلیل زیستی آزمایشگاه-روی یک تراشه را داشته باشد. ساختار پیشنهادی برای بیو لیزر سیال نوری به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. این بیو لیزر شامل یک ساختار PhC دو بعدی منظم است که دارای یک شبکه سه ضلعی از $a = 410$و حفرات هوا $r = 140nm$ است که در این سوسپانسیون با ۲۲۰ نانومتر ضخامت از قطعات Al2O3 تعبیه شده است، و در آن ردیف میانی در امتداد مسیر $\Gamma - K$ حذف شده است. سطح مقطع عرضی آن دارای ۶۱ – دوره طول و ۳۴ دور عرض است$(25 \times 14\mu m^2)$. فرایند ساخت با گزارشات ارائه شده از این دستگاه قابل مقایسه است [۱۵-۱۶].



شکل ۱. نمای بالایی شماتیک از بیو لیزر پیشنهاد شده

حفرات میانی ورقه PhC، با دایره های قرمز تیره در شکل نشان داده شده شده است که به محلول رنگی لیزر نفوذ می‌کنند و حاوی رودامین ۶ G حل شده در اتیلن گلیکول هستند. در این روش یک ورقه PhC با ساختار ناهمگون دوتایی تشکیل شده است چون شاخص شکست موثر در بخش میانی بالاتر از قسمتهای جانبی است. این پیکربندی امکان انتشار طیف خاصی از طول موجها را در بخش مرکزی فراهم می‌کند که اجازه انتشار در مناطق خارجی مجاور را ندارند. بنابراین، ورقه به عنوان یک

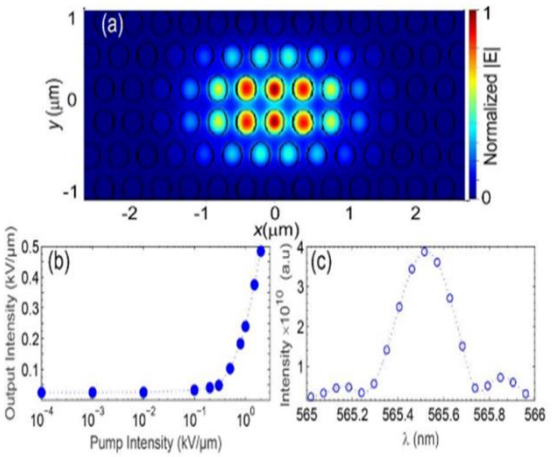
حفره فابری-پروت عمل می کند، با فراهم شدن شرایطی برای حالت های شبه فابری-پروت جهت ارتعاش در بخش میانی فراهم شدن شرایط برای $2K_xL = 2\pi m$ مطلوب است، که در آن K_x حامل موج حالتهای رزونانس، L طول ناحیه پر شده از رنگ و ... $m = 1.2.3$ یک عدد صحیح است. ساختار تراشه لیزی نشان دهنده دو مکانیزم طول موج- تنظیم است. اول اینکه، طول حفره به آسانی با تغییر تعداد حفرات نفوذ کرده در طول PhC مجدداً تنظیم می‌شود. دوم اینکه، نوع مولکولهای رنگی، حلال آن و غلظت بر گسیل طول موج از رنگ لیزری تاثیر می‌گذارد. بنابراین، نور خروجی از محلول فعال دو برابر می‌شود و حفرات لیزر می‌توانند قابل تنظیم باشند. اهداف طراحی لیزر- تراشه روی آزمایشگاه، تعیین خصوصیات درشت مولکول ها بود. وقتی یک مولکول زیستی در یک محیط فعال با سطح تراشه واکنش نشان می‌دهد، شدت تغییرات خروجی لیزر می‌تواند به سرعت شناسایی شود. علاوه بر این، وجود بیومولکولها در درون حفرات خصوصیات لیزر مانند آستانه و قدرت کارایی تبدیل را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بیان این نکته حائز اهمیت است که به دلیل نفوذ ساده و روان حفرات PhC [۱۶-۱۷]، ساخت دستگاه پیشنهاد شده ساده است.

لیزر حاصل از رودامین 6G می‌تواند توسط یک سیستم چهار سطحی باشد [۱۸]. با استفاده از روش محاسباتی محدود- تفاوت-زمان-دنباله (FDTD) [۱۹] می‌توان دینامیک لیزر را در چهار سطح اتمی مدلسازی کرد. این مدل که شامل دینامیک های پمپاژ است و اصل طرد پائولی کارایی بیشتری از مدلهای رایج میدان الکترومغناطیسی مورد استفاده برای کمپلکس لیزر زمین شناسی ایجاد شده روی بستر PhC دارد. بیو لیزر برای پمپاژ با یک TE پلاریزه 6n با پالس های طول موج ۵۳۲ نانومتر مورد توجه قرار گرفته است. در این شرایط ما Q-switched Nd را مدلسازی کردیم: پالسهای لیزر YAG، اغلب برای پمپاژ لیزرهای رنگی به صورت عملی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای یک پمپاژ موثر، ما باید واکنش پمپ نوری را با محلول رنگی در ریز حفره طراحی شده با یک نقطه اوج رزونانس تیز در طول موج پمپ افزایش دهیم.

از نظر تئوری فاکتور Q در نقطه اوج رزونانس طراحی شده حدود $6 \cdot 2 \times 10^5$ است. با محاسبه کیفیت پراکنش، می‌توانیم وجود حالت TE محدود را با این طول موج رزونانس داخل حفره نشان دهیم. شکل ۲ (الف) نشاندهنده پراکنش شدت میدان الکتریکی نوری برای این حالت است و نشان می دهد که چقدر این حالت با قدرت در میان حفرات نفوذ کرده در صفحه قرار گرفته است. همانطور که در این شکل مشخص شده است، حداکثر شدت پمپاژ در میان شش حفره داخلی صفحه قرار گرفته است. بنابراین، کارایی پمپاژ نوری افزایش یافته و فعالیت لیزیک در این ابزار کوچک تسهیل می‌شود. یک نمودار از نقطه اوج میزان خروجی در برابر شدت پمپاژ در شکل ۲ (ب) نشان داده شده اند. در این صفحه، شدت آستانه لیزر از $300 \sim V/\mu m$ و کارایی تبدیل نوری۰/۲۵ قابل مشاهده است. شکل ۲ (ج) نشان می دهد که طیف لیزر برای شدت پمپاژ $1\ KV/\mu m$ بود. نقطه اوج لیزر در مرکز طول موج $565 \cdot 5nm \sim$ روی می‌دهد که عرض خط آن $0 \cdot 24nm \sim$ است. کارایی تبدیل نوری و عرض خط طیف بیو لیزر طراحی شده در مقایسه با لیزرهای سیال رنگی خرد حفرات رایج بهبود یافته است[۲۰-۲۱]. مقایسه این طیف گسیل از رنگهای لیزری رایج نشان می دهد که استفاده از بیو لیزر دارای ساختار ناهمگون رایج موجب مشخص تر شدن بهتر انتشار و طیفی سطحی تر می‌شود. بیان این نکته حائز اهمیت است که این طیف سطحی عمدتا با حفره دارای Q فاکتور بالا حاصل می‌شود که از دو حالت پمپاژ و طول موج لیزیک پشتیبانی می‌کند.

