پاییز ۱۴۰۱
سال یازدهم

کهربا

فصلنامه تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر



ISSN :2322-3723

شماره سی و هفتم

kahrobaonline.ir
Journal of Electrical and Computer Engineering

فناوری نورالیک و آینده مهندسی عصبی

پخش بار اقتصادی با حضور خودروهای هایبریدی

آینده و عملکرد فیبرهای کریستال فوتونیکی در علم پزشکی

رمزگشایی مغز: فرصت ها و چالش ها برای تشخیص الگو (ecog– eeg– fmri)

بررسی خصوصیات مغز بزرگسالان جوان و پیر با استفاده از تجزیه و تحلیل اتصالات عملکردی مغز

جایابی و انتخاب بهینه پارامترهای DPFC بمنظور مدیریت تراکم انتقال در سیستم های قدرت تجدید ساختار شده

شماره مجوز وزارت فرهنگ و ارشاداسلامی ۷۷۸۲۱

سال یازدهم
شماره سی‌و هفتم
پاییز ۱۴۰۱



صاحب‌امتیاز

سایت نواندیشان

مدیرمسئول

مهدی عارف خیابانی

سردبیر

امین شیخ نجدی

هیئت تحریریه

دکتر امیرحسین رحمانی – دکترای برق قدرت- استاددانشگاه‌های جندی شاپور دزفول و آزاد اسلامی‌واحد درفول

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

دکتر محمد دوستی زاده- دکترای برق، قدرت- استاد دانشگاه آزاد اسلامی‌خرم آباد

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

مهندس امین شیخ نجدی-کارشناسی ارشد برق الکترونیک- استادیار مدعو گروه الکترونیک دانشگاه‌های شهدا اهواز، جندی شاپور دزفول، عصاریان دزفول و آزاد اسلامی‌واحد دزفول

دکتر موسی مجرد- دکترای کامپیوتر-نرم افزار – هیئت علمی‌دانشگاه فیروزآباد، رئیس دانشگاه آزاد اسلامی‌فراشبند

مهندس محمدحسین دوست محمدی- کارشناسی ارشد برق الکترونیک – هیئت علمی(مربی) دانشگاه صنعتی همدان

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

مهندس مهسا سرائی – کارشناس ارشد برق مخابرات- دانشگاه فردوسی مشهد (مربی)

درباره کهربا ۳

یادداشت مدیرمسئول ۴

آشنایی با مشاهیر

دکتر سیاوش الموتی – مخترع کد بلوک - فضا ۵

مقالات

رمزگشایی مغز: فرصت‌ها و چالش‌ها برای تشخیص الگو (ECOG-EEG-fMRI) ۶

مهران کریمیان ریزی – کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی

مریم فریور – کارشناسی ارشد مهندسی برق – الکترونیک

پخش بار احتمالی با حضور خودروهای هایبریدی ۱۰

آزاد رحیمی – هیئت علمی دانشگاه فنی‌وحرفه‌ای کردستان

آینده و عملکرد فیبرهای کریستال فوتونیکی در علم پزشکی ۲۳

مهران کریمیان ریزی – کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی

فناوری نورالیک و آینده مهندسی عصبی ۲۹

مهران کریمیان ریزی – کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی

مریم فریور – کارشناسی ارشد مهندسی برق – الکترونیک

بررسی خصوصیات مغز بزرگسالان جوان و پیر با استفاده از تجزیه و تحلیل اتصالات عملکردی ۳۴

سعید ایمان پرست – کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی

وحید رنجبر عین‌الدین – کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی

جایابی و انتخاب پارامترهای DPFC بمنظور مدیریت تراکم انتقال در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده ۴۰

یاسر ابلاغی – برق منطقه‌ای تهران

زهرا کرمی – سازمان ملی استاندارد کرج

ارتباط با کهربا ۵۳

درباره کهربا

مجله الکترونیکی کهربا، با همت و تلاش جمعی از دانشجویان و مهندسین برق، بخصوص اعضای انجمن علمی‌و 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) مورد حمایت 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 یازدهمین پاییز از فعالیت نشریه کهربا و پس از انتشار سی‌و شش شماره از مجله مفتخریم با انتشار سی‌وهفتمین 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. امید است که باهمت و همیاری دوستان بتوانیم قدمی‌هرچند کوچک، جهت جلب رضایت و بالا بردن سطح دانش شما برداریم؛ و روزبه‌روز شاهد پیشرفت و موفقیت‌های شما عزیزان باشیم.

آشنایی با مشاهیر

دکتر سیاوش الموتی– مخترع کد بلوک – فضا



مهندس آمریکایی-ایرانی است که به خاطر اختراع کد بلوک فضا-زمان مشهور شده‌است (تکنیکی مورد استفاده در ارتباطات بدون‌سیم). اختراع او در سال ۱۹۹۷ به همراه وحید تارخ ثبت شد. کد الموتی دو آنتن انتقال بلوک کد فضا-زمان استو در استانداردهای مختلفی ساخته شده‌است. او ابتدا در شرکت‌های اینتل در گروه موبایل وایرلس CTO کار می‌کرد و از مارس ۲۰۱۰ مدیر گروه R&D در اپراتور موبایل وودافون شده‌است.

در ۲۰۰۲، انجمن ارتباطات IEEE او را به عنوان نویسنده یکی از ۵۷ مقاله مهم تمام تراکنش‌هایش در ۵۰ سال گذشته دانست.

او در گروه موبیلیتی و هدایت تکنولوژی اینتل مسئول تمام استانداردهای محصولات دارای نقشه راه بوده‌است؛ این شامل فروم وایمکس، IEEE 802.16، GPP, OMA, WiFi۳ و IEEE 802.11 می‌شود.

الموتی در سال ۱۹۸۰، درست پس از انقلاب تحصیل خود را در دانشگاه صنعتی شریف شروع کرد، ولی پس از انقلاب فرهنگی توسط حکومت جدید پاکسازی شد و مرتد خوانده شد. الموتی در سال ۱۹۸۲ به اسپانیا گریخت و نهایتاً در سال ۱۹۸۴، در کانادا پناهندگی سیاسی گرفت. الموتی در ونکوور به کارهای مختلفی از قبیل دلیوری پیتزا، و گارسونی رستوران پرداخت. سیاوش الموتی کارشناسی و کارشناسی‌ارشد خود را در سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۱ در رشته مهندسی برق از دانشگاه بریتیش کلمبیا (در ونکوور کانادا) گرفته‌است و هنگام تحصیل در مقطع دکترای این دانشگاه مرخصی گرفت تا به شرکت Microtel Pacific Research بپیوندد.

تا پیش از ملحق شدن به اینتل در سال ۲۰۰۴، او در شرکت‌های ویواتو، کادنس دیزاین، سرویس‌های وایرلس AT&T و ام‌پی‌آر تلتک در رده‌های مهندسی متفاوت کار کرده‌است.

الموتی بیش از ۲۰ حق اختراع در زمینه‌های کاربردی ارتباطات بدون‌سیم و طراحی سیستم‌های بدون‌سیم دارد. او مقاله‌ها و گزارش‌های زیادی در دهه گذشته در انجمن IEEE و سازمان‌های دیگر داشته که مخاطبان تخصصی بسیاری در سطح داخل آمریکا و نیز بین‌المللی داشته‌اند.

الموتی در سال ۲۰۲۲ برنده جایزه مارکونی شد.

www.kahrobaonline.ir

KN0-0903-3701

رمزگشایی مغز: فرصت‌ها و چالش‌ها برای تشخیص الگو (ECOG-EEG-FMRI)

مهران کریمیان‌ریزی [۱] mehrankarimian97@ms.tabrozu.ac.ir
مریم فریور [۲] farivar.maryam@yahoo.com

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی دانشگاه تبریز، ایران
[۲] مربی سازمان‌آموزش فنی‌وحرفه‌ای کشور، اصفهان، ایران

چکیده: تصویربرداری عصبی به شدت به یک نتیجه‌گیری آماری برای توضیح فعالیت اندازه‌گیری شده مغز با توجه به الگوی تجربی متکی است. این روش به نتایج بسیاری منجر شده است و عملکرد آن غیر قابل انکار می‌باشد. در سال‌های اخیر، تکنیک‌های تشخیص الگو، بینش جدیدی را در مورد مکان و نحوه ذخیره اطلاعات در مغز با پیش‌بینی محرک یا حالت از داده‌ها (داده) به ارمغان آورده است. تشخیص الگو ذاتاً چند متغیره است و مدل‌های زیربنایی مبتنی بر داده‌هامی‌باشند. علاوه بر این، برای پیش‌بینی در بسیاری از کاربردها از جمله تشخیص‌های بالینی و رابط مغز -کامپیوتر قدرتمندتر است. در این مقاله به بررسی و مرور تعدادی مقاله می‌پردازیم که چالش‌های باقی مانده در این زمینه را شناسایی، بررسی و رسیدگی می‌کند. نیاز و مشکلات منحصربه‌فرد موجود در این زمینه فرصت‌هایی را برای تحقیقات آینده در تشخیص الگو و علوم اعصاب فراهم کرده و می‌کند.

کلید واژه‌ها: *الکتروکورتیکوگرافی، الکتروانسفالوگرافی، تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکرد، رمزگشایی مغز، هوش مصنوعی، تشخیص الگو*

۱. مقدمه

در طول ۱۰ سال گذشته، جامعه علوم اعصاب تا حد زیادی از تکنیک‌ها و روش‌های تشخیص الگو برای کمک به تجزیه، تحلیل و تفسیر داده‌های تصویربرداری عصبی استفاده کرده است. بررسی نحوه برخورد مغز انسان با اطلاعاتی که به محرک‌ها یا رفتارهای خارجی پیوسته و پیچیده پاسخ می‌دهند نه تنها می‌تواند به درک بهتر عملکرد مغز انسان منجر شود، بلکه می‌تواند به راه‌حل‌های عملی در رابط مغز- کامپیوتر[۱] (BCI) یا توسعه نشانگرهای بالینی جدید برای اختلال و بیماری اندازه‌گیری‌های غیرتهاجمی‌مغز انسان در حین کار با تعدادی از تکنیک‌های تصویربرداری عصبی فعال بشود که از جمله مرتبط‌ترین آن‌ها برای این موضوع خاص، تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکرد[۲] (fMRI) و الکتروانسفالوگرافی[۳] (EEG) است. با استفاده از عملکرد مغز اندازه‌گیری‌شده، الگوهای فضایی-زمانی فعالیت‌های عصبی مربوطه باید پس از آن برای رمزگشایی[۴] محل و زمان ارائه فعالیت‌ها در زمینه پردازش اطلاعات تحلیل شوند. این فرآیند کشف اطلاعات مبتنی بر داده، چند متغیره و بسیار انعطاف‌پذیرتر از آزمون‌های آماری مبتنی بر فرضیه‌های متداول است که معمولاً به روش تک متغیره اعمال می‌شود [۱]. علاوه بر این، عملکرد تکنیک‌های

[1] brain–computer interfacing
[2] Functional Magnetic Resonace Imaging
[3] Electroencephalography
[4] decoding

تشخیص الگو با استفاده از اعتبارسنجی متقابل[۵] ارزیابی می‌شود، که ارزش پیش‌بینی الگوریتم را ارزیابی می‌کند که برای BCI و کاربردهای بالینی بسیار پر ارزش و مرتبط است. در میان محققان fMRI، کارهاکسبی و همکاران [۲] در مورد نحوه نمایش دسته‌های تصویر توسط الگوهای فضایی[۶] مختلف بسیار تأثیرگذار بوده است. از آن زمان، روش رمزگشایی مغز به طور مداوم بهبود یافته است تا حداکثر بهره برداری از اطلاعات پنهان فعالیت‌های عصبی در جهت تشخیص خودکار عملکردهای مغز انسان انجام شود. با این حال، روش‌های آماری برای رمزگشایی مغز به دلیل این واقعیت که الگوهای سیگنال عملکردهای مغز اندازه‌گیری شده ذاتاً دارای ابعاد بالا، چند متغیره، غیرخطی و غیر ثابت هستند، هنوز در دست توسعه می‌باشد. اینجاست که روش‌های تشخیص الگوی پیشرفته می‌توانند نقش اصلی را برای فعال کردن رمزگشایی دقیق‌تر و کارآمدتر مغز ایفا کنند. تکنیک‌های رمزگشایی مغز فرصت‌های فوق‌العاده‌ای را برای کاربردها مختلف از جمله تشخیص زودهنگام اختلالات عصبی روانی به ارمغان می‌آورند. حوزه BCI از روزهای اولیه خود تکنیک‌های یادگیری ماشین را به کار گرفته است [۳]. رمزگشایی از سیگنال‌های مغزی به‌دست‌آمده با تکنیک‌های چندمنظوره مانند EEG در نهایت باید به سیستم‌هایی منجر شود که به ما اجازه می‌دهند تا از طریق فرآیندهای فکری به‌طور منحصربه‌فردی با جهان‌های خارجی تعامل داشته باشیم، بدیهی است که پتانسیل بالایی برای دستگاه‌های پروتز عصبی و کارایی آن‌ها دارند. استفاده از تکنیک-های تشخیص الگو در تصویربرداری عصبی نیز از جنبه‌های مختلفی چالش برانگیز است. اول از همه، مجموعه داده‌ها معمولاً در فضا و یا زمان ابعاد بالایی دارند (معمولاً بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ ویژگی) در حالی که تعداد مشاهدات کم است (در حد ۱۰-۱۰۰). برای کنار آمدن با مشقت بعدچندی[۷] (مزاحمت ابعاد)، انتخاب ویژگی مناسب و منظم سازی لازم است. ثانیاً اغلب، هدف از رمزگشایی مغز به دست آوردن بینش‌های جدیدی در عملکرد مغز است که می‌تواند منجر به فرضیه‌ها و آزمایش‌های جدید شود. راه‌حل‌های این چالش‌ها اغلب نیازمند یک رویکرد بین‌رشته‌ای است که دانش خاص حوزه‌ها را ادغام می‌کند.

۲. بررسی و مرور اجمالی رمزگشایی مغز

ما در اینجا چند مقاله را بررسی می‌کنیم که به جنبه‌های مختلف روش رمزگشایی مغز می‌پردازد و پیشرفت‌ها و راه حل‌های جدیدی را پیشنهاد می‌کند. سری اول مقالات مربوط به رمزگشایی داده‌های fMRI است. انتخاب ویژگی با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی خوشه‌ای مطالعه می‌شود [۴]، که نشان می‌دهد الگوهای توزیع‌شده در عین حال که محلی هستند بسیار پرکاربرد و آموزنده هستند، یا با خوشه‌بندی سلسله مراتبی [۵] برای ساخت و بهره‌برداری از روابط فضایی[۸]. رودریگز و همکاران [۶] تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های مستقل[۹] (ICA) را برای در نظر گرفتن اطلاعات فاز داده‌های fMRI گسترشداده‌اند. ICA می‌تواند به عنوان استخراج ویژگی بر اساس داده‌های آموزشی یا به روش نیمه نظارتی[۱۰] (الگوریتم نیمه نظارتی) شده استفاده شود. کابرال و همکاران [۷] مجموعه‌ای از طبقه‌بندی‌کننده‌ها را برای رمزگشایی اطلاعات بصری بررسی کردند، و الیوتی و همکاران [۸] اهمیت آماری نتایج طبقه بندی ارزیابی شده در چارچوب بیزی[۱۱] (استنباط و آمار بیزی) را مطالعه کردند. بهینه‌سازی پارامتر تنظیم، که به شدت بر نقشه‌های مغزی قابل استخراج از رمزگشایی تأثیر می‌گذارد، نباید دقت طبقه‌بندی را به عنوان تنها معیار در نظر گرفت، بلکه معیارهای تکرارپذیری را نیزباید در محاسبات گنجاند[۹]. سه مقاله بعدی بر روی داده‌های EEG تمرکز دارند. رابطه فضایی بین الکترودهای EEG را می‌توان با استفاده از توپوگرافی‌های ولتاژ در زمینه پتانسیل‌های پاسخ برانگیخته [۱۰] یا برای BCI با استفاده از اتصال که توسط همگام‌سازی فاز اندازه‌گیری می‌شود [۱۱]، مورد بهره‌برداری قرار داد. در نهایت،

[۵] cross validation
[۶] spatial distribution
[7] Curse of dimensionality
[8] spatial relationships
[9] independent component analysis
[10] semi-supervised
[11] Bayesian framework

انتخاب بهترین بخش زمانی و زیر باند فرکانس برای رمزگشایی EEG تک آزمایشی با استفاده از اطلاعات متقابل توسط آنگ و همکاران در نظر گرفته شد است[۱۲].

۲,۱. ECOG و رمزگشایی آن

تست الکتروکورتیکوگرافی[۱۲] ECoG یکی از ابزارهای ارزیابی سرگیجه می‌باشد. اگر ناهنجاری‌هایی در گوش داخلی شما وجود داشته باشد، ممکن است علائم ناخوشایندی مانند زنگ در گوش، گیجی، سرگیجه و مشکلات تعادل را تجربه کنید. ناهنجاری‌های سیستم دهلیزی که بخشی از گوش داخلی است ممکن است نشانه بیماری‌های مهمی‌مانند هیدروپس اندولنفاتیک[۱۳] یا بیماری منیر[۱۴] باشد. الکترودها اطلاعات را به کامپیوتر ارسال می‌کنند که چندین شکل موج را نشان می‌دهد. شنوایی شناس به دو جزء از شکل موج بزرگ توجه می‌کند: پتانسیل عمل[۱۵] (AP) و پتانسیل تجمعی[۱۶] (SP). نسبت این دو جزء کلید رمزگشایی نتایج آزمایش است. نسبت بالاتر از حد معمول SP به AP به شنوایی شناس می‌گوید که ممکن است افزایش فشار مایع در گوش داخلی شما وجود داشته باشد. افزایش فشار مایع در گوش داخلی ممکن است نشان دهنده بیماری منییر، هیدروپس اندولنفاتیک یا اختلالات دیگر دهلیزی باشد [۱۳].

۳. نتیجه‌گیری

با پیشرفت چشم‌گیر الگوریتم‌ها و هوش مصنوعی می‌توان انتظار دا شت که در آینده نزدیک بی شتر عملکرد مغز رمزگ شایی شود، همانطور که هم اکنون رمزگشـایی‌هایی شـامل حرکاتی همچون حرکات دست و پا یا حرکات فرضی شامل چرخاندن اجسام است. این سـیسـتم‌ها می‌توانند برای تشـخیص زودهنگام تشـنج‌های صـرعی، ارتباط با بیماران شـدیدا فلج شـده یا تشـخیص عصـبی خودکار اسـتفاده شـوند و چشـم‌انداز برای آینده این حوزه ارائه الگوریتم‌های خودیادگیری ا ست که می‌توانند ت صمیمات مختلف کاربر را بر ا ساس سیگنال‌های مغزی آن‌ها به سرعت ت شخیص دهند.

۴. مراجع

[1] K.J. Friston, A.P. Holmes, K.J. Worsley, J.P. Poline, C.D. Frith, R.S.J. Frackowiak, Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach, Human Brain Mapping 2 (1995) 189–210.
[2] J. Haxby, M.I. Gobbini, M.L. Furey, A. Ishai, J.L. Schouten, P. Pietrini, Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex, Science 293 (5539) (2001) 2425–2430.
[3] B. Blankertz, G. Curio, K.-R. Muller, Classifying single trial EEG: towards brain ¨ computer interfacing, in: T. Diettrich, S. Becker, Z. Ghahramani (Eds.), Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS, vol. 14, 2002, pp. 157–164.
[4] M. Bjornsdotter, J. Wessberg, Clustered sampling improves random subspace ¨ brain mapping, Pattern Recognition, this issue, doi:10.1016/j.patcog. 2011.04. 005.
[5] V. Michel, A. Gramforta, G. Varoquaux, E. Eger, C. Keribin, B. Thirion, A supervised clustering approach for fMRI-based inference of brain states, Pattern Recognition, this issue, doi:10.1016/j.patcog. 2011.04.006.
[6] P.A. Rodriguez, V.D. Calhoun, T. Adali, De-noising, phase ambiguity correction and visualization techniques for complex-valued ICA of group fMRI data, Pattern Recognition, this issue, doi:10.1016/j.patcog. 2011.04.033.
[7] C. Cabral, M. Silveira, P. Figueiredo, Decoding visual brain states from Fmri using an ensemble of classifiers, Pattern Recognition, this issue, doi:10.1016/ j.patcog.2011.04.015.
[8] E. Olivetti, S. Veeramachaneni, E. Nowakowska, Bayesian hypothesis testing for pattern discrimination in brain decoding, Pattern Recognition, this issue, doi:10.1016/j.patcog. 2011.04.025.
[9] P.M. Rasmussen, L.K. Hansen, K.H. Madsen, N.W. Churchill, S.C.Strother, Model sparsity and brain pattern interpretation of classification models in neuroimaging, Pattern Recognition, under review.

[12] Electrocorticography
[13] Endolymphatic hydrops
[14] Munir
[15] Action Potential
[16] Cumulative potential

[10] A. Tzovara, M.M. Murray, G. Plomp, M.H. Herzog, C.M. Michel, M. De Lucia, Decoding stimulus-related information from single-trial EEG responses based on voltage topographies, Pattern Recognition, this issue, doi:10.1016/j. patcog. 2011.04.007.
[11] I. Daly, S.J. Nasuto, K. Warwick, Brain computer interface control via functional connectivity dynamics, Pattern Recognition, this issue, doi:10. 1016/j.patcog.2011.04.034.
[12] K.K. Ang, Z.Y. Chin, H. Zhang, C. Guan, Mutual information-based selection of optimal spatial-temporal patterns for single-trial EEG-based BCIs, Pattern Recognition, this issue, doi:10.1016/j.patcog.2011.04.018.
[13]https://arianaudiology.ir/2021/10/14/%D8%AA%D8%B3%D8%AA-ecog/

KN0-0903-3702

پخش بار احتمالی با حضور خودروهای هایبریدی

آزاد رحیمی[۱] a-rahimi@tvu.ac.ir
[۱]هیئت علمی، دپارتمان مهندسی برق دانشگاه فنی و حرفه ای کردستان، ایران

چکیده: : با افزایش آلایندگی‌های هوا و اتمام سوختهای فسیلی، نیاز به انرژی‌های تجدیدپذیر و خودروهای برقی بیش از پیش افزایش یافته است. در این میان بهره‌برداری از مزارع خورشیدی و بادی، به‌دلیل توانایی تولید بیشتر، مقبولیت عام‌تر و مقرون به صرفه‌تر بودنشان از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. با ورود تجهیزات مصرفی نظیر خودروهای هیبریدی، پخش بار احتمالی پیچیده‌تر خواهد شد. در این مقاله، یک الگوریتم پیشنهادی در پخش بار احتمالی به عنوان اساس مطالعات و برنامه‌ریزی در سیستم‌های قدرت به کار گرفته شده است جهت ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی، پخش بار احتمالی در دو شبکه انتقال و توزیع با استفاده از تحلیل‌های متفاوت در شبکه‌های تست با ابعاد مختلف در نظر گرفته شده است. به منظور ارزیابی گستره کاربرد الگوریتم پیشنهادی در شبکه‌های تست مختلف، تولید احتمالی توربین‌های بادی در شبکه‌های انتقال و مدل احتمالی شارژ خودروهای هیبرید در شبکه‌های توزیع در نظر گرفته شده است. الگوریتم ارائه شده، بر اساس پارامترهای محاسباتی بهینه با کمترین تعداد نمونه تصادفی ورودی می‌تواند اطلاعات بسیار دقیقی از احتمال خروجی‌های مورد نظر در اختیار قرار دهد. الگوریتم پیشنهادی در این مطالعه، قادر به پوشش دهی بخشی از محدودیت‌های روش‌های محاسبات پخش بار ارائه شده در مطالعات پیش از این می‌باشد.

واژگان کلیدی: *پخش بار احتمالی، خودروهای هیبرید، توربین‌های بادی، تابع چگالی احتمال*

۱. مقدمه

پخش بار با فراهم آوردن اطلاعاتی چون ولتاژ باس‌ها و توان عبوری از خطوط یکی از مهم ترین ابزارها برای آنالیز و تحلیل عملکرد سیستم قدرت است. ورودی‌های پخش بار ساختار شبکه، بار باس‌ها و مشخصات خطوط است که همگی مقادیر ثابتی دارند. از آنجا که شرایط سیستم قدرت به طور مداوم در حال تغییر است، برای ارزیابی شبکه تحت شرایط مختلف نیاز به اجرای پخش بارهای متعدد است. از آنجا که سیستم قدرت با نفوذ روزافزون منابع تجدید پذیر با مشخصه‌های تصادفی نظیر نیروگاه بادی و خورشیدی روبروست، نیاز به محاسبات متنوع پخش بار در نقاط کاری مختلف سیستم مطرح می‌شود. با حضور منابع، خطوط انتقال، ترانسفورماتورهای قدرت، بارها و... در شبکه قدرت، شبکه‌های توزیع با توجه به دارا بودن پتانسیل بالا در بحث بهره‌گیری از منابع تولید پراکنده، بارهای قابل کنترل، خودروهای برقی و زیرساختهای لازم جهت اجرای برنامه‌های مدیریت سمت تقاضا، توانایی استفاده اقتصادی‌تر و بهینه‌تر از منابع انرژی را دارد.

تعداد و تنوع خودروهای برقی به صورت مستمر در حال افزایش است و کنترل این تجهیزات جهت عملکرد با بازده بالا به یکی از مسائل مهم تبدیل شده است. درصورتی که بتوان از برنامه‌های مدیریت بار خودروهای برقی به صورت کارامد استفاده کرد صرفه جویی قابل توجهی حاصل میشود. کاهش مصرف کلی علاوه بر منافع شبکه‌های که نصیب شرکتهای برق میکند باعث افزایش پایداری و قابلیت اطمینان شبکه شده، منافع زیست محیطی از طریق کاهش تولید گازهای گلخانهای ایجاد کرده و منافع اقتصادی زیادی برای مشتریان و کشور ایجاد میکند.

از سوی دیگر هموارتر شدن منحنی بار باعث کاهش از آنجا که در ادوات قدرت مقدار قابل توجهی از توان تولیدی به صورتهای مختلفی (گرما، ایجاد تزویج در سیم پیچهای ترانسفورماتورها، ظرفیت‌های خازنی و....) تلف می‌شود، لذا معادله تعادل تولید توان و بار، با المان‌های غیر خطی روبرو خواهد بود. بنابراین با ساده سازی معادلات پخش بار می‌توان با روش‌های عددی مرسوم این معادلات را حل کرد و پارامترهای مربوط به شین‌های بارها، شین‌های تولیدی را بدست آورد. نکته ای که در محاسبات پخش بار حائز اهمیت است[۱و۲]، معادلات برای حالت پایدار سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ بدین معنی که شبکه قدرت را در یک لحظه از زمان در نظر گرفته و معادلات پخش بار را برای آن نوشته و خروجی‌های پخش بار را برای آن لحظه از زمان محاسبه می‌کنیم. در پخش بار از آنجا که حتی مدت زمان‌های کوتاه (چندین دقیقه) مدت پایدار محسوب می‌شود لذا معادلات فازوری پخش بار متداول می‌باشد.[۳و۵].



شکل ۱: جایگاه خودروهای‌هایبریدی در سیستم قدرت

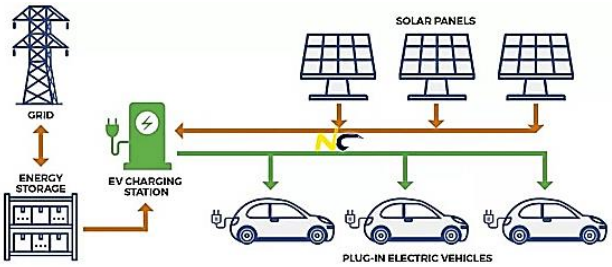
تحلیل شبکه قدرت به صورت حالت پایدار، حاصل ساده سازی‌های بسیار و صرف نظر کردن از بسیاری از پارامترهای متغیر در شبکه می‌باشد. صرف نظر کردن از پارامترهایی احتمالی بودن تولید منابع پراکنده، خطاهای احتمالی در اندازه گیری و حفاظت، حوادث غیر مترقبه و نوسانات بارها متناسب با الگوی رفتار احتمالی آنها در شبکه که عمدتا به صورت احتمالی می‌باشند تحلیل‌های شبکه را با مشکل مواجه می‌کنند. بنابراین باید تحلیلی مورد بررسی قرار گیرد که بتواند پخش بار شبکه را در حضور پارامترهای فوق انجام دهد. این نوع تحلیل را با عنوان پخش بار احتمالی شبکه قدرت در نظر می‌گیرند[۴].

۲. ضرورت پخش بار احتمالی در شبکه‌های مدرن

پخش بار احتمالاتی ابزاری مناسب برای ارزیابی کارایی سیستم قدرت در محدوده کاری محتمل آن است. با تعریف متغیرهای ورودی تصادفی پخش بار، امکان تعیین رفتار احتمالاتی متغیرهای خروجی فراهم خواهد شد. پخش بار احتمالاتی با تأمین کردن اطلاعاتی در نقاط کار متنوع سیستم قدرت، دارای کاربرد وسیعی در مطالعات طراحی سیستم قدرت است[۵].

با حضـور تولیدات پراکنده و انرژی‌های نو در شـبکه‌های توزیع و انتقال، بررسی مطالعه ی رفتار شبکه را پیچیده تر کرده است. با در نظر گرفتن تولید پراکنده به عنوان یک مولد توان، بررســی

تأثیر آن بر حفاظت، قابلیت اطمینان، پایداری، امنیت شـــبکه بســیار حائز اهمیت اســت. همچنین شــبکه‌های مدرن، بر خلاف شبکه‌های سنتی که شارش توان از سمت نیروگاه‌های بزرگ به سمت بارها بوده ا ست، خود بارها نیز به عنوان مولدهای توان در شــبکه حضــور پیدا می‌کنند. به علاوه، رفتار کاملا تصــادفی این تولیدات پراکنده باعث شــده اســت تا پارامترهای شــبکه از جمله ولتاژ بارها، توان شــارش یافته بین خطوط، اندازه ی توان تولیدی باس ا سلک شبکه دچار تغییرات شوند و رفتار آنها نیز احتمالی شــود. حضــور بارهای توان بالا همانند خودروهای هیبرید در یک منطقه ی بزرگ نیز مزید بر احتمالی بودن رفتار شبکه‌های مدرن می‌شود که باد توسط روش‌های مناسبی تحلیل و بررسی شود.



شکل ۲: اتصال خودرو به شبکه قدرت

با افزایش نیاز به خودروهای حمل و نقل با مصرف سوخت بهینه، ایده ی تجاری سازی خودروهای هیبرید مطرح شد. این خودروها دارای دو منبع سوخت فسیلی و سوخت الکتریکی می‌باشند [۲]. به دلیل ویژگی‌های خاصی که هر نوع سوخت در دینامیک خودروها دارند در مواقع مختلف از سوخت مناسب با شرایط خاصی به کار گرفته می‌شود. تاثیر خودروهای هیبرید بر شبکه قدرت در ابعاد وسیع چشمگیر خواهد بود. اگر یک منطقه ی مسکونی را در نظر بگیریم که هر خانه حداقل دارای یک خودروی هیبرید متصل به شبکه باشد، میزان توانی که کل منطقه از شبکه برق می‌گیرد بسیار چشمگیر خواهد بود [۳]. این در حالی است که بسیاری از تحقیقات پیرامون پایداری ولتاژ در شبکه‌های شعاعی در حضور خودروهای هیبرید انجام می‌شود. بنابراین حضور احتمالی خودروها در شبکه برق و اتصال یا عدم اتصال آنها به می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. همچنین نیاز به استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر همانند باد و خورشید و دامن زدن به رفتار تصادفی آنها، پیچیدگی محاسبات را در حضور چنین منابعی در پی خواهیم داشت. تولید توان توربین‌های بادی که با تغییرات باد به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد، می‌بایست در معادلات پخش بار احتمالی مدل مناسبی و قریب به واقعی داشته باشد تا بتوان مطالعات و برنامه ریزی مناسبی از دید قابلیت اطمینان شبکه در پی داشت[۴].