برای ارزیابی قابلیت میکرو تراشه پیشنهاد شده در کاربردهای تحلیل زیستی، تاثیر ذرات شبه ویروس (VLP) بر خواص لیزیک ارزیابی شود. این ذرات که جایگزین اهداف نسبتاً بیولوژیک شده اند گروه بسیار مهمی از ذرات بیومولکولی هستند که حاوی پروتئین های ویروسی خود سازمان یافته هستند. VPLها دارای قابلیت هایی برای طیف گسترده‌ای از کاربرد در ساخت واکسن ها برای حامل های حفاظتی و تحویل ژن و داروهای درمانی هستند [۲۲]. در شبیه سازی ما، از ذرات شبه ویروس پاپیلوم انسانی (HP-VLP) استفاده شد که حاوی کپسیدهای دست نخورده اما فاقد مکانیزم تکثیر است و بنابراین آلوده نشده و دست زدن به آن ایمن است و می‌تواند به آسانی ویروسهای بیماری زا را مدلسازی کند [۲۳]. شکل یک HP-VLP بر اساس مدل کریستالوگرافی اشعه X توسط [۲۴] گزارش شده است و

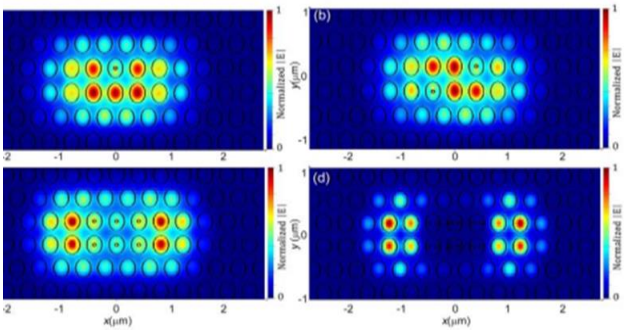
می‌تواند توسط یک هسته-پوسته کروی برآورد شود که به ترتیب شعاع هسته و پوسته $r_c = 17 \cdot 5$ و $r_s = 27 \cdot 5nm$ است [۳]. ضریب شکست در پوشش بیرونی ویروس و پوشش درونی VLP به ترتیب مشابه با مقادیر لیزرهای پروتئین جذب شده $(n_s = 1 \cdot 54)$ و بافر $(n_c = 1 \cdot 32)$ است [۲۶]. با استفاده از جمع حجم-وزن در ضریب شکست، شاخص شکست موثر در هسته-پوسته $n_{eff} \sim 1 \cdot 45$ تخمین زده شد [۳]. کارایی مدل شاخص شکست موثر برای توصیف اثر متقابل بین نور و HP-VLP تا کنون به صورت آزمایشگاهی تعیین شده است [۳]. با توجه به سطح شش حفره درونی صفحه PhC (شکل ۲ (الف)) مانند سطح نگهدارنده بیو لیزر، ما از VLP برای هر شش حفره فعال استفاده کردیم. این کار می تواند محدوده پمپ نوری را در حفره کاهش دهد. پراکندگی شدت میدان الکتریکی نوری در طول موج پمپاژ در میان PhC برای اشکال مختلف کاربرد VLP در حفرات PHC نشان داده شده است.



شکل ۲. توزیع (a) شدت میدان الکتریکی نوری داخل تراشه لیزر در طول موج پمپاژ، (b) شدت خروجی نقطه اوج لیزر در برابر شدت پمپاژ و (c) طیف لیزری در شدت پمپاژ $1\ KV/\mu m$.

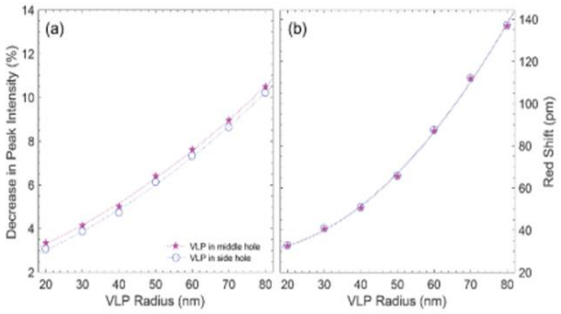
همانطور که در شکل ۳ (الف) نشان داده شده است، وجود تنها یک VLP در یک حفره تنها موجب کاهش شدت میدان نوری در آن حفره شده و از نفوذ محلول رنگی در آن حفره به طور موثری جلوگیری می کند در حالی که پنج حفره پر شده از رنگ باقی مانده، بخش بیشتری از خروجی لیزر را دارا هستند. پروفیل حالت حفره برای این مورد در واقع دو حفره نفوذ کرده با یک VLP است که در شکل ۳ (ب) نشان داده شده است. در این محلول، کاهش شدت پمپ نوری در دو حفره حاوی VLP کاملاً مشهود است که نشان می دهد محلول های رنگی در این دو حفره در معرض لیزر هستند در حالی که چهار حفره پر از رنگ باقی مانده در فعالیت لیزری شرکت می‌کنند. پروفیل حالت حفره برای شرایطی که در آن هر شش حفره تحت نفوذ VLP است در شکل ۳ (ج) نشان داده شده است، در حالی که شکل ۳ (د) نشاندهنده حالت پروفیل برای شرایطی است که در آن هر حفره با دو VLP پر شده است. همانطور که در شکل ۳ (ج) نشان داده شده است، فعالیت لیزیک در هر شش حفره پر شده با VLP تضعیف شده است در حالی که شکل ۳ (د) نشاندهنده وجود دومین VLP در هر حفره است که فعالیت لیزیک را به طور کلی در حفرات پر شده کاهش می‌دهد. این نتایج نشان می دهد که شناسایی ویروس و شاخص‌های واکنش بیولوژیک real-time به سادگی به وسیله این بیو لیزر قابل دستیابی هستند. برای اثبات این ادعا، طیف لیزر را برای هر چهار مورد شبیه سازی کردیم که در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج مختلف در شکل ۴ (الف) نشان داده شده اند. منحنی نشان دهنده شرایطی است که هیچ VLP در داخل بیو لیزر وجود ندارد. خط تیره، خط تیره-نقطه و نقطه ها نشان دهنده طیف لیزر برای این سه مورد مشاهده شده به ترتیب در شکل‌های ۳ (الف) ۳ (ب) و ۳(ج) ارائه شده اند. مقایسه این چهار منحنی نشان دهنده کاهش ۴٪ در حداکثر شدت لیزر در زمان استفاده از تنها یک VLP در یک حفره، کاهش ۱۶٪ در شدت نقطه اوج در وارد ساختن دو VLP در یک حفره و کاهش حدود ۵۰٪ شدت نقطه اوج بیو لیزر در زمان وارد ساختن یک VLP در هر شش حفره است. خطوط تیره کوتاه نیز حاکی از طیف لیزر برای مورد نشان داده شده در شکل ۳ (د) هستند که در آن دو VLP در هر یک از شش حفره وجود داشت که نشاندهنده کاهش ۷۴/۸٪ در نقطه اوج لیزر در مقایسه با شرایطی است که هیچ VLP وجود نداشت. شایان ذکر است که بین محدودیت شناسایی و توانایی شناسایی برای غلظت‌های بالای VLP در طرح تنظیم شده ما اتفاق نظر وجود دارد. در واقع در طرح پیشنهاد شده، ما بر ارتقای محدوده شناسایی برای یک VLP تنها تاکید می‌کنیم. برای اینکه این بیو لیزر قادر به تشخیص غلظتهای بالای VLP باشد باید مجدداً طراحی شود. که در آن اندازه صفحه و قطر حفرات

PhC باید طویل شده تا درنتیجه محدوده شناسایی آن تضعیف شود.



شکل ۳. پراکندگی شدت میدان الکتریکی نوری در داخل تراشه لیزر در طول موج پمپاژ در حضور (a) 1 VLP، (b) 2 VLPs و (c) 1 VLP به ازای هر ۶ حفره داخلی، (d) 2 VLPs به ازای هر ۶ حفره داخلی.