۳. پیشینه پژوهش

به طور کلی روش‌های تحلیلی بر اساس مرجع [۱۹] به دو دسته برای محاسبات پخش بار احتمالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک روش به این گونه ای است که یک الگوریتم تخمین گر حالت در نظر گرفته می‌شود. کاری که این تخمین گر انجام می‌دهد با استفاده از داده‌های آماری موجود عدم قطعیت مربوط به متغیر تصادفی را حول یک مقدار پیش بینی شده (امید) در بلند مدت در نظر گرفته می‌شود. اگر W بردار مقادیر مربوط به خروجی پخش بار باشد و h روابط غیر خطی مبتنی بر پخش بار و رفتار احتمالی متغیرهای پخش بار و X بردار حالت باشد، می‌توان تغییرات بردار خروجی پخش بار را حول امید مقادیر خروجی بدست آورد و رابطه ی آن بدین صورت تعریف می‌شود:

$$W = h(x) + n \qquad (۱)$$

که در این رابطه ۷ یک بردار نویز تصادفی می‌باشد که واریانس این مقدار نشان دهنده ی تغییرات متغیرهای تصادفی حول مقدار امیدشان خواهد بود. روش دیگری که معرفی می‌شود و عمدتا از این روش در محاسبات پخش بار استفاده می‌شود روش اصلی پخش بار احتمالی (PPF) می‌باشد. در این روش با استفاده از خود روابط پخش بار و ساده سازی آنها (روش تحلیلی) و تخمین گری (روش تخمینی) در خروجی‌های پخش بار می‌توان به جواب مسایل رسید. در مرجع [۱۹] با استفاده از خطی سازی روابط پخش بار و همچنین انجام پخش بار به روش DC با اعمال روش کانولوشن می‌توان تابع چگالی احتمال خروجی‌های پخش بار را بدست آورد. معایبی که این روش دارد ساده سازی و خطی سازی روابط پخش بار می‌باشد. . در مرجع [۲۰] با استفاده از پخش بار DC که ساده شده ی معادلات پخش بار می‌باشد و با در نظر گرفتن تولید توربین‌های بادی و استفاده از تقریب در منحنی توان آن خروجی پخش بار را بدست می‌آید. در مرجع [۲۱] تأثیر ساده سازی‌های معادلات غیر خطی پخش بار را بررسی می‌کند.

همچنین مشکل مدل کردن متغیرهای تصادفی با توزیع نرمال را نیز بررسی می‌کند. در تحقیقات اخیر پیرامون موضوع پخش بار احتمالی، روش‌های مبتنی بر ضرایب کومولنت‌ها و استفاده از بسط‌های گرام-چارلیر و کورنیش-فیشره در محاسبات پخش بار به کار گرفته شده است [۲۲-۲۳]. دقت این روش به تعداد نقاط کومولنت‌ها بستگی دارد. همچنین هرچه توزیع چگالی متغیرهای تصادفی به نرمال نزدیک تر باشد، دقت محاسبات پخش بار بالاتر خواهد بود. در مرجع [۲۵] پخش بار احتمالی معرفی می‌شود و روش‌های ساده سازی معادلات به منظور محاسبات پخش بار در حضور متغیرهای تصادفی به کار برده شده است.

در مرجع [۲۶] پخش بار احتمالی در حضور بارهای وابسته به هم در نظر گرفته شده است. در این تحقیق فرضیاتی را منطبق بر روش‌های ارائه شده توسط کارهای قبلی مربوط به پخش بار احتمالی مد نظر قرار داده است از جمله اینکه پخش بار را به صورت خطی در نظر گرفته است. در این مقاله پخش بار با استفاده از روش ترکیبی کانولوشن و مونت کارلو انجام گرفته شده است. مشکلی که این روش دارد این است که روش کانولوشن بسیار زمان بر است و برای توابع احتمالی با درجه ی پیچیدگی بالا کاربردی نخواهد داشت. مرجع [۲۹] از روش تخمین نقطه ای در بدست آوردن نتایج پخش بار احتمالی استفاده می‌کند. با توجه به تعداد متغیرهای احتمالی موجود در شبکه (m)، با (m۲) بار اجرای پخش بار قطعی می‌توان اطلاعات مربوط به نتایج پخش بار را بدست آورد. مشکلی که در این روش وجود دارد این است که اگر داده‌های احتمالی ورودی به هم وابسته باشند.

۴. مبانی نظری پخش بار و تحلیل احتمالی

به منظور برر سی میزان توان تولیدی و م صرفی در شبکه قدرت، می‌توان در دو سطح مختلف پخش بار را انجام داد.

۴,۱. پخش بار در شبکه‌های قدرت

در پخش بار قطعی، معادلات پخش بار به صورت معادلات حالت در نظر گرفته می‌شود. تحلیل این معادلات بر مبنای حالت مانای سیستم قدرت می‌باشد. با استفاده از روش‌های تکرار و عددی می‌توان به جواب معادلات رسید. اما در پخش بار به صورت احتمالی متغیرها به صورت احتمالی تعریف می‌شود. روابط معادلات حالت برای پخش بار قطعی در پخش بار احتمالی نیز صادق است با این تفاوت که معادلات به صورت احتمالی خواهند بود و نیاز به تحلیل با استفاده از روش‌های آماری و احتمالاتی خواهیم بود. به علاوه بررسی احتمالی پخش بار به مدل واقعی بسیار نزدیک تر است.

۴,۱,۱. پخش بار در سطح انتقال

در این حالت تمام اطلاعات مربوط به مولدهای توان و بارها به صورت فشرده در یک باس مدل می‌شود و شبکه به صورت دیاگرام تک خطی ساده شده در می‌آید. به منظور انجام محاسبات پخش بار شین‌های شبکه قدرت را به سه دسته شین اصلی، شین‌های ولتاژ کنترل شده و شین‌های بار تقسیم می‌کنند که معادلات پخش بار در آنها بصورت زیر است:

(۲)

$$p_j^{net} = \sum_i^{N_{dj}} P_j^i - \sum_k^{N_{dj}} P_j^k = V_j \sum_i^{N} Y_{ji}\, v_i \cos(\delta_j - \delta_i - \theta_{ji})$$

(۳)

$$Q_j^{net} = \sum_i^{N_{Gj}} Q_j^i - \sum_k^{N_{Dj}} Q_j^k = V_j \sum_i^{N} Y_{ji}\, v_i \sin(\delta_j - \delta_i - \theta_{ji})$$

در این معادلات به ترتیب توان‌های اکتیو و راکتیو تزریقی از باس j می‌باشند. V و Vj ولتاژهای باس‌های نو می‌باشند. δj وδi زاویه ی ولتاژ باس‌های نوز می‌باشند. با استفاده از روش‌های تکرار (نیوتن رافسون، گوس-سایدل، پخش بار DC و..) می‌توان معادلات پخش بار برای حالت مانای شبکه بدست آورد.

۴,۱,۲. پخش بار در شبکه توزیع

از آنجایی که شبکه‌های توزیع بخش کوچکی از شبکه‌های انتقال را شامل می‌شوند تحلیل پخش بار در این شبکه‌ها با شبکه انتقال به صورت جزیی تفاوت دارد. در این شبکه‌ها، بر خلاف شبکه‌های انتقال، میزان تلفات در خطوط قابل توجه می‌باشد و مقاومت خطوط توزیع در معادلات باید در نظر گرفته شود. ویژگی دیگر این شبکه‌ها در شعاعی بودن آن‌ها است. شبکه‌های توزیع معمولا یا از یک سو و یا از دو سو تغذیه می‌باشند. روش‌هایی که در شبکه انتقال به منظور محاسبات پخش بار انجام می‌گیرد عمدتا

قابل پیاده سازی در شبکه‌های توزیع نمی‌باشد. در بسیاری از موارد این روش‌ها واگرا می‌شوند و جواب مناسبی نمی‌دهند. به منظور محاسبه ی پخش بار در شبکه توزیع، روش‌های متنوعی ارائه شده است [۵-۷]. این روش‌ها روش‌های ابتدایی محاسبات پخش بار در شبکه توزیع می‌باشند که با ساده سازی‌های زیاد و همچنین در نظر گرفتن حالت خاصی از شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند. روشی که به منظور محاسبه ی پخش بار در شبکه توزیع انجام می‌شود روش FBS می‌باشد [۸]. به خاطر محاسبات سریع و نسبتا دقیق این روش از آن در محاسبات پخش بار شبکه‌های توزیع بهره می‌گیرند. از پخش بار جبرانسازی شده در شبکه‌هایی که منابع تولید پراکنده حضور دارند استفاده می‌شود. مزایای این روش نسبت به روش‌های قدیمی‌تر در امکان گسترش دادن شبکه و در نظر گرفتن بارهای مختلف از جمله خودروهای برقی، مولدهای پراکنده و ... می‌باشد.

پخش بار FBS برمبنای قوانین KVL و KCL پایه گذاری شده است. در یک شبکه شعاعی توزیع، اگر N گره موجود باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که (B=N-1) شاخه خواهیم داشت. ابتدای شبکه توزیع به یک شین (اسلک) که با یک منبع ولتاژ مدل می‌شود وصل است و از طریق شاخه‌ها به انتهای شبکه ختم می‌شود .بنابراین با داشتن مقدار ولتاژ در گره اسلک، و مقداردهی اولیه به سایر گره‌های شبکه توزیع در سه مرحله می‌توان ولتاژ تمام شینها را محاسبه کرد. این سه مرحله به ترتیب زیر می‌باشند: محاسبه ی جریان تزریقی شین‌ها: با داشتن مقادیر بارها در هر گره i جریان تزریقی $Ii(k)$ در تکرار kام را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

(۴)

$$I_i^{(k)} = \left[\frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k-1)}}\right] = Y_i V_i^{(k-1)}$$

که در آن Pi و Qi بار اکتیو و راکتیو در گره نمی‌باشند، $Vi(k-1)$ ولتاژ آپدیت شده در تکرار

۱ - K، Yi ادمیتانس شانت یا موازی در گره ی ۱ می‌باشد.

۲. حرکت عقب رونده: برای هر تکرار از آخرین شاخه‌ها و گره‌ها تمام جریان‌های بارها جمع می‌شوند و جریان تزریقی گره اسلک بدست می‌آید.

۳. حرکت پیش رونده : با حرکت از گره اسلک به انتهای شبکه می‌توان ولتاژ تمامی‌گره‌ها را نسبت به تکرار قبل آپدیت کرد. بنابراین ولتاژ $VL2(k)$مربوط به گره ی ما بلافاصله بعد از گره ی ما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

که در این رابطه $V_{L1}^{(K)}$ ولتاژ در گره $L_{L12}^{(K)}$ و Z_{L12} و L_1 به ترتیب امپدانس و جریان تزریقی شاخه ی بین دو گره ا و ا می‌باشد.این سه مرحله در هر تکرار محاسبه می‌شود و ولتاژ همه ی گره‌ها در هر تکرار آپدیت می‌شوند. پخش بار به روش FBS زمانی همگرا می‌شود که معیار همگرایی که اختلاف بین توان تزریقی در گره ۱ برای تکرار k به این صورت بدست می‌آید:

$$S_i^{(k)} = V_i^{(k)} \left(I_i^{(k)}\right)^* - Y_i \left|V_i^{(k)}\right|^2 \quad (۵)$$

بنابراین مقدار خطا برای توان اکتیو و راکتیو تزریقی در گره i را می‌توان به این صورت تعریف کرد:

$$\Delta P_i^{(k)} + J\Delta_i^{(k)} = \left|S_i^{(k)} - S_i\right| \quad (۶)$$

با مشاهده ی معیار همگرایی پخش بار پایان می‌یابد و مقادیر ولتاژ تمامی‌گره‌ها محاسبه می‌شود. و با توجه به روند استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و حضور روزافزون خودروهای برقی در شبکه‌های توزیع و محلی، نیاز به پخش بار مجزا در شبکه‌های توزیع به منظور کنترل و بهبود قابلیت اطمینان این شبکه بسیار حس می‌شود [۹].

۵. بررسی احتمالی پخش بار در سیستم قدرت

بسیاری از پارامترهای کنترل و برنامه ریزی شبکه مانند قابلیت اطمینان، بازه ی پایداری از طریق بررسی احتمالی شبکه قدرت محاسبه می‌شود. اگر معادلات پخش بار معمولی را مد نظر قرار دهیم، به منظور تحلیل پخش بار احتمالی می‌توان پارامترهای ورودی و خروجی معادلات پخش بار قطعی را به صورت احتمالی در نظر گرفت و روشهای مختلف حل معادلات پخش بار را بر روی آنها پیاده سازی کرد. تحلیل احتمالی پخش بار شامل بررسی احتمالی پارامترهای زیر می‌باشد:

• پارامترهای بار سمت مصرف کننده (بارهای خانگی، صنعتی، و...) • پارامترهای تولیدی سمت ژنراتورها و مولدها • پارامترهای مربوط به سیستم‌های کنترل در سمت تولید و سمت مصرف کننده مربوط به کنترل ولتاژ، مصرف و تولید توان • حضور و یا

عدم حضور خطوط حامل انرژی برق و تغییرات پارامترهای آنها بر اساس شرایط جوی و محلی پارامترهای مربوط به تلفیق انرژی‌های نو در شبکه توزیع و انتقال پارامترهای مربوط به حضور خودروهای برقی در ابعاد وسیع در شبکه حضور خودروهای برقی و تولید احتمالی توربین‌های بادی، به عنوان یکی از مهمترین منابع تولید پراکنده، در شبکه برق از جمله مواردی است که بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۰, ۱۱]. همچنین حضور خودروهای هیبرید و رفتار احتمالی شارژ آنها در ایستگاه‌های شارژ نیز جزو مواردی است که در تحقیقات اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

۵,۱. رفتار احتمالی توربین‌های بادی در شبکه قدرت

با توجه به رفتار احتمالی سرعت باد، توان تولیدی توربین‌های بادی به صورت تصادفی تغییر می‌کند. مدل‌های متنوعی از مدلسازی سرعت باد و توان تولیدی توربین‌های بادی پیشنهاد شده است [۱۲]. معمولا سرعت باد را با توزیع تصادفی weibull مدل می‌کنند. البته در بعضی موارد به منظور ساده سازی معادلات از توزیع نرمال بهره می‌گیرند [۱۳]. سرعت باد از تابع توزیع احتمال زیر به دست می‌آید:

(۷)

$$fv_{wf}(v_{wf}) - \frac{\beta}{n}(\frac{fv_{wf}}{n})^{\beta-1}e^{-(\frac{fv_{wf}}{\beta})^{\beta}}$$

که در این رابطه $f_{V_{wf}}(V_{wf})$ احتمال این که باد با سرعت Vwf در منطقه باشد. B و n ضرایب مربوط به معادله ی weibull می‌باشند. بنابراین با محاسبه ی سرعت باد در محل مزرعه ی توربین‌های بادی می‌توان توان تولیدی آنها را محاسبه کرد. توان تولیدی توربین‌های بادی از رابطه ی زیر محاسبه می‌شود [۱۴].

(۸)

$$P_{wf} = \begin{Bmatrix} 0 \\ p_r(\frac{v_{wf} - V_{cutin}}{v_r - V_{cutin}}) \\ p_r \end{Bmatrix}$$

$$V_{wf} \le V_{cutin} \quad or \quad V_{wf} \ge V_{cutin}$$

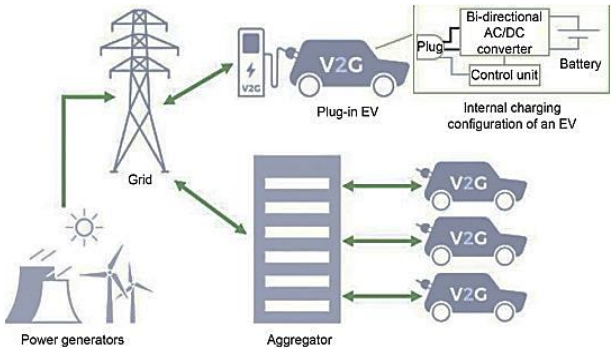
$$V_{cutin} < V_{wf} < V_{cutin}$$

$$V_r < V_{wf} < V_{cutin}$$

Pwf توان تولیدی مزرعه ی بادی، P توان نامی‌آن، با سرعت نامی‌باد که مزرعه ی بادی می‌تواند توان تولید کند، Vcutin و Vcutout به ترتیب سرعت باد در لحظه ی قطع از پایین و بالا می‌باشد.

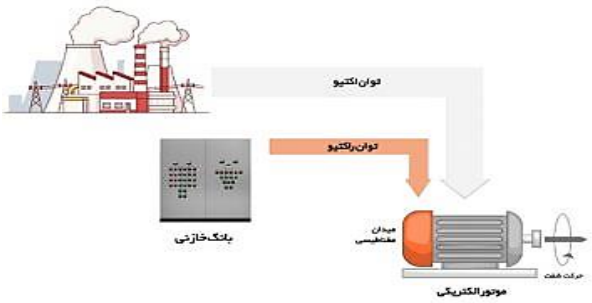
۵,۲. بررسی احتمالی حضور خودروهای برقی

در یک شبکه توزیع می‌تواند تعداد قابل توجهی خودروی برقی به صورت احتمالی از برق به منظور شارژ باطری خودرو استفاده نماید. توانی که خودروهای برقی در پارکینگ یا محل شارژ گیری از شبکه دریافت می‌کنند می‌تواند باعث کاهش شدید ولتاژ در برخی مناطق شود [۲۰]، به علاوه اینکه در شبکه‌های توزیع این خودروها شارژ می‌شوند.



شکل ۳: اتصال خودرو به شبکه قدرت بصورتV2G

اتصال خودرو به شبکه (Vehicle to grid) بیانگر سیستمی‌است که در آن خودروهای برقی قابل شارژ توانایی مخابره اطلاعات با شبکه برق را در راستای ارائه توان الکتریکی (دشارژ)، یا تنظیم میزان شارژ خودرو دارند. بنابراین شرایط برای جبرانسازی میزان توان مصرفی دشوار می‌باشد. در مورد رفتار احتمالی خودروهای برقی مدل بسیار دقیقی در دسترس نیست [۱۰]. مدل‌هایی که از رفتار احتمالی خودروهای هیبرید در دست است شامل بررسی راندمان قسمت الکتریکی خودرو نسبت به کل سیستم قدرت خودرو می‌باشد.



شکل ۴: تبادل انرژی در اتصال خودرو هی‌بری‌دی به شبکه

رفتار احتمالی شارژ خودروهای هیبرید شامل پارامترهای مختلفی می‌باشد که در این پروژه به تعدادی از آنها پرداخته می‌شود [۱۰] شرایط کار کرد را می‌توان برای خودروی هیبرید تعریف کرد که نشان دهنده ی میزان کل انرژی مصرف شده توسط باتری و کل انرژی ورودی به منظور حرکت خودرو می‌باشد. شرایط کار کرد WEv به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۹)

$$W_{EV} = (1 + \frac{P_E}{P_B})^{-1}$$

در این رابطه، PE و PB به ترتیب کل توان ورودی به سیستم حرکت (سیستم احتراق داخلی و سیستم الکتریکی و توان مورد نیاز به منظور تحریک قسمت الکتریکی می‌باشد. شایان ذکر است که این پارامتر برای خودرویی که در محل شارژگیری در حال شارژ است صفر و برای خودروی برقی با باطری این مقدار ۱ می‌باشد. و ظرفیت کل باتری خودروی هیبرید CB یکی از پارامترهای کلیدی می‌باشد که در عملکرد و مسافت رانندگی خودرو تأثیر به سزایی دارد. ظرفیت باتری می‌تواند با شرایط کارکرد باتری تقابل داشته باشند. بنابراین می‌توان این دو پارامتر را به صورت پارامترهای وابسته نشان داد. ماتریس کوواریانس C ضرایب کوواریانس و واریانس این دو پارامتر را نشان می‌دهد.

(۱۰)

$$c = \begin{bmatrix} \sigma^2_{W_{EV}} & M \\ M & \sigma^2_{C_B} \end{bmatrix}$$

در این رابطه σ^2_{wgv} و σ^2_{CB} به ترتیب واریانس‌های دو متغیر WEv و CD می‌باشند. ضریب M ضریب کوواریانس بین این دو متغیر می‌باشد. راندمان یک خودروی هیبرید با ηPHEV نمایش داده میشود که متناسب با تغییرات WEv می‌باشد. راندمان خودروی هیبرید میزان مصرف انرژی خودرو را برای واحد مسافت مایل) نشان می‌دهد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۱۱)

$$n_{PHEV} = a_E(W_{EV})^{\beta E}$$

ضرایب α_E وβ_E وابسته به مشخصه‌های خودروی هیبرید می‌باشد. یک خودروی هیبرید در طول مدت یک روز می‌تواند دفعات متعددی عمل شارژ را انجام دهد. با توجه به رفتار تصادفی خودروی هیبرید می‌توان مسافتی را که در طول یک روز طی می‌کند را به صورت توزیع لگاریتمی‌بیان کرد [۲۳]. اگر مسافت طی شده در طول روز توسط خودروی هیبرید Md باید می‌توان آن را به صورت زیر بیان کرد:

$$M_d = e^{(\mu_m + \sigma_m . N)} \qquad (۱۲)$$

در این رابطه N متغیر تصادفی نرمال استاندارد می‌باشد. پارامترهای توزیع لگاریتم طبیعی را می‌توان با محاسبه ی میانگین و انحراف معیار متغیر Md محاسبه نمود:

(۱۳)

$$\mu_m = ln\left(\frac{\mu^2_{M_d}}{\sqrt{\mu^2_{M_d} + \sigma^2_{M_d}}}\right)$$

$$\sigma_m = \sqrt{ln\left(1 + \frac{\mu^2_{M_d}}{\mu^2_{M_d}}\right)}$$

با داشتن راندمان مصرف انرژی خودروی هیبرید به ازای هر مایل (ηPHEV) و مسافت طی شده در طول روز، می‌توان میزان انرژی مورد نیاز برای شارژ دوباره ی خودروی هیبرید DE را محاسبه کرد:

(۱۴)

$$D_E = \begin{cases} C_B, & M_d \geq M_E \\ M_d, E_m & M_d \geq M_E \end{cases}$$

ME بیشترین مسافتی می‌باشد که یک خودروی هیبرید می‌تواند در حالت الکتریکی طی کند و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۱۵)

$$M_E = \frac{C_B}{n_{PHEV}} = \frac{C_B}{[a_E(W_{EV})^{\beta_E}]}$$

۵،۲،۱. مدل احتمالی شارژ چند خودروی هیبرید

با استفاده از تئوری ترتیب می‌توان خودروهای هیبرید که به ایستگاه شارژ وصل هستند را مدل کرد به این صورت که مشتری‌های محل شارژگیری به ترتیب به صورت M / M / c سرویس دهی می‌شوند که در این ترتیب M اول زمانی می‌باشد که مشتری وارد محل شارژگیری می‌شود و آن را می‌توان با توزیع نمایی با میانگین T نمایش داد، M دوم سرویس دهی مشتری به مشتری می‌باشد که این پارامتر را نیز با توزیع نمایی با میانگین Tu محاسبه می‌شود و ع ماکزیمم مشتری‌هایی هستند که در ایستگاه شارژگیری می‌توانند به طور همزمان سرویس دهی شوند. اگر n خودروی هیبرید به صورت همزمان بخواهند با ترتیب ذکر شده شارژ شوند، یک توزیع گسسته به فرم زیر را خواهند داشت[۱۶]:

(۱۶)

$$p_n = \begin{cases} \left(\sum_{i=0}^{c-1} \frac{(c\rho)^i}{i!} + \frac{(c\rho)^c}{c!}.\frac{1}{1-\rho}\right)^{-1} & \text{n} = 0 \\ \frac{(c\rho)^n}{n!}.p_0 & \text{n} = 1, 2, \dots, \text{c}. \end{cases}$$

که در این رابطه م نرخ شلوغی ایستگاه می‌باشد که با رابطه ی زیر بدست می‌آید:

$$\text{p} = \frac{T_\mu}{cT_\lambda} \qquad (۱۷)$$

می‌توان زمان سرویس دهی برای شارژ یک خودروی هیبرید را محاسبه کرد با در نظر گرفتن اینکه این مدت زمان از تابع توزیع نمایی با میانگین Tu تبعیت می‌کند و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$T = -T_\mu.\ln(U) \qquad (۱۸)$$

در این رابطه U یک تابع توزیع یکنواخت در بازه ی (۰، ۱) می‌باشد. نکته ای که در اینجا باید به آن اشاره شود این است که یک خودروی هیبرید می‌تواند در یک زمان دلخواهی شارژ شود و این مدت زمان به عوامل مختلفی مانند رفتار مشتری، محدودیت‌های سرویس دهی در ایستگاه شارژ و ظرفیت باتری بستگی دارد. بنابراین زمان T را به یک بازه ی معین [Tmin , Tmax] محدود می‌کنند که به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۱۹)

$$T = \begin{Bmatrix} T_{min}, & T \geq T_{min} \\ -T_{min}.\ln(U) & T_{min} < T < T_{max} \\ T_{max}, & T \geq T_{max} \end{Bmatrix}$$

با توجه به اینکه تنها سه نوع شارژ باتری‌های PHEV موجود می‌باشد (آهسته، متوسط، سریع برای مشتری‌ها مطلوب این است که باتری‌های خود را در مدت زمان کوتاهی با شارژ بیشتری شارژ کنند (شارژ نوع ۳). البته محدودیتهای بسیاری می‌تواند روی نوع شارژ خودروها تأثیر گذار باشد که از جمله ی آن محدودیت زمان مشتریان و ظرفیت شبکه توزیع می‌توان نام برد. در این پروژه از شارژرهای سطح ۱ و ۳ استفاده می‌کنند [۱۵]. سطح ولتاژ و جریان نامی‌این شارژرها مشخص می‌باشد. بنابراین با دانستن نوع شارژر می‌توان متوسط جریان شارژ خودروی هیبرید را توسط رابطه ی زیر بدست آورد :

$$I = min\left\{\frac{D_E}{V.T}, I_{max}\right\} \qquad (۲۰)$$

در این رابطه V و Imax مشخصه‌های الکتریکی شارژر می‌باشند.

در نهایت برای تعداد کل n خودروی هیبرید که در ایستگاه شارژ خودروی برقی شارژ می‌شوند می‌توان توان کل شارژ شده توسط خودروها را از رابطه ی زیر بدست آوردن

$$P = \sum_{i=1}^{n} V.I_i \qquad (۲۱)$$

در این رابطه P توان کل شارژی خودروهای هیبرید، Ii جریان شارژی توسط تامین خودروی برقی می‌باشد.

۶. پخش بار احتمالی و معادلات حاکم بر آن

اگر در معادلات پخش بار قطعی، ورودی و خروجی معادلات را به گونه ای چینش کرد که این معادلات به صورت نشان داده شده در رابطه ی زیر در آیند:

$$Y=h(x) \qquad (۲۲)$$

که در این رابطه، بردار X شامل ورودی‌های پخش بار، اندازه ولتاژ باس‌های PV، توان‌های اکتیو و راکتیو بارها، پارامترهای خطوط) و بردار Y شامل خروجی‌های پخش بار (زاویه ی ولتاژهای باس‌های PV، اندازه و ولتاژ باس‌های PQ میزان توان تولیدی باس اسلک) می‌باشد. اگر عضوهای بردار X به صورت احتمالی باشند Y نیز به تبع آن رفتاری احتمالی خواهد داشت. بنابراین روش‌های مختلفی ارائه شده است تا بتوانند این معادلات را تحلیل کنند.

$$Y=h(x) \qquad (۲۳)$$

۷. الگوریتم پیشنهادی

روش ارائه شده در این پروژه مبتنی بر روش‌های غیر پارامتری می‌باشد که به منظور تخمین چگالی متغیرهای تصادفی استفاده می‌شود. از آنجایی که معادلات پخش بار احتمالی به صورت غیرخطی تعریف شده اند، به نظر می‌رسد که روش‌های غیر پارامتری با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد آنها بسیار مفید و کارآمد می‌باشند. از روش‌های غیر پارامتری زمانی استفاده می‌شود که اطلاعاتی از تابع توزیع احتمال متغیرهای تصادفی در اختیار نباشد. بنابراین با داشتن داده‌های آماری از قبل می‌توان مدلی از خروجی معادلات احتمالاتی تخمین زد که این مدل تخمینی به مدل واقعی و محقق بسیار نزدیک است. آقای امانوئل پارزن در سال ۱۹۶۱ میلادی ایده ای در زمینه ی تخمین چگالی احتمال متغیرهای تصادفی بر مبنای مدلی غیر پارامتری ارائه داد [۲۹]. بر اساس این روش احتمال نقاط مورد نظر به صورت میانگین احتمال رویت بردار نقاط نمونه ی تصادفی در فضای اطراف نقطه ی مورد نظر می‌باشد. این فضا برای متغیرهای تصادفی مستقل به صورت یک بعدی و برای متغیرهای چند متغیره، چند بعدی خواهد بود. و در این روش با در نظر گرفتن نمونه‌های تصادفی به دست آمده از داده‌های ضبط شده و با روش‌های محاسبات مهندسی، پنجره‌های پارزن حول نقاطی که چگالی آنها قرار است تخمین زده بشود در نظر گرفته می‌شود.

۷,۱. روش پیشنهادی به زبان ریاضی

می‌توان روش پیشنهادی را به زبان ریاضی بیان کرد: احتمال آنکه n نمونه ی تصادفی در ناحیه ی ۳ قرار بگیرد برابر است با:

$$P[X \in R] = \int_R f_X(t)dt \qquad (۲۴)$$

که در آن fx (x) تابع چگالی احتمال حضور n نقطه در ناحیه $\Re$ می‌باشد. انتگرال بیانگر متوسط مقدار تابع چگالی در ناحیه ی $\Re$ می‌باشد. در این جا فرض بر این است که fx(x) در ناحیه ی $\Re$ مقدار ثابتی داشته باشد به گونه ای که می‌توان گفت:

$$\frac{\kappa_j \epsilon \Re}{\kappa_n} \approx P[X \in \Re] = \int_{\Re} \hat{f}(\tau)d\tau \approx \hat{f}(x).V_{\Re} \qquad (۲۵)$$

که f تابع چگالی تخمین زده شده در نقطه ی X و $V\Re$ حجم مربوط به این ناحیه می‌باشد.

Kj و Kn به ترتیب ک نقاط نمونه و نقاطی هستند که در ناحیه ی $\Re$ می‌افتند. با توجه به رابطه ی قبل می‌توان صورت ساده تری از تابع چگالی احتمال f(x)معرفی کرد

$$\hat{f}(x) \approx \frac{\kappa_j \epsilon \Re}{\kappa_n} \cdot \frac{1}{V_{\Re}} \qquad (۲۶)$$

احتمال آن که بردار تصادفی X که از توزیع تصادفی p(x) در ناحیه ی $\Re$ قرار بگیرد برابر است با:

$$\alpha = P[X \epsilon \Re] = \int_{\Re} P(\tau')d\tau' \qquad (۲۷)$$

حال اگر بخواهیم رفتار هر نمونه ی تصادفی را که در پنجره‌های پارزن می‌افتند بدست آوریم، احتمال حضور یا عدم حضور نقاط در پنجره ی پارزن را با توزیع دوجمله ای مدل می‌کنیم

$$P[K = \nu] = \binom{\nu}{\eta} \alpha^{\nu}(1-\alpha)^{\eta-\nu} \qquad (۲۸)$$

که در آن K احتمال دوجمله ای که تعداد ν نقطه از η نقطه در پنجره ی پارزن قرار گیرد. برای اینکه بتوانیم تابع چگالی (P x) را تخمین بزنیم دو شرط نیاز است که به آن توجه شود. بنابراین

$$\int_{\Re} P(\tau')d\tau' \approx P(\tau)V_{\Re} \qquad (۲۹)$$

P (x) را می‌توان به صورت زیر با توجه به جایگذاری رابطه ی ۳-۶ در ۳-۴ بدست آوردن

$$P(x) \approx \frac{\frac{\nu}{\eta}}{V_{\Re}} \qquad (۳۰)$$

از این رابطه این نتیجه بدست می‌آید که p(x)به دو پارامتر محاسباتی وابسته است:

۱. η که تعداد نقاط نمونه گیری می‌باشد

۲. $V\Re$ که حجم پنجره ی پارزن است.

در این مطالعه، برای هر پنجره یک حجم ثابت در نظر گرفته شده است تا بتوان احتمال حضور نقاط در داخل پنجره را بدست آورد. به منظور تخمین تابع چگالی احتمال یک متغیر تصادفی در نقطه ی دلخواه، روش پیشنهادی به صورت مرحله ای در زیر معرفی شده است:

• مرحله ۱: فرض کنید ناحیه ی $\Re$ یک چند وجهی با D بعد و ضلع λ باشد، که λD = D و $V\Re$ طول بردار تصادفی X می‌باشد.

• مرحله ۲: ناحیه ی $\Re$ به مرکز نقطه ی x در نظر گرفته می‌شود و ν به عنوان تعداد نقاط نمونه ی تصادفی که در ناحیه ی $\Re$ می‌افتند با استفاده از رابطه ی (۳-۵) محاسبه می‌شود.