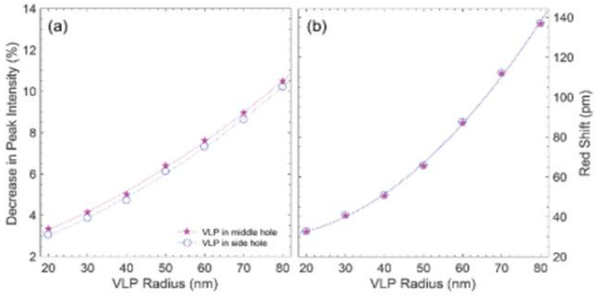
علاوه بر این، رنگ قرمز روشن در طیف بیو لیزر مشاهده شد به طوریکه تعداد VLPها در دیگر نقاط برجسته برآن تاثیر گذاشته که در شکل ۴(الف) قابل مشاهده است. یک تغییر ۰/۴ نانومتری نور قرمز در نقطه اوج طول موج برای وجود 12 VLP محاسبه شد (یعنی 2VLP/ حفره). این تغییر با آنچه که در حسگرهای زیستی غیرفعال PhC گزارش شده، قابل مقایسه است و یک تغییر نور قرمز را زمانیکه یک حفره حامل ویروس در نور لیزر قرار می‌گیرد، تجربه می‌کند [۳]. برای تعیین تاثیر اندازه ویروس بر خروجی لیزر، ما واکنش طیف خروجی بیو لیزر را بر VLPهای تنها با قطرهای مختلف در محدوده ۲۰-۸۰ نانومتر شبیه سازی کردیم که روی یکی از دو حفره PhC مرکزی قرار گرفت و در شکل ۳ (الف) نشان داده شده است.



شکل ۴. طیف لیزری بیو لیزر برای شرایط مختلف کاربرد VLP برای محیط به دست آمده.

پنج ضلعی مشاهده شده در شکل ۵ (الف) نشاندهنده کاهش شدت خروجی بیو لیزر در برابر قطر VLP است. همانطور که انتظار می‌رود، نتایج نشان می‌دهد که شدت خروجی با افزایش قطر VLP کاهش می‌یابد. در نهایت برای تغییر قابلیت بیو لیزر پیشنهادی ما جهت عمل کردن به عنوان یک حسگر زیستی نوری، ما تغییر طیف قرمز ناشی از وجود یک VLP را در یکی از شش حفره هوایی پر شده از رنگ محاسبه کردیم که در مرکز صفحه PhC قرار گرفته اند. پنج ضلعی مشاهده شده در شکل ۵ (ب) نشان می‌دهد که تغییر طیف قرمز، با قرار گرفتن نقطه اوج خروجی بیو لیزر در برابر قطر VLP قابل دستیابی است. همانطور که از داده‌های مشاهده شده در شکل می‌توان دریافت، وجود یک VLP با قطر ۲۰ نانومتر موجب کاهش حدود ۳,۴٪ در شدت نقطه اوج بیو لیزر شده و ۳۲/۶ پیکومتر تغییر طیف نور قرمز در مرکز طول موج مربوطه مشاهده می‌شود. هر دو این تغییرات حاکی از آن است که بیو لیزر PhC پیشنهاد شده قادر به شناسایی یک ویروس با قطر ۲۰ نانومتر است. با این وجود، تخمین محدوده حسگر که از شبیه سازی حاصل شده است حدود ۱۳ نانومتر است که نشان دهنده بهبود نسبی در مقایسه با شرایطی است که اخیراً برای شناسایی نانوذرات با استفاده از PhC و رزوناتورهای حالت whispering gallery گزارش شده است [۲-۲۷].

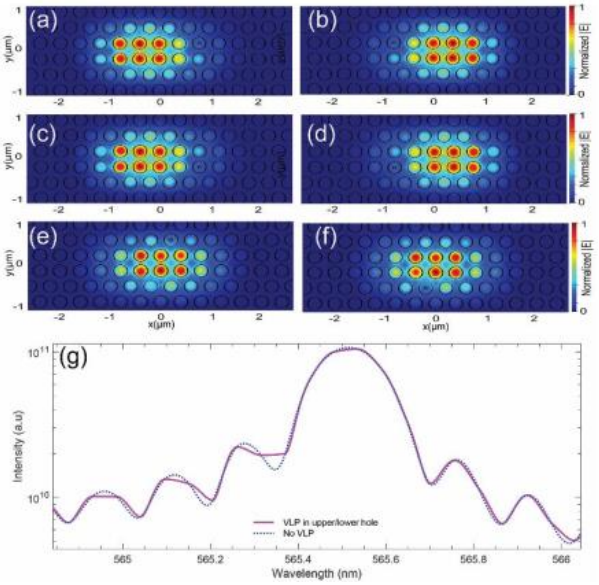
تحلیل دقیق تغییر طیف القایی VLP نشاندهنده یگ رابطه مستقیم بین انتقال به قرمز و تغییر در شاخص شکست در یک حفره فعال پر شده از رنگ می‌شود که توسط $\Delta n = n_D - (n_D v_D + n_{VLP} v_{VLP})/(v_D + v_{VLP})$ قابل تخمین است، که در آن n_D و n_{VLP} ضریب شکست و v_D و v_{VLP} حجمهای مرتبط با آن هستند. در واقع، بزرگی تغییر طیف که در شکل ۵ (ب)برای شعاع مختلف VLP نشان داده شده است رابطه خطی با مقادیر Δn محاسبه شده دارد.



شکل ۵. تاثیر شعاع و مکان VLP بر (a) کاهش شدت نقطه اوج بیو لیزر و (b) تغییر قرمز.

نمای رنگی توزیع میدان پمپاژ در شش حفره درونی در شکل ۲ (الف) نشان داده شده است، که بیان می کند دو حفره در وسط باید نسبت به سایر حفرات ارتباط بیشتری با خروجی لیزر داشته باشند. برای نشان دادن آن ما به تحقیق این سناربو پرداختیم که یک VLP تنها با قطر مختلف در یکی از چهار حفره فعال روی لبه‌ها قرار می‌گیرد و کاهش شدت نقطه اوج و تغییر طیف قرمز را محاسبه می کند. نتایج در شکل ۵ نشان داده شده است. مقایسه دوایر باز و پنج ضلعی نشان دهنده کاهش شدت نقطه اوج بیو لیزر برای شرایطی است که در آن VLP با شعاع ۲۰ نانومتر در یکی از چهار گوشه حفرات قرار گرفته است (دایره باز) که حدود ۰/۳٪ کوچکتر از شرایطی است که VLP یکسان روی یکی از دو حفره میانی قرار گرفته است (پنج ضلعی)، همانطور که در شکل ۵ (الف) مشخص شده است. این تغییر در شدت نقطه اوج از نظر عملی قابل چشم پوشی است. همچنین تغییر طیف در هر دو شرایط ثابت است که در شکل ۵ (ب) نشان داده شده است.

در نهایت ما وجود یک VLP تنها را در یکی از حفرات اطراف که با شش حفره درونی احاطه شده است مورد آزمایش قرار دادیم. شکلهای ۶ (الف)- ۶ (f) نشان دهنده توزیع شدت میدان الکتریکی پمپ های نوری در میان لیزر است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، وجود یک VLP در سمت راست حفرات (شکل 6(a) و شکل 6(c)) و حفرات سمت چپ (شکل (b) و شکل (d)) هر دو نشان دهنده تغییر در توزیع شدت میدان (ناحیه فعال) در برابر مسیر مقابل آن هستند درحالیکه تعداد حفرات فعال مرتبط با طیف لیزری بدون تغییر باقی می‌مانند. در نتیجه، طیف خروجی لیزر نیز دست نخورده باقی می ماند. دو مورد نشان داده شده در شکل ۶ (e) و شکل 6(f) نشان دهنده پراکنش میدان در شرایطی است که VLP به ترتیب در یکی از دو حفره بالا و پایین دایره احاطه شده قرار بگیرد. این دو توزیع نشان می‌دهند که وجود یک VLP در هر یک از این دوحفره موجب کاهش اندک شدت پمپاژ در نزدیکترین حفره نسبت به حفره پر شده با VLP می‌شود. با ارائه تعاریف دقیق تر می توان به مقایسه طیف لیزر برای این سناریوها پرداخت که طیف آنها فاقد VLP است. مقایسات ارائه شده در شکل ۶ (g) نشان می‌دهد که تفاوت اندکی در طیف لیزر وجود دارد.