• مرحله ۳: یک تابع پنجره تعریف می‌شود که حضور هر کدام از نقاط نمونه را در این پنجره ارزیابی می‌کند. فرم عمومی‌این پنجره به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۳۱)

$$\phi(u_j) = \begin{cases} 1 & |u_j - \mu| \le \frac{1}{2}\ j = 1,2,\dots,D \\ 0 & Otherwise \end{cases}$$

خروجی این رابطه ۱ می‌باشد هنگامی‌که ما در این پنجره به مرکز μ قرار گیرد. با استفاده از این رابطه می‌توان به ازای تمام نقاط ν، این مقدار را محاسبه کرد:

$$v = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda^D}\ \emptyset\ (\frac{\mu - u_j}{\lambda}) \qquad (۳۲)$$

مرحله ۴: با استفاده از رابطه ی (۳-۹) می‌توان تابع چگالی احتمال P ϕ در نقطه X تخمین زد که رابطه ی آن به شکل زیر می‌باشد:

$$p_{\emptyset}(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda^D}\ \emptyset\ (\frac{\mu - \mu_j}{\lambda}) \qquad (۳۳)$$

می‌توان ثابت کرد که مقدار تابع چگالی تخمین زده شده توسط رابطه ی (۳-۱۰) خود یک تابع توزیع احتمال می‌باشد:

(۳۴)

$$\forall x\ \exists\ p_{\emptyset}(x) \ge 0$$

(۳۵)

$$\int \hat{P}_{\phi}(u)du = \int \frac{1}{\eta}\sum_{i=1}^{\eta} \frac{1}{\lambda^D}\phi\left(\frac{\mu - u_i}{\lambda}\right)du = \frac{1}{\eta}\frac{1}{\lambda^D}\sum_{i=1}^{\eta}\lambda^D = 1$$

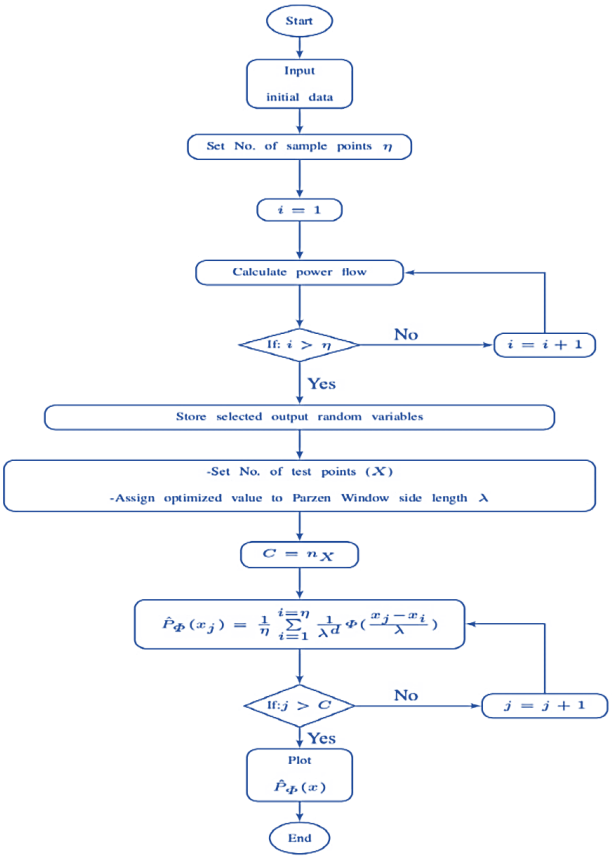
انتگرال بالا مجموع کل احتمالات نقاط موجود در پنجره‌های پارزن را با توجه به مقادیر تابع پنجره به ازای نقاط مختلف را بدست می‌آورد. از آنجایی که مجموع کل احتمالات نمونه‌های تصادفی برابر یک باید باشد، رابطه ی (۳-۱۲) به خوبی این مسأله را اثبات می‌کند. بنابراین با توجه به اثبات رابطه ی فوق می‌توان هر نوع از تابع پنجره ای برای نمونه‌های تصادفی در نظر گرفت تا بتوان تابع چگالی احتمال خروجی‌ها را بدست آورد.

۸. بررسی نتایج

۸,۱. محاسبه پخش بار احتمالی در سطح انتقال با استفاده از روش پیشنهادی

به منظور محاسبه‌ی پخش بار احتمالی با استفاده از روش پیشنهادی به این صورت عمل می‌کنیم که با در نظر گرفتن تعدادی داده‌های تصادفی ورودی به عنوان نمونه به معادلات پخش بار و حل آنها با استفاده از روشAC ، خروجی‌هایی بدست خواهند آمد. با استفاده از الگوریتم پیشنهادی ابتدا پنجره‌های پارزن متناسب با پراکندگی و انحراف معیار داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. نقاطی که تابع چگالی احتمال در آن نقاط قرار است بدست آید در مرکز پنجره‌ها در نظر گرفته می‌شود و احتمال حضور نمونه‌های تصادفی در این پنجره‌ها محاسبه می‌شود. با محاسبه ی میانگین این نقاط می‌توان تابع چگالی احتمال را در نقاط مرکز پنجره‌ها محاسبه کرد.

به منظور ترسیم روند محاسبه ی توابع چگالی و گشتاور احتمال خروجی پخش بار احتمالی با استفاده از روش پیشنهادی فلوچارت مربوطه در شکل (۴) پیشنهاد شده است.



شکل۵: فلوچارت محاسبه ی پخش بار احتمالی در شبکه انتقال

در این فلوچارت، مقادیر اولیه ی ورودی (پارامترهای خطوط انتقال، بارها، ..) و تعداد نقاط نمونه مورد نیاز برای روش پنجره ی پارزن در مرحله ی ۱ در نظر گرفته می‌شود. متعاقبا پارامترهای محاسباتی پنجره ی پارزن متناسب با نمونه‌های ورودی در مرحله ی ۲ محاسبه می‌شود. در مرحله ی ۳ عملیات تخمین تابع چگالی با استفاده از روش پیشنهادی زده می‌شود و در نهایت با در نظر گرفتن این الگوریتم برای تمام نقاطی که تخمین برای آنها زده می‌شود می‌توان تابع چگالی احتمال را محاسبه کرد.

۸,۲. محاسبه پخش بار احتمالی در سطح توزیع با استفاده از روش پیشنهادی

منظور بررسی احتمالی پخش بار در شبکه توزیع، همانند شبکه انتقال تعدادی نقاط محدود به صورت ورودی به معادلات پخش بار در سطح توزیع می‌دهیم. با توجه به خروجی‌هایی که از معادلات پخش بار بر اساس روش FBS به دست می‌آید می‌توان پنجره‌های پارزن را تعریف کرد. این پنجره‌ها به مرکزیت نقاطی که قرار است چگالی احتمال در آن نقاط تخمین زده شود می‌باشند و با استفاده از روش هموارسازی نقاط نمونه ی محدود می‌توان چگالی احتمال را در نقاط مرکز پنجره‌ها تخمین زد.

۹. جمع‌بندی

با ورود تجهیزات مصرفی نظیر خودروهای هیبریدی، پخش بار احتمالی قیود بیشتری خواهد داشت. در این مقاله، یک الگوریتم پیشنهادی در پخش بار احتمالی به عنوان اساس مطالعات و برنامه ریزی در سیستم‌های قدرت به کار گرفته شده است جهت ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی، پخش بار احتمالی در دو شبکه انتقال و توزیع با استفاده از تحلیل‌های متفاوت در شبکه‌های تست با ابعاد مختلف ارائه شد که در آن در سه مرحله پخش بار انجام می‌گیرد (محاسبه ی جریان تزریقی گره‌ها، حرکت پس رونده و حرکت پیش رونده). با انجام این عملیات بردار خروجی که شامل اندازه ی ولتاژها می‌باشد به دست می‌آید. نقاط مورد نظر را که در آن تابع چگالی احتمال قرار است محاسبه شود را در نظر می‌گیریم. با توجه به این نقاط می‌توان پارامترهای محاسباتی روش هموارسازی محدود را به دست آورده و طول پنجره ی پارزن را به مقدار بهینه برساند. بدر این روش می‌توان مقدار تابع چگالی احتمال را در نقاط مورد نظر بدست آورده و در نهایت آن را رسم کرد. بدیهی است که با داشتن تابع چگالی احتمال می‌توان گشتاورهای احتمال متغیر تصادفی مورد نظر نیز را بدست آورده و معایب روشهای پیشین تا حدی برطرف کرد.

۱۰. مراجع

[1] M. Hollander, D. A. Wolfe, and E. Chicken, Nonparametric statistical methods: John Wiley & Sons, 2013.
[2] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses, and M. A. Masoum, "Voltage profile and THD distortion of residential network with high penetration of Plug-in Electrical Vehicles," in Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010 IEEE PES, 2010, pp. 1-6.
[3] G. R. Cespedes, "New method for the analysis of distribution networks," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol. 5, pp. 391-396, 1990.

[4] D. Das, H. Nagi, and D. Kothari, "Novel method for solving radial distribution networks," IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, vol. 141, pp. 291-298, 1994.
[5] W. Kersting and D. Mendive, "An application of ladder network theory to the solution of three-phase radial load-flow problems," in IEEE Conference Paper presented at the IEEE Winter Power Meeting, New York, 1976.
[6] D. Shirmohammadi, H. Hong, A. Semlyen, and G. Luo, "A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 3, pp. 753-762, 1988.
[7] H. L. Willis, Distributed power generation: planning and evaluation: CRC Press, 2000.
[8] G. Li and X.-P. Zhang, "Modeling of plug-in hybrid electric vehicle charging demand in probabilistic power flow calculations," Smart Grid, IEEE Transactions on, vol. 3, pp. 492-499, 2012.
[9] J. Slootweg and W. Kling, "The impact of large scale wind power generation on power system oscillations," Electric Power Systems Research, vol. 67, pp. 9-20, 2003.
[10] T. Ackermann, Wind power in power systems vol. 140: Wiley Online Library, 2005.
[11] R. Karki, P. Hu, and R. Billinton, "A simplified wind power generation model for reliability evaluation," Energy conversion, IEEE Transactions on, vol. 21, pp. 533-540, 2006.
[12] M. Aien, M. Fotuhi-Firuzabad, and F. Aminifar, "Probabilistic load flow in correlated uncertain environment using unscented transformation," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 27, pp. 2233-2241, 2012.
[13] J. Morales, L. Baringo, A. Conejo, and R. Mínguez, "Probabilistic power flow with correlated wind sources," IET generation, transmission & distribution, vol. 4, pp. 641-651,2010.
[14] J. Usaola, "Probabilistic load flow with correlated wind power injections," Electric Power Systems Research, vol. 80, pp. 528-536, 2010.
[15] J. Carlin, "A theoretical model for estimating the capacity credit of wind power in the presence of correlation between wind speed and electricity demand," Solar energy, vol. 31, pp. 511-515, 1983.
[16] B. Martin and J. Carlin, "Wind-Load Correlation and Estimates of the Ca|;: acity Credit of Wind Power: An mpirical Investigation," Wind Engineering, vol. 7, p. 79, 1983.
[17] S. Zhao, L. Xie, and C. Singh, "Cross-correlation study of onshore/offshore wind generation and load in Texas," in 2013 North American Power Symposium (NAPS), 2013.
[18] R. Al Abri, E. F. El-Saadany, and Y. M. Atwa, "Optimal placement and sizing method to improve the voltage stability margin in a distribution system using distributed generation," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 28, pp. 326-334, 2013.
[19] G. J. Anders, "Probability concepts in electric power systems," 1989.
[20] D. Villanueva, J. L. Pazos, and A. Feijoo, "Probabilistic load flow including wind power generation," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 26, pp. 1659-1667, 2011.
[21 R. Allan and A. L. Da Silva, "Probabilistic load flow using multilinearisations," in IEE Proceedings C (Generation, Transmission and Distribution), 1981, pp. 280-287.
[22] M. Fan, V. Vittal, G. T. Heydt, and R. Ayyanar, "Probabilistic power flow studies for transmission systems with photovoltaic generation using cumulants," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 27, pp. 2251-2261, 2012.
[23] F. Ruiz-Rodriguez, J. Hernandez, and F. Jurado, "Probabilistic load flow for photovoltaic distributed generation using the Cornish–Fisher expansion," Electric Power Systems Research, vol. 89, pp. 129-138, 2012.
[24] P. Zhang and S. T. Lee, "Probabilistic load flow computation using the method of combined cumulants and Gram-Charlier expansion," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 19, pp. 676-682, 2004.
[3325 B. Borkowska, "Probabilistic load flow," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 93, pp. 752-759, 1974.
[26] D. Silva, "Probabilistic load flow considering dependence between input nodal powers," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp. 1524-1530, 1984.
[27] M. Madrigal, K. Ponnambalam, and V. Quintana, "Probabilistic optimal power flow," in Electrical and Computer Engineering, 1998.

IEEE Canadian Conference on, 1998, pp. 385-388.
[28] E. Rosenblueth, "Point estimates for probability moments," Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 72, pp. 3812-3814, 1975.
[29] H. Hong, "An efficient point estimate method for probabilistic analysis," Reliability Engineering & System Safety, vol. 59, pp. 261-267, 1998.

۳۰- زندی. آرمان، عباســـی، یاســـین، ۱۴۰۰، پخش بار احتمالی، پایان نامه کارشناسی مهندس برق.

KN0-0903-3703

آینده و عملکرد فیبرهای کریستالی فوتونیکی در علم پزشکی

مهران کریمیان‌ریزی [۱] mehrankarimian97@ms.tabrozu.ac.ir
[۱] کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی دانشگاه تبریز، ایران

چکیده: فیبرهای کریستال نوری سنتی در کاربردهای مخابراتی و غیر مخابراتی بسیار خوب عمل می‌کنند، اما یک سری محدودیت‌های اساسی مربوط به ساختار آن‌ها وجود دارد. این فیبرها دارای قوانین طراحی خاصی هستند که برای طراحی باید آن‌ها را مد نظر قرار داد از جمله: قطر هسته محدود در مد تک حالته، طول موج قطع مودال و انتخاب مواد (متریال) محدود می‌باشد. طراحی PCFها بسیار انعطاف پذیر و متنوع است. چندین پارامتر برای تغییرات در ساختار وجود دارد: گام شبکه (ثابت شبکه)، قطر هسته، قطر حفره‌ها، ضریب شکست مواد بکار رفته. آزادی در طراحی به فرد امکان می‌دهد تا فیبرهای تک حالته بی‌پایانی را به وجود آورد که در محدوده مد تک حالته هستند و طول موج قطعی وجود ندارد. با ایجاد تغییرات در ساختار می‌توان خواص پراکندگی مطلوب فیبر مورد نظرمان را طراحی کرد. PCFهایی که پراکندگی صفر، کم یا غیرعادی در طول موج‌های مرئی دارند، می‌توانند طراحی و ساخته شوند. پراکندگی را می‌توان در محدوده بسیار وسیعی نیز گستراند و به وجود آورد. ترکیب پراکندگی غیرعادی با نواحی میدان حالت کوچک منجر به الیاف غیرخطی برجسته می‌شود. همچنین در ادامه به بررسی یک ابرپیوسته (SC) باند پهن در فیبر کریستال فوتونیک بسیار غیرخطی (HN-PCF) در طول موج‌های مرکزی $0/8\mu m$ ،$3/1\mu m$ و $55/1\mu m$ که می‌تواند در سیستم OCT با وضوح فوق‌العاده قابل اجرا باشد، را مرور می‌کنیم. برای محدوده و فیبرهای نوری برای چشم پزشکی، پوست، تصویربرداری دندان و همچنین استفاده از ساختارهای PCF برای تشخیص زودهنگام سرطان است.