شکل ۶ (a-f) توزیع شدت پمپ‌های میدان الکتریکی نوری در داخل تراشه لیزری. وجود VLP در یکی از حفرات احاطه شده پیرامونی در شش حفره داخلی. (g) مقایسه طیف بیو لیزر در حضور VLP در حفره بالاتر/پایین‌تر شش حفره داخلی همراه با شرایطی که هیچ VLP درداخل حفرات وجود ندارد.

به طور کلی ما نشان دادیم که یک بیو لیزر مبتنی بر PhC آزمایشگاه-روی تراشه، از یک قطعه PhC با خاصیت انتخابی حفرات پرشده از هوا-رنگی استفاده می‌کند اما هیچ نقصی ندارد. در ترکیب پیشنهاد شده، شش صفحه حفره داخلی با محلول رنگی پر شده اند که به عنوان ناحیه جذب لیزر عمل می‌کنند. این ریزذرات موجود در محلول، با نور تهییج شده و دارای یک نور قطبی هستند که در حفرات با فاکتور Q بسیار بالا در نوسان است. به دلیل کارایی روش پمپاژ عکس، رنگ های مایع به عنوان لیزر عمل کرده و نور را با طول موج بیشتری از آنچه که نور پمپ می‌کند، گسیل می‌کنند و به این ترتیب، خرد حفرات طراحی شده دارای نقطه اوج رزونانس دیگری در طول موج لیزری هستند که منجر به طیف خروجی سطحی می‌شود. محیط سیال و ساختار آزمایشگاه-روی یک تراشه در چنین بیو لیزر کوچک

شده امکاناتی را برای مشارکت مولکول های بیولوژیک در محیط مربوطه فراهم می‌کند. علاوه بر این، ویژگی‌های لیزری مطلوب با قدرت کارایی تبدیل ۲۵٪ و عرض خط طیف ۰/۲۴ نانومتر نیز حاصل شده است. علاوه بر آن، شبیه سازی‌های انجام شد تا قابلیت بیو لیزر در سیستم‌های تحلیل زیستی تعیین شود که نشان دهنده حساسیت بسیار بالای این وسیله نسبت به تغییرات بیولوژیک بسیار کوچک روی داده در حفرات است. در نتیجه، یک ویروس تنها با قطری به کوچکی ۱۳ نانومتر توسط این ابزار سیال نوری قابل تشخیص است. اشاره به این نکته حائز اهمیت است که مزیت قابل توجه این طراحی قابلیت بازسازی مجدد آن است. برای کاربردهای تحلیل زیستی با نشانگرهای بسیار زیاد، نیازمند سطح بزرگتر است که ساختار تراشه می‌تواند مجدداً طراحی شود و طول حفرات می‌تواند به راحتی با افزایش تعداد حفرات پر شده گسترش یابد.

به طور کلی، شبیه سازی، از مدل شاخص شکست موثر برای ارزیابی رابطه متقابل بین نور و شناساگر زیستی استفاده می‌کند. در واقع این مدل نمی‌تواند اثرات جذب انتخابی پذیرنده‌های زیستی را توصیف کند. به دلیل این محدودیت، مدل مربوطه فاقد قابلیت تمایز بین دو مولکول زیستی مختلف با ظاهر و ضریب شکست مشابه است. همچنین در کاربرد عملی، بیو لیزر با مولکول های پذیرنده زیستی یا شناساگر زیستی مجهز شده‌اند که آن ها را قادر می سازد تا بین بیومولکول های هدف و غیر هدف در یک نمونه تمایز قائل شوند. به عبارت دیگر، تخصصی بودن یک بیو لیزر بدون استفاده از مولکول های شناساگر زیستی و پذیرنده زیستی قادر به توصیف و ارزیابی نیست. بنابراین نمی-توانیم هیچ روش روشنی را برای تعیین خصوصیات حسگر در شبیه سازی خود بررسی کنیم. جدای از روشهای عملی برای به دست آوردن HP-VLP در ساختار کریستال فوتونی و فرایند عملیاتی مرتبط با آن که در (۳) گزارش شده است، به دلیل محیط سیالی، بیشتر انواع مولکول های شناساگر زیستی یا بیومولکولی در نمونه‌های سیال به آسانی به ساختار تراشه-روی یک آزمایشگاه پیشنهاد شده متصل شود. علاوه بر این، اتیلن گلیکول اجازه متصل شدن همه انواع ذرات الکلی-سریع زیستی را به ناحیه بیو لیزر را می‌دهد.

مراجع

[1] X. Fan, S.-H. Yun, The potential of optofluidic biolasers, Nat. Methods., 11 (2014) 141-147.

[2] C. Wang, Q. Quan, S. Kita, Y. Li, M. Loncˇar, Single-nanoparticle detection with slot-mode photonic crystal cavities, Appl. Phys. Lett., 106 (2015) 261105.

[3] S. Pal, A.R.Yadav, M.A. Lifson, J. E.Baker, P. M.Fauchet, B. L.Miller, Selective virus detection in complex sample matrices with photonic crystal optical
cavities, Biosens. Bioelectron, 44 (2013) 229-234.

[4] S. Arafa, M. Bouchemat, T. Bouchemat, A. Benmerkhi, A. Hocini, Infiltrated photonic crystal cavity as a highly sensitive platform for glucose concentration detection, Opt. Commun, 384 (2017) 93-100.

[5] Edward P. Furlani, R. Biswas, A.N. Cartwright, N.M. Litchinitser, Antiresonant guiding optofluidic biosensor, Opt. Commun, 284 (2011) 4094-4098.

[6] J. Wang, Z. Yao, A.W. Poon, Integrated optofluidic label-free biosensors using a silicon-nitride-based coupled-resonator optical waveguide, 2016, pp.975014-975014-975010.

[7] M. Li, X. Wu, L. Liu, X. Fan, L. Xu, Self-Referencing Optofluidic Ring Resonator Sensor for Highly Sensitive Biomolecular Detection,Analytical Chemistry, 85(2013) 9328-9332.

[8] C. Vannahme, M.B. Christiansen, T.Mappes, a.A. Kristensen, Optofluidic dye laser in a foil, Opt. Express 18 (2010) 9280-9285.

[9] M. Karl, G.L. Whitworth, M. Schubert, C.P. Dietrich, I.D.W. Samuel, G.A. Turnbull, a.M.C. Gather, Optofluidic distributed feedback lasers with evanescent
pumping: reduced threshold and angular dispersion analysis, Appl. Phys. Lett., 108 (2016) 261101.

[10] L.Yuan, J.Huang, X. Lan, H. Wang, L. Jiang, a.H. Xiao, All-in-fiber optofluidic sensor fabricated by femtosecond laser assisted chemical etching, Opt. Lett,39 (2014) 2358-2361.

[11] F. Simoni, S. Bonfadini, P. Spegni, S.L. Turco, D.E. Lucchetta, a.L. Criante, Low threshold Fabry-Perot optofluidic resonator fabricated by femtosecond laser micromachining, Opt. Express, 24 (2016) 17416-17423.

[12] S.I. Shopova, J.M. Cupps, P. Zhang, E.P. Henderson, S. Lacey, a.X. Fan, Opto-fluidic ring

resonator lasers based on highly efficient resonant energy transfer, Opt. Express, 15 (2007) 12735-12742.
[13] Y. Sun, J.D. Suter, a.X. Fan, Robust integrated optofluidic-ring-resonator dye lasers, Opt. Lett, 34 (2009) 1042-1044.
[14] Y.Sun, X.Fun, Distinguishing DNA by analog-to-digital-like conversion by using optofluidic lasers, Angew. Chem. Int. Ed. Engl, 51 (2012) 1236–1239.
[15] J. Li, T.P. White, L. O'Faolain, A. Gomez-Iglesias, T.F. Krauss, Systematic design of flat band slow light in photonic crystal waveguides, Optics Express, 16 (2008) 6227-6232.
[16] C. L. C. Smith, U. Bog, S. Tomljenovic-Hanic, M. W.Lee, D. K. C. Wu, L. O'Faolain, C. Monat, C. Grillet, T.F. Krauss, C. Karnutsch, R. C. McPhedran, B. J.Eggleton, Reconfigurable microfluidic photonic crystal slab cavities, Opt. Express, 16 (2008) 15887-15896.
[17] A.C. Bedoya, P. Domachuk, C. Grillet, C. Monat, E.C. Mägi, E. Li, B.J. Eggleton, Reconfigurable photonic crystal waveguides created by selective liquid infiltration, Opt. Express, 20 (2012) 11046-11056.
[18] J.T. Verdeyen, Laser Electronics, 3rd Edition ed., Prentice Hall2000.
[19] S.-H. Chang, A. Taflove, Finite-difference time-domain model of lasing action in a four-level two-electron atomic system, Opt. Express, 12 (2004) 3827-3833.
[20] B. Helbo, A. Kristensen, A. Menon, A micro-cavity fluidic dye laser, J. Micromech. Microeng, 13 (2003) 307.
[21] H. Zhou, G.g. Feng, K. Yao, C. Yang, J. Yi, a.S. Zhou, Fiber-based tunable microcavity fluidic dye laser, Opt. Lett, 38 (2013) 3607.
[22] L.F.P. III, D.I. Lipin, D.-H. Tsai, M.R. Zachariah, L.H.L. Lua, M.J. Tarlov, A.P.J. Middelberg, Quantitative Characterization of Virus-like Particles by
Asymmetrical Flow Field Flow Fractionation, Electrospray Differential Mobility Analysis, and Transmission Electron Microscopy, Biotechnol. Bioeng., 102 (2009) 845-855.
[23] M.J. Serpe, Y. Kang, Q.M. Zhang, Photonic Materials for Sensing, Biosensing and Display Devices, 1 ed., Springer International Publishing2016.
[24] C.R. Mace, R.C. Rose, B.L. Miller, Tracking serum antibody response to viral antigens with arrayed imaging reflectometry, 2009, pp. 71670H-71670H-71678.
[25] K.L. Prime, G.M. Whitesides, Self-assembled organic monolayers: model systems for studying adsorption of proteins at surfaces, Science, 252 (1991)1164.

ارائه روش جدید جهت بهینه کردن هزینه تولید میزان بار ژنراتور و حل مسئله تعهد واحد با استفاده از الگوریتم ژنتیک

حامد یاوری[۱]، محسن نورمندی پور[۲] و سید رامین موسوی[۳]

[۱] شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان، H_yavari61@yahoo.com

[۲] شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان ، m.noormandipoor@gmail.com

[۳] شرکت کیان حدید سیرجان، raminmoosavi20@yahoo.com

چکیده: این مقاله یک روش جدید جهت حل مسئله تعهد واحد و کاهش هزینه تولید میزان بار ژنراتور برای تولید واحدهای تولیدی، برای هر ساعت در یک روز، پیشنهاد می‌کند. مسئله تعهد واحد با در نظر داشتن هزینه تولید و هزینه گذرا، با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل و بهینه شده است. راه‌حل مسئله باید هم قیود ژنراتور و هم قیود سیستم را رعایت کند. در این مقاله الگوریتم پیشنهادی تشریح شده و به سیستم تست ۳۹ باس ***IEEE*** اعمال می‌شود. درنهایت نتایج به‌دست‌آمده با نتایج حاصل از دیگر تکنیک ها مقایسه می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: *تعهد واحد، هزینه گذرا، الگوریتم ژنتیک*

۱- مقدمه

تعهد واحد (UC) یک مسئله بهینه سازی عدد صحیح مختلط غیرخطی است که کل تقاضا در سیستم تست را به همه واحدهای تولیدی با حداقل هزینه عملیاتی تخصیص می‌دهد. هزینه‌های عملیاتی عبارت‌اند از: هزینه تولید و هزینه انتقال رعایت قیدها، بار کل، تلفات سیستم و الزامات رزرو در هر دوره. مسئله US باید حالت روشن/خاموش هر واحد تولیدی را در هر ساعت از دوره برنامه‌ریزی تعیین کرده و ظرفیت تقا ضا و رزرو را در میان واحد متعهد به‌طور بهینه تخصیص دهد. UC مهم‌ترین کار در بهره‌برداری از سیستم قدرت است. حل مسئله UC برای سیستم‌های قدرت پیچیده تر بوده و پیچیدگی مسائل UC با افزایش تعداد واحدها به‌طور نمایی افزایش می‌یابد.

تکنیک‌های حل متعددی برای حل مسئله UC در کمترین هزینه پیشنهاد شده‌اند. بااین‌حال، بین کیفیت حل و راندمان محاسباتی آن‌ها تفاوت وجود دارد. این تکنیک ها به دو رویکرد قطعی و جستجوی تصادفی تقسیم می‌شوند. رویکردهای قطعی عبارت‌اند از: برنامه‌نویسی دینامیک (DP)[۱]، برنامه‌نویسی دینامیک ا صلاح شده (MDP)[۲]، آزاد سازی لاگرانژی (LR) [۳]، آزادسازی لاگرانژی بهبودیافته (ILR)[۴]، تکامل تفاضلی آزادسازی لاگرانژی (LRDE)[۵]. این روش‌ها در حل سیستم‌های قدرت با مقیاس متوسط ساده، دقیق و سریع هستند. این روش‌ها دارای مشکلات همگرایی، کیفیت حل پایین و پیچیدگی هستند. الگوریتم‌های جستجوی تصادفی یا ابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک [۷]، جستجوی ممنوع [۸]، بهینه‌سازی ازدحام ذرات ترکیبی مؤثر[۹]،PSOگسسته[۱۰] ، PSO هیبرید [۱۱]، PSO تطبیقی فازی [۱۲]، برنامه‌نویسی تکاملی [۱۳]، PSO عدد صحیح مخلوط[۱۶]، PSO چندهدفه[۱۷]، قادرند در بازه زمانی کوتاه‌تری نسبت به تکنیک‌های بهینه‌سازی سنتی عمل بهینه‌سازی را انجام دهند. با استفاده از دو نوع از الگوریتم‌ها بالا، چندین الگوریتم ترکیبی پیشنهاد شده‌اند. این روش‌ها قادرند با هر دو قید مخلوط خطی و غیرخطی کار کنند و حل‌های بهینه بسیار کارآمدی ارائه دهند. بااین‌وجود، همه این الگوریتم دارای نقطه‌ضعف دقت پایین هستند. با افزایش اندازه مسئله و تعداد واحدهای تولیدی، زمان محاسباتی و کیفیت حل‌های به‌دست‌آمده تضعیف می‌شوند.

در این مقاله، با تولید همه حالت‌های ممکنِ هر واحد برای هر

ذره در هر بازه زمانی، یک تکنیک جدید پیشنهاد شده است. این حالت‌های ذره‌ها را می‌توان با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه کرد. به‌منظور تائید کارایی الگوریتم پیشنهادی، این الگوریتم را به سیستم تست ۳۹ باس IEEE (سیستم نیوانگلند) که شامل ۱۰ واحد تولیدی است اعمال نمودیم.

۲- فرمولاسیون مسئله

هدف اصلی در مسئله UC کمینه کردن هزینه عملیاتی کل است؛ هزینه عملیاتی مجموع هزینه تولید، هزینه راه‌اندازی و هزینه خاموشی است. این تابع را می‌توان با در نظر داشتن همه قیود ژنراتور و سیستم بهینه ساخت.

۲-۱- هزینه تولید

مؤلفه اصلی تابع هدف مسئله UC، کمینه کردن هزینه کل با در نظر داشتن مجموعه‌ای از محدودیت‌ها است. هزینه تولید، PCi برای واحد i در هر زمان دلخواه تابعی است درجه دوم از توان خروجی ژنراتور، Pi:

$$P_i^2 b_i + a_i = PC_i \qquad (۱)$$

ai، bi و ci ضرایب هزینه برای واحد i هستند. Pi توان تولیدی واحد متعهد i برحسب MW است.