کلید واژه: *فیبر کریستال فوتونیکی، بیوسنسور، سنجش غیرتهاجمی، توموگرافی انسجام نوری*

۱. مقدمه

توموگرافی انسجام نوری[۱] یک فناوری جدید برای تصویربرداری مقطعی غیرتهاجمی‌از ساختار بافت در سیستم بیولوژیکی با هدایت یک پرتو متمرکز نور به سمت بافت مورد نظر است [۱]. این شبیه به تصویربرداری اولتراسوند[۲] یا رادار است، جدای از اینکه از نور به جای صدا یا امواج رادیویی استفاده می‌کند. در مجموع، بر خلاف اولتراسوند، OCT نیازی به تماس مستقیم با بافت مورد نظر برای تصویر برداری ندارد. OCT به محدوده نوری بستگی دارد. به عبارت دیگر، فاصله‌ها با تابش یک پرتو نور به جسم و سپس ثبت تأخیر زمانی پالس نوری نور اندازه گیری می‌شود. از آنجایی که سرعت نور بسیار زیاد است، اندازه‌گیری مستقیم تأخیر زمانیپالس نوری بازتاب‌ها ممکن نیست. بنابراین، تکنیکی به نام تداخل‌سنجی کم پیوستگی (تداخل‌سنجی همدوسی ضعیف)[۳]، نور منعکس شده از بافت بیولوژیکی را با بازتابی از مسیر مرجع با طول شناخته شده مقایسه می‌کند. ساختارهای مختلف داخلی تأخیرهای زمانی متفاوتی ایجاد

[۱] Optical coherence tomography (OCT)

[۲] ultrasound

[۳] Low-coherence interferometry

می‌کنند و تصاویر مقطعی سازه‌ها را می‌توان با اسکن پرتو نوری فرودی تولید کرد. سیستم‌های OCT قبلی منطقاً به ثانیه‌ها یا دقیقه‌های زیادی نیاز داشتند تا یک تصویر OCT واحد از ساختار بافت تولید کنند. برای پاسخ به چنین مشکلاتی، تکنیک‌هایی برای اسکن بافت مرجع با سرعت‌های بالا برای فعال کردن تصویربرداری OCT زمان واقعی توسعه داده شده است[۲] . OCT را می‌توان در مواردی استفاده کرد که بیوپسی (نمونه برداری)[۴] مکرر ناامن یا غیرممکن باشد، مانند تصویربرداری از شبکیه، عروق کرونر یا بافت عصبی OCT. بیشترین تأثیر را در چشم پزشکی داشته است، زیرا می‌توان از آن برای ایجاد تصاویر مقطعی از آسیب شناسی شبکیه با وضوح بالاتر نسبت به هر روش تصویربرداری غیرتهاجمی‌دیگر استفاده کرد. امروزه OCT یک دانش بالقوه است که نه تنها برای چشم پزشکی، بلکه برای پوست، دندان و همچنین برای تشخیص زودهنگام سرطان در اندام‌های گوارشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدوده طول موج منبع نور OCT از باند ۰/۸μm تا ۱/۶μm پخش می‌شود. این منطقه طیفی برای OCT مورد توجه خاص است زیرا عمیقاً به بافت بیولوژیکی نفوذ می‌کند و امکان تصویربرداری با تفکیک طیفی از نوارهای جذب آب را فراهم می‌کند. در این ناحیه طیفی، میرایی به دلیل جذب و پراکندگی حداقل است. تصویربرداری OCT در ناحیه طیفی از ۰/۸μm تا ۱/۶μm به پهنای باند بسیار وسیعی نیاز دارد زیرا وضوح طولی به طول انسجام بستگی دارد. طول همدوسی با پهنای باند نسبت معکوس و متناسب با مجذور طول موج مرکز منبع نور است. این را می‌توان با نور ابرپیوسته[۵] SC با استفاده از الیاف کریستال فوتونی بدست آورد. تصویربرداری OCT چشم پزشکی و پوست عمدتاً در طول موج مرکزی ۰/۸μm انجام شد [۳]، [۴]. تصویربرداری OCT دندانپزشکی در طول موج ۱/۳μm انجام شد[۴]. در حال حاضر، گزارش شده است که تصویربرداری OCT در منبع نور پهن باند ۱/۵μm تا ۱/۶μm را می‌توان مشتاقانه برای گرفتن تصاویر از نمونه‌های دندان انسان استفاده کرد [۵]. فیبر کریستال فوتونیکی[۶] PCFها برای تولید منبع نور با قدرت بالا در سیستم OCT بسیار هوشمند و سازماندهی شده‌اند. از آنجا که PCFها می‌توانند طیف SC را به دلیل درجه آزادی طراحی خود تولید کنند که امکان افزایش اثرات غیرخطی را با کاهش ناحیه موثر و پراکندگی رنگی متناسب ایجاد می‌کند. در این مقاله سعی شده است تا کاربرد احتمالی PCF موجود در علم پزشکی و همچنین چشم انداز PCF در دستگاه‌های پزشکی نسل بعدی را شرح دهیم.

۲. بررسی ساختار فیبر کریستال فوتونیکی

ایده الیاف کریستال فوتونیکی برای اولین بار توسط Yeh [۶] در سال ۱۹۷۸ ارائه شد. آنها پیشنهاد کردند که یک هسته فیبر را با توری براگ بپو شانند، که شبیه کریستال فوتونیک ۱ بعدی است. یک فیبر کریستال فوتونی ساخته شده از کریستال فوتونیک دو بعدی با یک هسته هوا توسط راسل در سال ۱۹۹۲ ساخته شد و اولین PCF در کنفرانس فیبر نوری (OFC) در سال ۱۹۹۶ گزارش شد[۷]. فیبرهای کریستال فوتونیکی خواص بسیار خوبی در انکسار دوگانه [۸]، پراکندگی، تک قطبی شدن تک حالت [۱]، غیرخطی بودن [۶]، ناحیه حالت مؤثر [۹] و همچنین عملکرد عالی در حسگرهای استفاده شده از فیبر، لیزرها و اپتیک غیرخطی به دست آورده‌اند. چندین سال گذ شته تعداد زیادی از مقالات تحقیقاتی برخی از خواص نوریPCF ها مانند انکسار فوق العاده بالا و پراکندگی رنگی منحصر به فرد را برجسته کرده اند که برای فیبرهای نوری معمولی تقریبا غیرممکن است. PCF متشکل از محیط همگن، سیلیس (شیشه) با شبکه‌ای از حفره‌های هوا است[۳].

کریستال‌های فوتونی موادی می‌با شند که ضریب شکست[۷] در آن‌ها تابعی متناوب از مکان هست (مدولاسیون ضریب شکست دارد) و این تناوب، در ابعادی نزدیک به طول موج نور می‌با شد. واژه کریستال به این دلیل گفته می شود که این مواد از تکرار و تناوب یک سلول اولیه به وجود می‌آیند. کاربرد واژه فوتونی نیز به دلیل تاثیرگذاری کریستال‌های فوتونی بر خصوصیت‌های

[۴] biopsy

[۵] Supercontinum (SC)

[۶] Photonic crystal fiber

[۷] Refractive index

انتشـــار فوتون‌ها اســـت. به عبارت دیگر کریســـتال‌های فوتونی ســـاختارهایی می‌باشـــند که امواج نورانی در بازه‌های فرکانســـی خاصـــی، توانایی عبور از آن ها را ندارند این رفتار در این ســـاختارها همانند رفتاری اســـت که ســـاختارهای نیم رســـانا در برابر عبور الکترون‌ها از خود بروز می‌دهند. به هر ســـاختاری که ضـــریب شـــکســـت آن به طور متناوب تغییر کند، بلور فوتونیکی گفته می‌شـــود. اگر این تکرار در یک بعد باشـــد به بلور تشـــکیل شـــده، بلورهای فوتونیکی یک بعدی نامیده می‌شـــود. تکرار ساختار متناوب در دو و سه بعد نیز بلورهای فوتونیکی دو و سه بعدی را به وجود می‌آورد. اســـاس کار فوتونیک کریســـتال‌ها بر اســـاس تغییر درونی ضـــریب شـــکســـت به صـــورت کم و زیاد در درون کریستال است. انتشار فوتون در داخل این ساختارها به طول موج آن‌ها وابســـته اســـت. طول موج‌هایی از نور که اجازه انتشـــار پیدا می‌کنند، مد نامیده می‌شـــوند و گروهی از مدهای انتشار یافته باند تشکیل می‌دهند. باندهای غیر مجاز فوتونیک کریســـتال باند گپ نامیده می‌شـــوند. با ایجاد تغییراتی اندک در این ســـاختارها و از بین بردن تناوب آن در محل‌هایی خاص می‌توان برای انتشار نور با همان فرکانس خاص راهی ایجاد کرد و پرتوی نور را هدایت نمود. ناحیه هدایت کننده با شـــکســـتن تناوب شـــبکه در مرکز فیبر محقق می‌شـــود. در این مورد، اثر هدایت کننده به دلیل انتشـــار عرضـــی در پشـــت حفره هوای شکاف کریستال فوتونیکی است. اخیراً، اثر هدایت کننده نیز در الیاف حفره[۸] (HFs) با توزیع حفره نامنظم [۱۰] یا حتی با توزیع تصـــادفی [۸] ایجاد شـــده اســـت. در این موارد، برخی از نویســـندگان [۱۱]، [۱۲] محصـــور شـــدن میدان را به بازتاب داخلی کل توصـــیف می‌کنند، زیرا با برداشـــتن یک حفره، ناحیه‌ای با شاخص بالا احاطه شده با شاخص متوسط کمتری به دســـت می‌آید. به هر حال، مکانیســـم هدایت را می‌توان در همه موارد به تداخل‌های متعدد ناشـــی از دوره‌ای یا تصـــادفی حفره‌های هوا واجد شـــرایط دانســـت و در نتیجه، به شـــدت به هندسه مقطع، به‌ویژه به شکل بستگی دارد و بعد، فاصله متقابل و ترتیب حفره‌ها. به همه این دلایل، یک مدل عددی قادر به توصـــیف دقیق خواص غیرعادی هر دو PCF و HF اســـت، تا جایی که قادر به توصیف دقیق ویژگی‌های هندسی مقطع است. رویکرد تفاضـــل محدود اجازه می‌دهد تا اثرات پلاریزاســـیون در نظر گرفته شود، و شاخص‌های موثر حالت به طور مستقیم به عنوان داده‌های خروجی داده می‌شـــوند. این امکان بررســـی پراکندگی رنگی درPCF ها و الیاف به کمک حفره و همچنین درک چگونگی ویژگی‌های هندســـی می‌توانند بر ویژگی‌های انتقال مانند پراکندگی ســـرعت گروه[۹] (GVD) و پراکندگی حالت پلاریزاســـیون در PCF تأثیر بگذارند. تولید ابر پیوســـته باند پهن (SC) در PCF در حال حاضـــر به دلیل پتانســـیل بالای کاربرد در زمینه‌های ارتباطات نوری، توموگرافی انســـجام نوری(OCT) ، مترولوژی نوری[۱۰]، جذب با زمان تفکیک و طیف‌ســـنجی تمرکز زیادی را به خود جلب می‌کند [۵]، [۱۱]، [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]. امکان تصـــویربرداری در مقیاس میکرونی، مقطعی و سه بعدی از بافت‌های بیولوژیکی را فراهم می‌کند.

تصویربرداری OCT با وضوح فوق العاده بالا در ناحیه طیفی از $۱/۰\mu m$ تا $۱/۶\mu m$ به پهنای باند بسیار وسیع نیاز دارد زیرا طول همدوسی به وضوح طولی بستگی دارد. با این حال، این ناحیه طیفی برای OCT مورد توجه خاص است زیرا عمیقاً در بافت بیولوژیکی نفوذ می‌کند و امکان تصویربرداری با تفکیک طیفی از نوارهای جذب آب را فراهم می‌کند. در این ناحیه طیفی، میرایی به دلیل جذب و پراکندگی حداقل است. دیودهای سوپرلومینسانس[۱۱] اغلب برای تصویربرداری OCT استفاده می‌شوند و معمولاً دارای وضوح طولی $۱۵\mu m$-$۱۰\mu m$ هستند [۱۶]. این وضوح برای شناسایی سلول‌های منفرد کافی نیست.

OCTبا وضوح فوق العاده بالا در بافت بیولوژیکی، دستیابی به وضوح طولی بالا در طول موج مرکزی نزدیک به $۱\mu m$ ، $۱/۳\mu m$ و $۱/۵۵\mu m$ ، با لیزرهای فمتوثانیه به عنوان تابع نور انسجام پایین نشان داده شده است. اخیراً، نشان داده شده است که می‌توان با استفاده از HN-PCF با خواص پراکندگی کروماتیک فوق‌العاده‌شده، به طیف گسترده سوپرکانتینوم، وضوح طولی بالا در بافت بیولوژیکی دست یافت[۱۷].

نحوه انتشار نور در داخل فیبرهای کریستال نوری آن را به دو دسته اصلی فیبرهای ضریب هدایت و شکاف باند نوری تقسیم می‌کند. در فیبرهای ضریب هدایت یا هسته جامد، نور شبیه

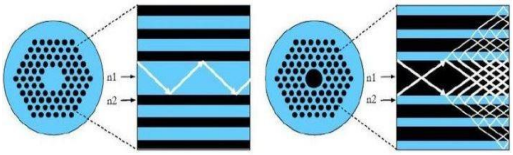
[۸] holey fibers

[۹] group velocity dispersion

[۱۰] Optical metrology

[۱۱] Superluminescent diodes (SLDs)

فیبرهای قدیمی‌در داخل هسته بر اساس قانون بازتاب کلی هدایت می‌شود. ولی در فیبرهای شکاف باند نوری یا هسته توخالی نور از طریق قانون شکاف باند نوری در هسته حبس می‌شود، که برخی از مزایای فیبرهای کریستال فوتونی عبارت است از: اندازه فیزیکی کوچک، نداشتن تداخل‌های الکترومغناطیسی، وزن پایین، توانایی کنترل از راه دور، انعطاف پذیری و استحکام بالا، امکان هدایت موج از طریق هسته تو خالی و جامد با میرایی کمتر، امکان انتقال سیگنال‌هایی با توان بالا، انعطاف پذیری بالا برای حصول ضریب شکست موثر دلخواه، سرعت بالا



شکل ۱: تصویر PCF الف) هسته توخالی ب) هسته جامد [۱۸].

۳. بحث عملکرد فیبر و OCT

ما HN-PCF تولید شده با پهنای باند SC را بازبینی کرده‌ایم که می‌تواند به عنوان منبع نور پالس با قدرت بالا در سیستم OCTبا وضوح فوق‌العاده برای چشم‌پزشکی، پوست و تصویربرداری دندان استفاده شود. علاوه بر این، مهم است که این ساختارHN-PCF در ارتباطات نوری قابل اجرا باشد. این مطالعه اطلاعاتی در مورد وضوح طولی در بافت به ترتیب ۹۷/۰μm، ۰/۸۵μm و ۱/۱μm در طول موج مرکزی ۸/۰μm ، ۱/۳μm و ۱/۵۵μm است. علاوه بر این، اگر نتایج شبیه‌سازی عددی مشخص شود، می‌توان همزمانHN-PCF هایی را با ضرایب غیرخطی بالا با پراکندگی کروماتیک فوق‌العاده مسطح، شیب‌های پراکندگی کم و تلفات محصور شدن بسیار کم به دست آورد. پهنای باند وسیع منبع نور به وضوح بالا برای تصویربرداری OCT روشن در محدوده طول موج ۰/۸μm تا ۱/۶μm اجازه می‌دهد. اگرچه قدرت تفکیک ماشین‌های OCTموجود در حال حاضر قابل توجه است، اما آنها به اندازه کافی بالا نیستند تا همه لایه‌های زیرین شبکیه را به طور واضح شناسایی کنند و تشخیص‌هایی شبیه «بیوپسی» بدهند. وضوح عمدتاً توسط پهنای باند منبع نور محدود می‌شود. معمولاً یک دیود سوپرلومینسانس (SLD) و وضوح افزایش یافته به منابع نور با پهنای باند وسیع تری نیاز دارد. ظهور فناوری لیزر فمتوثانیه با پهنای باند فوق العاده گسترده، امکان توسعه OCT با وضوح فوق العاده بالا را فراهم کرده است. منبع لیزر فمتوثانیه نسبت به منبع لیزر پیکوثانیه گران است و توان برخوردی پایینی دارد. در نتیجه، در حال حاضر محققان به توسعه منابع نوری پیکوثانیه برای استفاده از سیستم OCT با وضوح فوق العاده بالا توجه دارند. منبع لیزر پالسی پیکوثانیه طیف‌های باریک‌تری نسبت به منبع لیزر فمتوثانیه می‌دهد، اما منبع لیزر ارزان‌تر است. یکی دیگر از تحقیقات جالب طراحی و استفاده از میکرو تشدید کننده‌های نوری[۱۲] در تراشه‌های زیستی برای سنجش

میکرو و نانو سیال مبتنی بر فوتونیک از اجزای زیستی نانو مورد بررسی قرار خواهد گرفت. کاربرد اولیه، انجام تست ایمنی چندین نشانگر زیستی سرطان مبتنی بر پروتئین، مانند سرطان کبد، تخمدان یا کولورکتال و پروستات است. با این حال، تقاضای فزاینده برای غربالگری سرطان در مراحل اولیه توسعه، نیاز به تشخیص فوق حساس گونه‌های مرتبط بیولوژیکی در سطح بیان بسیار کم دارد، به طوری که مداخلات پزشکی اولیه می‌تواند پیشرفت سرطان را سرکوب یا حذف کند و میزان مرگ و میر را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. تمام طرح‌ها ساختارهای کریستالی فوتونیک سیلیکونی روی تراشه کاملاً یکپارچه خواهند بود که با استفاده از فرآیندهای ساخت ویفر سازگار با CMOS تحقق می‌یابند.