۲-۲- هزینه راه‌اندازی

مؤلفه دوم در تابع هدف هزینه راه‌اندازی است که وابسته به بازه زمانی خاموشی (OFF time)، TOFF می‌باشد. هزینه راه‌اندازی را می‌توان از دو روش محاسبه کرد، هزینه راه‌اندازی نمایی هزینه راه‌اندازی سرد/گرم اگر زمان راه‌اندازی سرد کمتر از بازه زمانی خاموشی TOFF باشد، هزینه راه‌اندازی به‌صورت هزینه آغاز گرم در نظر گرفته می‌شود، در غیر این صورت به صوت هزینه سرد در نظر گرفته می‌شود. هزینه راه‌اندازی SCi در هر زمان دلخواه t از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SC_i = \begin{cases} \sigma_i + \sigma_i\left(1 - e^{(-T_i^{off}/\tau_i)}\right) \\ \sigma_i \end{cases} \qquad (۲)$$

$$\sigma_i = \begin{cases} \text{cold start cost, } CSC_i & \text{when } T_i^{off} \geq CT_i \\ \text{hot start cost, } HSC_i & \text{when } T_i^{off} < CT_i \end{cases} \qquad (۳)$$

$$T_i^{off} = \begin{cases} |INS_i| + D_i^{off} \\ D_i^{off} \end{cases} \qquad (۴)$$

HSCi هزینه راه اندازی گرم، CSCi هزینه راه اندازی سرد و ثابت زمانی خنک‌سازی است. CTi زمان آغاز سرد است، INSi حالت اولیه واحد i و Dioff بازه زمانی خاموشی قبل از متعهد شدن واحد i است.

۲-۳- هزینه خاموشی

هزینه خاموشی را می‌توان به‌صورت یک هزینه ثابت نشان داد، که شامل هزینه پرسنل و هزینه نگهداری بوده و بسیار کمتر از هزینه راه اندازی می‌باشد. لذا در این مقاله از هزینه خاموشی صرفه نظر شده است.

۲-۴- تابع هدف

نهایت، تابع هدف مسئله UC، کمینه کردن هزینه تولید، هزینه انتقال و هزینه خاموشی است. هزینه خاموشی برای سیستم تست موردنظر در این مقاله قابل‌چشم‌پوشی است. تابع بهینه‌سازی کلی بدین‌صورت است:

$$F = \sum_{j=1}^{t}\left[\left[\sum_{i=1}^{N} PC_i\right]u_{ij} + \left[\sum_{i=1}^{N} SC_i\right]u_{ij}\left(1 - u_{ij-1}\right)\right] \qquad (۵)$$

به صورتی که uij یک متغیر باینری است که حالت روشن/خاموش واحد i در زمان j را نشان می‌دهد. اگر واحد i در زمان t متعهد بود uij=1، در غیر این صورت uij=0. Pdj

تقاضای کل در زمان j و K ضریب جریمه هستند. هدف کلی کمینه کردن هزینه با حفظ قیدهای سیستم و ژنراتورها است.

۲-۵- قیدهای مسئله

مسئله UC را باید هم‌زمان با رعایت برخی محدودیت‌ها بهینه کرد، که وابسته به سیستم موردمطالعه هستند. قیدها را به دو دسته قیدها سیستم و قیدهای ژنراتور دسته‌بندی می‌کنیم. قیدهای ژنراتور شامل حدود تولید، حداقل زمان روشن/خاموش و قیدهای راه اندازی می‌باشد. این قیدها وابسته به بازه‌های زمانی ON/OFF می‌باشند.

۲-۶- تلفات توان

تلفات توان را می‌توان با استفاده از ضرایب اتلاف سیستم تست به دست آورد. ضرایب اتلاف بر اساس داده‌های خط و باس محاسبه می‌شوند. تلفات برای هر حالت ذره محاسبه شده و به تقاضای بار کل اضافه می‌شوند.

۳- الگوریتم ژنتیک

تکنیک جستجو در علم رایانه برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی مدل، ریاضی و مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم های تکاملی است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی فرگشتی مانند وراثت، جهش زیست‌شناسی و اصول انتخابی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌شود. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگر سیون ه ستند. در مدل سازی الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به‌عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مسئله‌ای که باید حل شود دارای ورودی‌هایی می‌باشد که طی یک فرایند الگوبرداری شده از تکامل ژنتیکی به راه‌حل‌ها تبدیل می‌شود سپس راه‌حل‌ها به‌عنوان کاندیداها توسط تابع ارزیاب (Fitness Function) مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد الگوریتم خاتمه می‌یابد. به‌طورکلی یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش‌های آن به‌صورت فرایندهای تصادفی انتخاب می‌شوند که این الگوریتم‌ها از بخش‌های تابع برازش، نمایش، انتخاب و تغییر تشکیل می‌شوند. هرگاه یکی از سبک‌های موجود در ستون سبک‌ها و قالب‌بندی‌ها را با ماوس انتخاب کنید، سبک و قالب‌بندی قسمتی که مکان‌نما روی آن قرار دارد مطابق با سبک انتخاب شده می‌شود[۱۹].

۳-۱- فرمولاسیون الگوریتم ژنتیک

در این الگوریتم، مسئله US با تولید حالت‌های منطقی برای هر قسمت حل می‌شود. قسمت‌ها با on/off که بیانگر حالت ژنراتور در هر ساعت از بازه زمان‌بندی است نشان داده می شوند. برای هر قسمت حداکثر n^2 حالت منطقی با اعداد صفر و یک وجود دارد. عدد ۱ بیانگر حالت روشن، و عدد صفر بیانگر حالت خاموش واحد هستند.

بگذارید پنج واحد را در نظر بگیریم. هر قسمت دارای حداکثر ۲۵ حالت است. تعداد حالت‌های منطقی ممکن است بر اساس حداقل زمان روشن بودن (MUTi) و حداقل زمان خاموشی (MDTi) تغییر کند. اگر برای واحد ۱، MUT سه ساعت باشد و این واحد تعهد برای کار در ساعت هفتم داده باشد، این واحد تا ساعت دهم باید بار را تغذیه کند، که در آن شرایط قسمت از ساعت هفتم تا دهم تنها دارای ۲۴ حالت خواهد بود. لذا اینجا n بیانگر واحدهای تولیدی متغیر است. اگر ۴۰ ذره در نظر بگیریم، حداکثر اندازه جمعیت ۲۵*۴۰ باحالت‌های مختلف در هر بازه خواهد بود.

۳-۲- روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی *UC*

در این الگوریتم، هر مجموعه از قسمت‌ها به‌طور تصادفی در فضای تصمیم تولید می‌شوند. هر قسمت دارای مقداری سرعت برای حرکت به سمت مینیمم محلی است. مینیمم محلی در حافظه ذخیره می‌شود، و دوباره قسمت‌ها موقعیت خود را تغییر می‌دهند و با سرعت‌های مختلف به سمت مینیم عمومی حرکت می‌کنند تا نهایتاً در حداکثر تعداد تکرار به مینیمم عمومی دست یابند.

۳-۳- فرآیند بهینه‌سازی را می‌توان در گام‌های زیر توصیف کرد:

گام ۱: تولید حالت‌های منطقی

در ابتدا داده‌های ورودی از سیستم تست گرفته می‌شود. حالت اولیه و حداقل زمان‌های روشن/خاموش با هم مقایسه می‌شوند.

حالت اولیه "-ve" نشـان می‌دهد که واحد روشـن اسـت. اگر باشد، واحد i ممکن است برای بازه زمانی اول روشن یا خاموش باشـد، در غیر این صـورت آن واحد باید خاموش باشـد. به‌طور مشـابه، اگر باشـد، واحد i ممکن اسـت برای بازه زمانی اول روشن یا خاموش باشد، در غیر این صورت آن واحد باید روشن باشد. طبق فرآیند بالا حالت متغیر ژنراتورهای به دست می‌آید.