۴. نتیجه‌گیری

برای ا ستفاده از تعداد کمتر پارامترهای هند سی، این منبع نور (PCF) این پتانسیل را دارد که منابع نوری OCT بر پایه فیبر فشرده، قوی و ارزان ساخته شود و برای کاربردهای بالینی مناسب باشد. در نتیجه، هندسه PCF یکسان را می‌توان در کاربرد های ارتباطی نوری مختلف مانند کنترل پراکندگی، تبدیل طول موج، تولید SC، تقویت پارامتری نوری و غیره استفاده کرد. پشتیبانی PCF قدرت (محصول) را در ناحیه هسته افزایش می‌دهد که برای نوری بسیار ضروری است.

[۱۲] optical micro resonators

دستگاه‌های سنجش و کوپلینگ میدانی هندسه مقطع مختلف PCF مورد استفاده در تجهیزات سنجش شیمیایی و تشخیص پزشکی. راهنما های موج نوری واقعیات هندسه مقطع کاربردهای گسترده ای در ساخت مدارهای نوری مجتمع و فناوری پرتو لیزر دارند. بنابراین می‌توان گفت که اگر PCF را بتوان با هندسه دقیق طراحی کرد، کاربردهای متنوعی در علم پزشکی دارد.

۵. مراجع

[1] Agrawal, A., N. Kejalakshmy, J. Chen, B. M. A. Rahman, and K. T. V. Grattan,.2008"Golden spiral photonic crystal fiber:Polarization and dispersion properties," Opt. Lett., Vol. 33,pp. 2716-2718

[2] Bouma B., Tearney G.J., Boppart S.A., Hee M.R., Brezinski M.E., and Fujimoto J.G.,1995" "Highresolution optical coherence tomographic imaging using a mode-locked Ti:Al2O3 laser source",Opt. Lett., Vol. 20, No. 13, pp. 1486-1488, ISSN 0146-9592.

[3] Begum, F., Namihira, Y., Kinjo, T. and Kaijage, S,.2010 "Supercontinuum generation in photonic crystal fibers at 1.06, 1.31 and 1.55 μm wavelengths", Electronics Letter,46,pp. 1518-1520.

[4] Herz P.R., Chen Y., Aguirre A.D., Fujimoto J.G., Mashimo H., Schmitt J., Koski A., Goodnow J., and Peterson C,.2004"Ultrahigh resolution optical biopsy with endoscopic optical coherence tomography", Optics Express, Vol. 12, No. 15, pp. 3532-3542, ISSN 1094-4087.

[5] Hartl, I., Li, X.D., Chudoba, C., Ghanta, R.K., Ko, T.H., Fujimoto, J.G., Ranka, J.K. and Windeler, R.S,.2001 "Ultrahigh-resolution optical coherence tomography using continuum generation in an airsilica microstructure optical fiber", Optics Letters, 26,pp. 608 610.

[6] Ju, J., W. Jin, and M. S. Demokan,.2001 "Design of single polarization single mode photonics crystal fibers," J. Lightwave Technol.,Vol. 24, pp 825-830.

[7] J.C. Knight, T.A. Birks, P.St.J. Russell, D.M. Atkin, Opt. Lett. 21, 1547 (1996).

[8] J. C. Knight, J. Arriaga, T. A. Birks, A. Ortigosa-Blanch, W. J.Wadsworth, and P. S. Russell,.2000 "Anomalous dispersion in photonic crystal fiber," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, pp. 807–809.

[9] Knight, J. C. and D. V. Skryabin,.2007 "Nonlinear waveguide optics and photonic crystal fibers," Opt. Express, Vol. 15,pp. 15365-15376.

[10] Lee J.H., Jung E.J., and Kim C.-S,.2009 "Incoherent, CW supercontinuum source based on erbium fiber ASE for optical coherence tomography imaging", Proceedings of OptoEelectronics and Communication Conference, Paper number FD3, Hongkong, 13-17 July 2009, ISBN 978-1-4244-4102-0.

[11] Mortensen, N. A., M. D. Nielsen, J. R. Folkenberg, A. Petersson, and H. R. Simonsen,.2003 "Improved large-mode-area endlessly single mode photonic crystal fibers," Opt. Lett., Vol. 28,pp. 393-395.

[12] Ortigosa-Blanch, A., J. C. Knight, W. J. Wadsworh, J. Arriaga, B. J. Mangan, T. A. Birks, and P. S. J. Russel,.2000 "Highly birefringent photonic crystal fibers," Opt. Lett., Vol. 25, pp. 1325 1327.

[13] Ohmi M., Yamazaki R., Kunizawa N., Takahashi M., and Haruna M,.2004 "In vivo observation of micro-tissue structures by high-resolution optical coherence tomography with a femtosecond laser", Japanese Society for Medical and Biological Engineering (Japanese paper), Vol. 42, No. 4, pp. 204- 210, ISSN 1881-4379.

[14] P. Yeh, A. Yariv, E. Marom, J. Opt. Soc. Am. 68, 1196 (1978).

[15] P. J. Bennett, T. M. Monro, and D. J. Richardson,.1999 "Toward pratical Holey fiber technology: Fabrication, slicing, modeling, and characterization," Opt. Lett., vol. 24, pp. 1203–1205.

[16] P. S. J. Russell, J. C. Knight, T. A. Birks, B. J. Mangan, and W.J.Wadsworth,.2000 "Recent progress in photonic crystal fibers," in Opt.

FiberCommun. Conf. (OFC'00), March 7–10, 2000, Paper ThG1.

[17] Saitoh, K. and Koshiba, M, 2004 "Highly nonlinear dispersion-flattened photonic crystal fibers for supercontinuum generation in a telecommuinication window", Optics Express, 12, pp. 2027 2032..

[18] Gafsi, S., Highly nonlinear fiber characterization for mid-infrared applications. 2016.

KN0-0903-3704

فناوری نورالینک و آینده مهندسی عصبی

مهران کریمیان‌ریزی [۱] mehrankarimian97@ms.tabrozu.ac.ir
مریم فریور [۲] farivar.maryam@yahoo.com

[۱] کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی دانشگاه تبریز، ایران
[۲] مربی سازمان‌آموزش فنی‌وحرفه‌ای کشور، اصفهان، ایران

چکیده: با گذشت زمان، با اختراعات و ابداعات جدید مواجه می‌شویم که از هوش مصنوعی برای سهولت استفاده ما از دستگاه‌ها و زندگی روزمره استفاده می‌کنند. اما علم عصب‌شناسی فراتر از محدودیت‌ها زمانی توسعه یافته است، اگرچه ما قادر به درمان برخی ناتوانی و بیماری‌ها مانند آلزایمر، تشنج و... نیستیم، اما رابط‌های مغز-ماشین (BMI) یا "بند (توری) عصبی" می‌تواند فناوری‌ای باشند که می‌تواند عملکرد حسی و حرکتی مغز را بهبود بخشند و می‌تواند به یافتن راه حلی برای اختلالات عصبی کمک کند. ادغام رویکرد ژنتیکی و واسط مغز-ماشین (BMI) برای درمان می‌تواند موثر باشه که شرکت نورالینک ایلان ماسک با موفقیت تراشه‌ای را ایجاد کرده است که "neuarlink " یا "LINK" نامیده می‌شود. هدف این است که در نهایت دستگاه‌ها را در انسان‌های فلج قرار دهند که به آن‌ها اجازه می‌دهد تلفن‌ها یا رایانه‌ها را کنترل کنند. در این مقاله به استفاده از رابط مغز-ماشین و کار با نورالینک می‌پردازیم. ما همچنین فرآیند کاشت نورالینک را به صورت مختصر بررسی می‌کنیم.

کلید واژه: *هوش مصنوعی، رابط مغز و ماشین، بند عصبی، نورالینک*

۱ . مقدمه

در سال ۱۹۴۳، وارن مک کالوخ، متخصص مغز و اعصاب و والتر پیتس، ریاضیدان، مقاله‌ای در مورد چگونگی عملکرد نورون ها نوشتند. آن‌ها یک سازمان عصبی ساده را با مدارهای الکتریکی نشان دادند. در سال ۱۹۵۷، جان فون نویمان توابع نورون[۱] ساده را با استفاده از لوله‌های خلاء پیشنهاد کرد. اخیرا تحقیقات در مورد شبکه‌های عصبی سرعت گرفته است و در حال حاضر از آن برای درمان افراد مبتلا به بیماری‌های روانی استفاده می‌شود. Neuralink مرزهای تحقیقات شبکه عصبی موجود را جابجا کرده و به سرعت پیش می‌برد و نه تنها بیماران را درمان می‌کند بلکه آن‌ها را به دستگاه‌های دیجیتالی و اینترنت متصل می‌کند و به آن‌ها کمک می‌کند تا از این فناوری‌ها بدون نیاز به هیچ یک از اعضای بدن خود از طریق استفاده از تراشه‌ای به نام Neuralink استفاده کنند. Neuralink دستگاهی است که با جراحی در مغز شما کاشته می‌شود و به انسان‌ها امکان می‌دهد با ماشین و وسایل ارتباط برقرار کنند و حتی آن‌ها را کنترل کنند. همچنین در مطالعه تکانه‌های الکتریکی مغز و توسعه درمان برای مشکلات مختلف پزشکی کمک خواهد کرده و می‌کند. Neuralink، یک چیپست با قطر ۸ میلی متر به نام چیپست N1 با کابل‌های متعدد حاوی الکترودها و عایق برای سیم‌ها

[۱] neuron

در جمجمه شما کاشته می‌شود. به گفته این شرکت، این سیم به ضخامت نورون‌های مغز شما و به نازکی یک تار مو حدود ۱۰۰ میکرومتر است. برای مقایسه، قطر موهای خود را تصویر کنید و آن را در ۱۰ ضرب کنید [۲]. اولین پیشرفت بزرگ نخها (رشته‌ای) انعطاف‌پذیر است که احتمال آسیب کمتری به مغز نسبت به مواد رابط فعلی مغز- ماشین دارد. طبق گفته Elon Musk و شرکت نورالینک، این رشته‌ها امکان انتقال حجم بیشتری از داده‌ها را نیز فراهم می‌کنند. طبق [۳]، این دستگاه ممکن است "۳۰۷۲ الکترود در هر آرایه داشته باشد که در ۹۶ رشته پخش شده است."

۲. مروری بر عملکرد و روش‌های پیشین

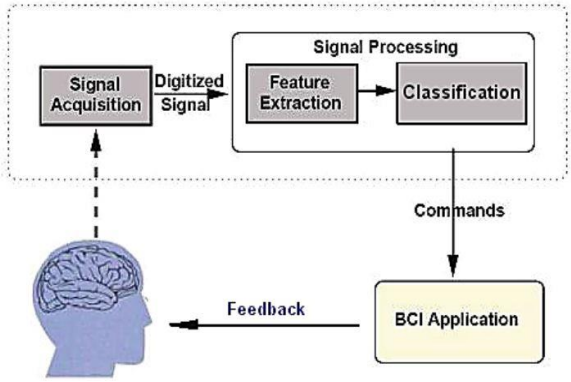
برای رسیدگی به این مشکل، این شرکت "روبات جراحی مغز و اعصابی را که قادر است شش رشته (۱۹۲ الکترود) را در هر دقیقه وارد کند" (به طور خودکار) ساخته است. همچنین برخورد با شریان‌های خونی را به حداقل می‌رساند و احتمالاً منجر به کاهش پاسخ التهابی در مغز می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: تراشه N1 و مسیرهای آن که احتمالا منجر به کاهش پاسخ التهابی در مغز می‌شود[۱]

۳. رابط مغز - ماشین

رابط‌های مغز-ماشین[۱] (BMIS) یا رابط‌های کامپیوتری مغزی[۲] (BCI) سیگنال‌های مغز را جمع آوری، تجزیه و تحلیل و تفسیر می‌کنند تا به دستوراتی که به دستگاه‌های خروجی که فعالیت‌های مورد نظر را انجام می‌دهند، ارسال شود. مسیرهای خروجی عصبی عضلانی معمولی توسط رابط‌های کامپیوتری مغز (BCI) استفاده می‌شود. هدف اصلی BCI جایگزینی یا بازگرداندن عملکرد مفید برای افراد ناتوان از اختلالات عصبی عضلانی مانند اسکلروز جانبی آمیوتروفیک، فلج مغزی، سکته مغزی یا آسیب نخاعی است [۴]. رابط‌های مغز-ماشین[۳] (BMI) یا رابط مغز به ماشین[۴] (B2M) این پتانسیل را دارند که به افراد با انواع مختلف کمک کنند. مشکلات بالینی، مانند اختلال در عملکردهای حسی و حرکتی، همچنین ما را به هر دستگاهی که می‌تواند ورودی‌های مغز ما را بخواند متصل کند. برای این کار باید نرخ پهنای باند بالایی داشته باشیم. BMI در ابتدا در اختلالات بالینی به دلیل کانال‌های محدود موجود برای انتقال سیگنال محبوب نبود، اما اکنون این پتانسیل برای کمک به افراد با طیف گسترده‌ای از مشکلات بالینی وجود دارد. محققان بیش از ۲۵۶ الکترود برای نشان دادن کنترل عصبی مصنوعی انسان بر مکان نماهای رایانه، اندام‌های روباتیک و سنتز کننده صدا استفاده کرده‌اند (شکل ۲). اگرچه این انتقال اطلاعات بین مغزها و ماشین‌ها امکان‌پذیر است، توسعه رابط مغز و ماشین بسیار موفقیت‌آمیز بوده و به سرعت در حال پیشرفت و تغییر است.



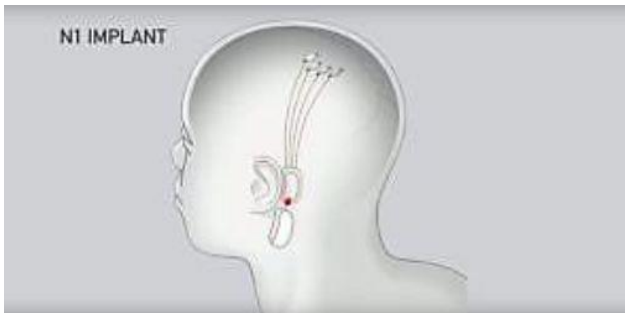
شکل ۲: بلوک دیاگرام سیستم BMI [۱]

۴. چگونگی کارکرد

در نتیجه، مغز ما از نورون‌هایی تشکیل شده است که در واکنش به پیام‌های الکتریکی دریافتی هنگام دیدن، شنیدن، حرکت، صحبت کردن یا فکر کردن، فعالیت می‌کنند. هر بار که یک نورون در پاسخ به این سیگنال‌های الکتریکی عمل می‌کند، میدان الکترومغناطیسی کمی‌ایجاد می‌شود. Neuralink اساساً به میدان‌های الکتریکی

[۱] Brain Machine Interfaces
[۲] Computer Interfaces
[3] Machine Interfaces
[4] Machine Interface

کوچک مغز که توسط اتصالات سینوسی ایجاد می‌شود، ضربه می‌زند (تحریک می‌کند). برای تشخیص این پتانسیل‌های عمل، رشته‌های ریز با الکترودهایی که حدود یک دهم سطح مقطع موی انسان یا تقریباً به اندازه یک نورون هستند ایجاد شده و به مغز تزریق می شوند. هر نخ توسط یک ربات وارد می شود تا از ترکیدن رگ‌های خونی یا ایجاد استرس جلوگیری شود. قطر سوزن ۲۴ میکرون است که به طور قابل توجهی کوچکتر از وضعیت فعلی در تحریک عمیق مغز است. پردازنده‌ای که تمام این کارها را انجام می‌دهد تراشه N1 نام دارد. تراشه N1 سیگنال‌های مغزی آنالوگ گرفته شده توسط نخ‌ها را به دستگاه غلاف پشت گوش، دیجیتالی، تجزیه و تحلیل و انتقال می‌دهد. دستگاه و غلاف آن تنها چیزی است که ارتقا می‌یابد و ایمپلنت‌ها در جای خود باقی می‌مانند تا زمانی که غلاف برداشته شود و همه چیز بیرون بیاید. تراشه N1 یک تراشه کم مصرف ۴ در ۵ میلی متری با فناوری بالا برای پردازش داده‌های مغز است. این می‌تواند ۲۰۰۰۰ نمونه عملکرد مغز را در ثانیه بخواند، که نشان می‌دهد این سیگنال‌های خام واقعی از یک پیوند عصبی متصل به مغز هستند. از آنجایی که پیوند عصبی شامل هزاران الکترود است، سیگنال غیر نویزی و قابل اعتمادتری را برای کاربردهای پیچیده‌تر تولید می‌کند. اولین کاربرد پیوند عصبی، ضربه زدن به قشر اصلی مغز است که بخشی از مغز است که سیگنال‌ها را به نخاع و به عضلات می‌فرستد تا حرکت را هدایت کند. با چیزهای ساده‌ای مانند ماوس و صفحه کلید شروع می شود، اما همچنین می‌تواند برای خواندن سیگنال‌ها از تمام حرکات، از جمله گفتار، و در نهایت برای بازگرداندن حرکت در بدن شخص مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۳). مواد با کیفیت و با کارایی بالا که باعث می شود مغز نه تنها این تراشه را بپذیرد بلکه بخشی از شبکه عصبی می‌شود [۵].