گام ۲: تولید ذرات اولیه

پس از تولید حالت‌های منطقی برای هر قسـمت، حالت‌های قسـمت‌ها در بین حدود مشـخص حداکثر و حداقل سـرعت و موقعیت ایجادشـده و مقداردهی اولیه می‌شـوند. یک مقدار فیتنس با ا ستفاده از معادله (۵) برای همه حالت‌های قسمت‌ها محاسبه می‌گردد. قیدهای مسئله باید برای هر بازه بررسی‌شده و ضریب جریمه (k) به تابع بهینه سازی به‌منظور متعادل سازی بار اضـافه می‌گردد. بهترین مقدار فیتنس برای همه حالت‌های قسمت‌ها مورد جستجو قرارگرفته و بهترین مقدار محلی نامیده می‌شود و در تکرار اول حکم بهترین مقدار عمومی را دارد.

گام ۳: فرآیند آغاز تکرار

با در نظر گرفتن بهترین مقدار محلی به‌عنوان بهترین مقدار عمومی برای تکرار اول، سرعت به‌روز شده و سپس موقعیت هر قسـمت با اسـتفاده از معادلات (۲) و (۳) به‌روز خواهد شـد. سرعت‌ها و موقعیت‌های جدید هر ذره با قیود سرعت و موقعیت تطبیق داده می شوند. اگر موقعیت/ سرعت قسمت X کمتر از قید حداقل مقدار موقعیت/سـرعت قسـمت بود، مقدار سرعت/موقعیت با همان حد پایین به‌روز می شود. با ا ستفاده از معادلات (۲) و (۳) حالت هر قسمت با موقعیت‌ها و سرعت‌های جدید به‌روز می‌شـود. دوباره با اسـتفاده از رابطه (۵) مقدار فیتنس برای هر قسمت محاسبه می‌گردد. بهینه عمومی مورد جستجو قرارگرفته و دوباره سرعت و موقعیت به‌روز می شوند. این فرآیند تا رسیدن به تکرار بیشینه تکرار می‌شود.

گام ۴: یافتن هزینه کل

پس از یافتن بهترین مقدار هزینه در ساعت اول، گام ۱ با اضافه کردن حالت همه واحدها در سـاعت اول به حالت اولیه تکرار می شود، سپس با ا ستفاده از حالت به‌روز شده هر واحد همه گام‌ها اجرا می‌شوند. همین فرآیند برای همه زمان‌ها تکرار شده و هزینه کل به دست می‌آید.

۴- سیستم تست

سـیسـتم ۳۹-باس IEEE حاوی ۳ ژنراتور و بارهای مختلف در هر ساعت از روز می‌باشد. برای این سیستم، هزینه راه اندازی با اسـتفاده از روش هزینه راه اندازی نمایی محاسـبه می‌شـود. بازه‌های زمانی روشـن و خاموش برای هر واحد در جدول ۱ نشان داده‌شده است. هزینه تولید از رابطه (۱) محاسبه می‌شود و محاسبه هزینه راه اندازی به‌صورت نمایی مقدار پیچیده است زیرا وابسته به مدت‌زمان خاموشی هر واحد می‌باشد.

محاسـبه بازه زمانی خاموشـی نسـبت به حالت اسـتاندارد پیچیده‌تر بوده و بدین ترتیب محاسـبه می‌گردد. در ابتدا حالت اولیه هر واحد بررسی می شود، اگر در مد خاموش بود، این بازه خاموش اولیه به مدت‌زمان‌هایی که واحد در پیش از زمان تعهد خاموش است اضافه می‌گردد.

جدول۱: مدت‌زمان روشن / خاموش ۱۲ ساعته

T	واحد برنامه	مدت‌زمان روشن			مدت‌زمان خاموش		
		U1	U 2	U 3	U1	U 2	U3
۱	۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۸	۸		۵	۵	٦
۲	۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۸	۸		۵	۵	٦
۳	۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۹	۹		٦	٦	۷
٤	۱۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰	۱۰		۷	۷	۸
٥	۱۱۰۰۰۱۰۰۰۰	۱۱	۱۱		۸	۸	۹
٦	۱۱۰۱۰۱۰۰۰۰	۱۲	۱۲		۹	۹	۱۰
۷	۱۱۱۱۰۰۰۰۰۰	۱۳	۱۳		۱۰	۱۰	۱۱
۸	۱۱۱۱۰۰۰۱۰۰	۱٤	۱٤	۱	۱۱		۱۲
۹	۱۱۱۱۰۱۰۱۰۰	۱٥	۱٥	۲			۱۳

		۳	۱۶	۱۶	۱۱۱۱۱۱۰۰۰۰	۱۰
		٤	۱۷	۱۷	۱۱۱۱۱۱۰۱۰۰	۱۱
		٥	۱۸	۱۸	۱۱۱۱۱۱۰۱۱۰	۱۲

۵- نتایج شبیه‌سازی

محاسبه هزینه راه اندازی به‌صورت نمایی تا حدی از روش محاسبه هزینه راه اندازی گرم/سرد پیچیده‌تر است، زیرا وابسته به بازه زمانی خاموش بودن هر واحد می‌باشد.

در این مقاله، زمان‌های TOFF و زمان‌های TON در جدول ۱ نشان داده‌شده‌اند. در ابتدا، واحد ۱ و واحد ۲ در حالت روشن بوده و باقی واحدها در حالت خاموش می‌باشند. برای زمان TOFF در ساعت اول، واحدهای ۱ و ۲ به‌عنوان واحدهای متعهد در نظر گرفته شده و بار ۷۰۰ MW را به‌صورت اقتصادی تغذیه می‌کنند. این دو واحد به مدت ۵ ساعت پیش از بازه زمانی اول روشن هستند، هیچ واحد جدیدی در ساعت اول متعهد نشده و لذا هزینه راه اندازی صفر است. برای سه ساعت اول هیچ واحد جدیدی اضافه نمی‌شود و هزینه راه اندازی برابر با صفر خواهد بود. در ساعت چهارم، برای بار ۹۵۰ MW، واحد ۳ به سیستم اضافه‌شده و شروع به تغذیه می‌کند. واحد ۳ از شش ساعت گذشته خاموش بوده و پس از سه ساعت اضافه‌شده است. کل بازه خاموشی واحد ۳، ۷ ساعت می‌باشد. هزینه راه اندازی نمایی واحد ۳ که از رابطه (۲) محاسبه‌شده برابر است با 331.5362$. واحد ۳ بار را به مدت سه ساعت تغذیه کرده و به مدت دو ساعت خاموش خواهد بود. دوباره همین واحد در ساعت نهم برای بار ۱۳۰۰ MW با زمان TOFF دو ساعت و هزینه راه اندازی 277.4605$ متعهد می‌شود. برای محاسبه هزینه راه اندازی از همین فرآیند برای هر ساعت و هر واحد استفاده می‌شود. نتایج در جدول ۲ ارائه‌شده‌اند.

جدول ۲: هزینه شروع برای تست سیستم

T	واحدهای عمومی		
	۱	۲	۳
۱	۰	۰	۰/۰۰۰۰
۲	۰	۰	۰/۰۰۰۰
۳	۰	۰	۰/۰۰۰۰
٤	۰	۰	۰/۰۰۰۰
٥	۰	۰	۰/۰۰۰۰
٦	۰	۰	۰/۰۰۰۰
۷	۰	۰	۱۰۹۷/۷٥۲۳
۸	۰	۰	۰/۰۰۰۰
۹	۰	۰	۰/۰۰۰۰
۱۰	۰	۰	۰/۰۰۰۰
۱۱	۰	۰	۰/۰۰۰۰
۱۲	۰	۰	۰/۰۰۰۰

نتایج برای سیستم ۳۹ باس IEEE در جدول ۳ ارائه‌شده‌اند. نتایج شامل هزینه تولید، هزینه راه اندازی، تولید هر واحد و برنامه‌ریزی تعهد در هر ساعت می‌باشند. مطابق با نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، این رویکرد در مقایسه با دیگر روش‌ها بهترین هزینه بهره‌برداری را ارائه می‌کند. با افزایش تعداد واحدهای تولیدکننده، زمان محاسباتی به‌طور نمایی افزایش می‌یابد. لذا این روش در استفاده دز سیستم‌های قدرت با اندازه متوسط بهترین گزینه است.

جدول۳: مقایسه روش‌های مختلف با روش پیشنهادی

روش	هزینه کل($)
HPSO[11]	٥۷٤۱٥۳
MIPSO[16]	٥۷۲۱۹۲
MOPSO[17]	٥٦۸٦۳٥
SA[14]	٥٦٥۸۲۸
GA[7]	٥٦٥۸۲٥
DPSO[10]	٥٦٥۸۰٤

MDP[2]	٥٦٥١١٧
EHPSO[9]	٥٦٤٧٧٢
EP[13]	٥٦٤٥٥١
LRDE[5]	٥٦٤١٨٠
ILR[3]	٥٦٣٩٣٨
FAPSO[12]	٥٦٣٣٧١
APSO[18]	٥٦١٨٨٦
روش پیشنهادی (الگوریتم ژنتیک)	٥٥٨٧٢١/٤٢٧٧

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله UC پیشنهاد شد. مسئله UC یک مسئله چالش‌برانگیز بوده و نیازمند الگوریتم‌هایی است که قادر باشند به‌طور کارآمدی بهترین نتایج را ازنظر هزینه تولید و هزینه راه اندازی ارائه دهند. نتایج به‌دست‌آمده در مقایسه با دیگر روش‌ها ازنظر ویژگی‌های بهینگی برتری دارد. بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید است که برای تشکیل ذرات باحالت‌های مختلف کاربرد دارد. در مقایسه با دیگر روش‌های بهینه‌سازی تصادفی، ژنتیک دارای قابلیت جستجوی بهتری برای مسائلی مانند UC در سیستم‌های قدرت واقعی می‌باشد. در تحقیقی که اخیراً انجام شد، برخی اصلاحات برای ژنتیک پیشنهاد شدند تا همگرایی بهبود یابد و گوناگونی افزایش یابد؛ همانند همین مقاله. درنتیجه، این الگوریتم قادر بوده است به‌خوبی فضای جستجو را کاوش کرده و حل‌هایی باکیفیت و دقت بالا تولید نمایند. در این مقاله روشی ارائه شد تا برای بهبود الگوریتم‌های تکاملی مقاوم جدید به‌منظور حل مسئله تعهد واحد مورداستفاده قرار گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که این روش بهینه‌سازی در مقایسه با دیگر روش‌ها بسیار دقیق‌تر است.

مراجع

[1] Lowery, P.G.; “Generation unit commitment by dynamic programming”, IEEE Trans. PowerApp. Syst. vol. PAS-102, pp 1218-1225, 1983.

[2] Dr. s muralidhartan, V. Madhan kumar, A. Balavignesh, “Thermal Unit Commitment using FLAC guided modified Dynamic Programming approach”, 2011 International Conference on Recent advancements in Electrical , Electronics and Control Engineering.

[3] Zhuang, F. and Galiana, F. D. “Toward a more rigorous and practical unit commitment by Lagrangian relaxation”, IEEE Trans. Power Syst., vol. 3, no. 2, pp. 763–770, May 1988.

[4] FaridBenhamid, E,N. Abdallah and A.H Rashed “ thermal unit commitment solution using an improved lagrangian relaxation” RE&PQJ, Vol. 1. March 2007.

[5] M. Ramu , L Ravi srinivas, S Tara Kalyani, “Unit Commitment by Lagrangian Relaxation incorporating Differential Evolution”, Journal of Electrical Engineering

[6] Cohen, A. I. and Yoshimura, M. “A branch-and-bound algorithm for unit commitment”, IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS- 102, no. 2, pp. 444–451, 1983.

[7] Kazarlis, S.A.; Bakirtzis, A.G.; Petridis, V.; “A genetic algorithm solution to the unit commitment problem” IEEE Transactions on Power Systems, Volume 11, Issue 1, Feb. 1996 Page(s):83 – 92

[8] Mantawy, A.H.; Abdel-Magid, Y.L.; Selim, S.Z.; “Unit commitment by tabu search”, IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Volume 145, Issue 1, Jan. 1998Page(s):56 – 64

[9] Ting, T.O.; Rao, M.V.C.; Loo, C.K.; “A novel approach for unit commitment problem via an effective hybrid particle swarm optimization”, IEEE Transactions on Power Systems, Volume 21, Issue 1, Feb. 2006 Page(s):411 - 418.

[10] Zwe-Lee Gaing, “Discrete particle swarm optimization algorithm for unit commitment”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2003, Volume 1, 13-17 July 2003

[11] Ting, T.O; Rao, M.V.C.; Loo, C.K.; and Ngu, S.S.; “Solving Unit Commitment Problem Using Hybrid. Particle Swarm Optimization”, Journal of Heuristics, 9: 507–520, 2003.

[12] Saber, A.Y.; Senjyu, T.; Yona, A.; Funabashi, T.; "Unit commitment computation by fuzzy adaptive particle swarm optimization", IET Generation, Transmission & Distribution, Volume 1, Issue 3, May 2007 Page(s):456 – 465.

[13] Juste, K.A.; Kita, H.; Tanaka, E.; Hasegawa, J.; "An evolutionary programming solution to the unit commitment problem", IEEE Transactions on Power Systems, Volume 14, Issue 4, Nov. 1999 Page(s):1452 – 1459

[14] Simopoulos, D.N.; Kavatza, S.D.; Vournas, C.D.; "Unit commitment by an enhanced simulated annealing algorithm", IEEETransactions on Power Systems, Volume 21, Issue 1, Feb. 2006 Page(s):68 - 76

[15] Sisworahardjo, N.S.; El-Keib, A.A.; "Unit commitment using the ant colony search algorithm", Large Engineering Systems Conference on Power Engineering 2002, LESCOPE 02 Page(s):2 .

[16] Lingfeng Wang, Chanan Singh; "Unit commitment considering generator outages through a mixed-integer particle swarm optimization algorithm", Region 5 Conference, 2006 IEEE.

[17] hefai DHIFAOUI, Tawfik GUESMI and Hsan HADJ ABDALLAH, "Application of Multi-Objective PSO Algorithm for Economic Dispatch (ED) through Unit Commitment Problems (UCP)", 15th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control & computer engineering - STA'2014, Hammamet, Tunisia, December 21-23, 2014.

[18] V.S. Pappala, and I. Erlich, "A New Approach for Solving the Unit Commitment Problem by Adaptive Particle Swarm Optimization", 2008 IEEE Transactions.

ارتباط با کهربا

متخصصان و مهندسین گران‌قدر می‌توانند از طریق آدرس سایت مجله www.kahrobaonline.ir سایر اطلاعات مجله ازجمله نحوه ارسال مقالات جهت انتشار در نشریه و نیز فرم اشتراک مجله را دریافت کنند. همچنین به اطلاع می‌رسانیم طی توافق صورت گرفته بین پایگاه علمی سیویلیکا و مجله کهربا ازاین‌پس به مقاله برتر هر شماره یک کارت اشتراک رایگان دانلود از این پایگاه هدیه داده می‌شود.

اپلیکیشن این مجله را می‌توانید از مارکت نرم‌افزارهای موبایل (مایکت) و یا http://noandishaan.com/kahroba/kahroba.apk دریافت کنید.

ایمیل مجله kahroba@noandishaan.com پل ارتباطی ما با مهندسین و متخصصین می‌باشد، لطفاً ما را از پیشنهادها و انتقادات ارزشمند خود بهره‌مند سازید. جهت حمایت‌های مالی و معنوی از نشریه و یا معرفی محصولات خود نیز می‌توانید از طریق همین ایمیل با ما در ارتباط باشید.