شکل ۳: نمای گرافیکی الکترودهای کاشته شده در مغز[۱]

۴. فرایند ایمپلنت (ربات)

شب از آنجایی که ما در مورد سوراخ کردن جمجمه و قرار دادن کابل‌ها در مغز صحبت می‌کنیم، بسیاری از مردم بدبین هستند. ایلان ماسک بیان کرده است که این فرآیند پیچیده است و فراتر از توانایی پیوند عصبی، دستگاه را بدون دخالت دست انسان وارد مغز می‌کند. این همان چیزی است که روبات‌های مخصوص برای آن ساخته شده‌اند. این شرکت اظهار داشت که این عملیات را با رعایت قوانین وزارت بهداشت انجام خواهد داد تا از ایمنی عملیات اطمینان حاصل شود [۲]. نخ‌های ریز با الکترود (به اندازه یک موی انسان) برای تزریق به مغز برای تشخیص پتانسیل‌های عمل طراحی شده‌اند. یک ربات جراحی مغز و اعصاب هر یک از این رشته‌ها را تزریق می‌کند. سوزن مورد استفاده توسط ربات حدود ۲۴ میکرون قطر دارد که به طور قابل توجهی کوچکتر از وضعیت فعلی برای تحریک عمیق مغز (DBS) است. به گفته ColdFusion، جراحی‌های مشابهی برای شبیه‌سازی عمیق مغز (DBS) در بیماران پارکینسونی در گذشته انجام شده است، اما با ده الکترود و یک سوزن بسیار بزرگ‌تر. از سوی دیگر، روش‌های سنتی یک در صد احتمال ایجاد خونریزی مغزی بزرگ را دارند (شکل ۴) Neuralink نه تنها با استفاده از نخ‌های (رشته‌های) میکروسکوپی پتانسیل آسیب مغزی را کاهش می‌دهد، بلکه گزینه جمع آوری مقادیر انبوه داده با استفاده از نه ۱۰، بلکه هزاران الکترود را فراهم می‌کند [۶].



شکل ۴: جراح رباتیک که الکترودهای NERURALINK N1 را به مغز می‌رساند. این ربات قادر به انجام حرکات دقیق مورد نیاز برای ایمن کردن این‌ها به مغز شما است. ممکن است به نظر می‌رسد بیشتر خواهد شد[۱]

این ربات قادر است حرکات دقیق مورد نیاز برای کاشت نخ‌ها را در مغز شما انجام دهد. ممکن است به نظر برسد که این فرآیند ساده‌تر خواهد بود، اما در مقیاس رشته‌ها، کار تقریباً به سختی فرود آمدن صحیح یک موشک فضایی بر روی زمین می‌شود - مشکلی که ایلان ماسک با آن بسیار آشناست (بخاطر داشتن شرکت اسپیس‌ایکس) [۷].

۵. مزایا و معایب استفاده از نورولینک

۱- با دستگاه نسل اول روی قشر حرکتی و بلند مدت با دستگاه‌های نسل بعدی در هر جای قشر ۲-توانایی کنترل کامپیوتر با ذهن شما کمک می‌کند تا افراد با فلج شدید ارتباط برقرار کنند ۳-به افراد فلج اجازه می‌دهد کنترل بدن خود را دوباره به دست آورند ۴-کنترل ذهنی ما شین‌ها با دقت بالا ۵-تله پاتی مغز به مغز ۶-ثبت اطلاعات حسی دریافتی ۷-در نهایت راهی برای پشتیبان‌گیری از ذهن شما ست، اگرچه این امر باید عمیق‌تر از قشر مغز با شد ۸-جراحی مغز اگر با دقت و در شرایط استریل انجام شود، کمتر از آن چیزی که فکر می‌کنیم، خطرناک است ۹-برخی از تاثیرات طولانی مدت ناشناخته بر مغز ناشی از تجزیه توسط بدنه مواد الکترود در طول زمان است ۱۰-یک دستگاه بلوتوث که توسط یک کامپیوتر دیجیتال متصل مستقیم به مغز شما قابل کنترل است و کنترل امنیت آن مشکل است ۱۱-آن‌ها نیاز به ارتقاء منظم دارند، بنابراین جراحی مغز را هر چند سال باید انجام دهند.

۷. نتیجه

Neuralink ممکن است پلی باشد که انسان‌ها را به سطح بعدی هوش مصنوعی متصل می‌کند، اما بسیاری از افراد ممکن است روی یک چیپ ست کامپیوتری در مغز خود زیاد خوش بین نبا شند! پیوند عصبی با موفقیت در خوک کاشته شد، اما تا کنون، این فناوری بر روی انسان آزمایش نشده است. چشم انداز این فناوری زمانی محقق می‌شود که نورالینک با موفقیت در انسان کاشته شود. اگر Neuralink با موفقیت در انسان کاشته شود، می‌تواند بزرگترین اختراع/تحقیقات قرن باشد. تراشه Neuralink همچنین سیگنال‌های الکتریکی در مغز را مطالعه می‌کند و به راه‌حل‌هایی می‌رسد که می‌تواند به درمان بسیاری از زندگی‌های مبتلا به ناتوانی‌های عصبی یا مشکلات پزشکی مختلف کمک کند.

۸. مراجع

[1] References 1. Kulshreshth A, Anand A, Lakanpal A (2019) Neuralink- An Elon Musk Start-up Achieve symbiosis with Artificial Intelligence. International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS) 2:105-109.

[2] Cyrus John (2020) Neuralink Explained: How We Will Talk To Machines Using Our Brain. The Quint.

[3] Elizabeth Lopatto (2019) Elon Musk unveils Neuralink's plans for brain-reading 'threads' and a robot to insert them. The Verge.

[4] Shih JI, Krusienski DJ, Wolpaw JR (2012) Brain-computer interfaces in medicine. Mayo Clinic proceedings 87:268-279.

[5] Damanjit Singh (2019) Neuralink-A Brain-Computer Interface Technology.

[6] Joana Stockmeyer (2019) Neuralink-Are Brain-Computer Interfaces leading us into a technological utopia?. Master of Media

[7] Kenny L (2019) What Is Neuralink: A Look At What It Is, What Wants to Be, and What It Could Become.

KN0-0903-3705

بررسی خصوصیات مغز بزرگسالان جوان و پیر با استفاده از تجزیه و تحلیل اتصالات عملکردی

سعید ایمان پرست[۱] Saeed.imanparast@yahoo.com
وحید رنجبر عین الدین [۲] v.ranjbar98@ms.tabrizu.ac.ir
[۱] کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی _ بیوالکتریک، دانشگاه تبریز، ایران
[۲] کارشناسی ارشد، مهندسی پزشکی _ بیوالکتریک، دانشگاه تبریز، ایران

چکیده: شـــبکه های عملکردی مغز با افزایش ســـن دچار تغییر می‌شـــوند. هدف ما در این پژوهش ارزیابی کارایی داده‌های الکتروانسفالوگرافی[۱] برای تشخیص شبکه های عملکردی مغز بزرگسالان (پیر و جوان) و شناسایی نوع اتصالات عملکردی در این بازه سنی می‌باشد. برای این پژوهش سیگنال ***EEG*** حالت استراحت در دو گروه سنی جوان و پیر در حالت چشم باز با ۶۴ الکترود ضبط شده است. با افزایش سن، ما کاهش عملکرد اتصالات مغزی در باندهای تتا، آلفا و گاما و افزایش عملکرد در باند بتا را مشاهده کرده‌ایم. بیشتر اتصالات شامل الکترودهای نواحی آهیانه‌ای، گیجگاهی و پیشانی و تقریباً دو سوم اتصالات مربوط به الکترودهای پس‌ســری، کاهش ارتباطات مغزی با افزایش ســن را نشــان داده اســت. تقریباً بیش از نیمی از اتصــالات که مربوط به الکترودهای مرکزی می‌باشــند. افزایش ارتباطات مغزی، با افزایش ســن را نشــان داده‌اند. یافته‌های ما کاهش اتصــالات در شــبکه‌های اصــلی و باندهای فرکانســی مرتبط با توجه و آگاهی و همچنین افزایش اتصــالات شــبکه‌های عملکردی حســی حرکتی را با افزایش ســن در حالت استراحت را نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: *اتصالات مغزی، الکتروانسفالوگرام، شبکه‌های عملکردی.*

۱. مقدمه

مغز یک سیستم پیچیده و یکپارچه است که می‌تواند بعنوان شبکه‌ای از مناطق مرتبط به هم تصور شود بطوریکه این شبکه‌ها همیشه در تعامل هستند تا عملکردهای حرکتی، شناختی و ادراکی به درستی انجام شود. اتصالات مغزی به الگویی از پیوندهای مختلف بین واحدهای مختلف سیستم عصبی اشاره دارد که این واحدها می‌تواند مربوط به سلول‌های عصبی منفرد، جمعیت‌های عصبی و یا مناطق مغزی تفکیک شده باشد. به نظر می‌رسد تعاملات شبکه‌های مغزی هم به صورت محلی و هم بین نواحی دوردست مغز وجود دارد. نواحی که به صورت محلی فعالیت می‌کنند علاوه بر داشتن ارتباطات با سایر نواحی، به صورت مجزا نیز فعالیت می‌کنند که به این شبکه‌ها، شبکه‌های جهان کوچک گفته می‌شود [۱-۴].

افزایش سن با کاهش تدریجی در شناخت، به ویژه در حوزه‌های توجه، حافظه و عملکرد اجرایی همراه است. در حالی‌که تحقیقات بسیاری در مورد بررسی تغییرات پاتوفیزیولوژیکی که بیماری آلزایمر و سایر اختلالات تخریب عصبی مربوط به سن را مشخص می‌کند،

انجام شده است، اما در مورد فرآیندهای عصبی موثر در شناخت پیری طبیعی و غیرپاتولوژیک، اطلاعات بسیار کمی‌در دست است. درک بیشتری از اساس نوروفیزیولوژی روند پیری انسان سالم ممکن است برای ابداع رویکردهای درمانی جدید برای کاهش یا معکوس کردن رشد شناختی مربوط به سن بسیار مهم باشد [۴-۷].

اتصالات شبکه‌های مغزی در حالت استراحت در پیری کاهش می‌یابد. استفاده از کاهش سن مربوط به fMRI[۱] در اتصال عملکردی حالت استراحت در شبکه حالت پیش‌فرض (DMN)[۲] و شبکه شبکه توجه پشتی (DAN)[۳] مشاهده شده است. این دو شبکه به شدت در توجه، حافظه و عملکردهای اجرایی دخیل هستند [۸,۹].

DMN مجموعه ای از مناطق فعال در حالت استراحت را شامل می‌شود که در زیر بیان شده است[۱۰].

prefrontal cortex, Inferior parietal, Hippocampus and the posterior

DAN نیز شامل مجموعه‌ای از مناطق مغز است که در زیر بیان شده است[۱۰].

Prefrontal, Anterior cingulate and posterior parietal cortices

لازم به ذکر است که تغییرات مربوط به سن در شبکه‌های موتوری ممکن است متفاوت‌تر از شبکه‌های DMN و DAN باشد.

EEG یک روش غیرتهاجمی‌برای ثبت فعالیت قشر مغز از طریق پوست سر است. در حالی که وضوح مکانی EEG در مقایسه با fMRI محدود است، اما دقت بالای زمانی آن امکان اندازه‌گیری نوسانات عصبی را که در محدوده زمانی میلی‌ثانیه رخ می‌دهد به دلیل فعالیت همزمان و ریتمیک جمعیت‌های سلول‌های عصبی ایجاد می‌کند را میسر می‌سازد [۱۱]. این فعالیت نوسانی می‌تواند نقشی اساسی در هماهنگی فعالیت در شبکه‌های بزرگ مغزی ایفا کند بطوریکه توزیع جریان اطلاعات را بین مناطق مغزی هنگامی‌که نوسانات بین مناطق هماهنگ می‌شوند را تسهیل می‌کند. نوسانات عصبی به باندهای فرکانسی خاص دسته‌بندی می‌شوند، که هر یک نشان‌دهنده فعالیت عصبی در ساختارهای خاص مغز و تحت شرایط مختلف مغز است. به عنوان مثال، نوسانات باند تتا با رفتارهای وابسته به ناحیه هیپوکامپ مانند جهت‌یابی فضایی و یادگیری مرتبط هستند و همچنین این سیگنال در مناطق مختلف مغز مثل پیشانی[۴] و آهیانه‌ای[۵] در انجام کارهای مربوط حافظه و توجه افزایش می‌یابند. نوسانات باند آلفا در مناطق پس‌سری[۶] غالب هستند، به ویژه در هنگام بیدار شدن از خواب با چشمان بسته، و همچنین تصور می‌شود با محافظت از گیرنده‌های حسی برای محافظت از اطلاعاتی که بصورت آنلاین دریافت می‌شود، نقش مهمی‌در توجه و حافظه فعال دارد. نوسانات باند بتا با فعالیت شبکه حسی-حرکتی مرتبط هستند. از طرف دیگر، نوسانات باند گاما با طیف وسیعی از فرآیندهای حسی و شناختی همراه بوده است، اگرچه به نظر می‌رسد تحت تأثیر نویزهای عضلات و الکتریسیته است [۱۲-۱۵].

اتصالات عملکردی در باندهای فرکانسی خاص را می‌توان با استفاده از رکوردهای EEG تخمین زد. تغییرات خاص فرکانس در اتصالات عملکردی در طول عمر قبلا گزارش شده است. اسمیت و همکاران در سال ۲۰۱۲ با استفاده از EEG در حالت استراحت، تغییرات ارتباطات عملکردی مغز را از سنین ۵ تا ۷۱ سال بررسی کردند. آن‌ها افزایش قابل توجهی در اتصالات عملکردی تتا، آلفا و بتا را از کودکی تا نوجوانی گزارش دادند که با سرعت کمتری تا بزرگسالی ادامه یافت بطوری‌که در نهایت عملکرد تتا، آلفا و بتا در سنین بالای ۵۰ سال کاهش یافت. میکلویانیس و همکاران در سال ۲۰۰۹ از EEG درحالت استراحت و در حالت انجام وظیفه (تفکر ریاضی) از بیست کودک و بیست بزرگسال جوان استفاده کردند و ارتباطات بتا و گامای پایین تری را در هر دو حالت استراحت و در حین انجام کار در بزرگسالان گزارش کردند. ویساتا و همکاران در سال ۲۰۱۴ از EEG حالت استراحت در گروهی از ۱۷/۷۷۲ راننده حرفه‌ای سالم با میانگین سنی ۴۳/۲ سال استفاده کردند و گزارش دادند که میانگین اتصالات عملکردی در کل پوست سر با افزایش سن در گروه بتا افزایش یافته و با افزایش سن این اتصالات در باند تتا و آلفا کاهش می‌یابد. با این حال، چگونگی تغییرات ارتباطات عملکردی خاص با فرکانس با افزایش سن هنوز ناشناخته است [۱۶-۲۲].

[۱] Functional magnetic resonance imaging (fMRI)

[۲] Default Mode Network (DMN)

[۳] Dorsal Attention Network (DAN)

[۴] Frontal Lobe

[۵] Parietal Lobe

[۶] Occipital Lobe

هدف ما در این پژوهش بررسی این موضوع است که آیا EEG فردی در حالت استراحت می‌تواند برای تشخیص مغز پیر و جوان استفاده شود؟

۲. روش تهیه مقاله

داده‌های EEG حالت استراحت از ۲۲ بزرگسال جوان ۱۹ تا ۳۷ ساله (میانگین ۲۴/۳ سال، ۹مرد) و ۲۲ فرد مسن ۶۳ تا ۸۵ سال (میانگین ۷۱ سال، ۹ مرد) مطابق با نظرسنجی دستی Flinders ضبط شده است.

داده‌های EEG با استفاده از یک سیستم EEG ASAlab یا یک سیستم TMSi EEG با استفاده از یک کلاه اصلی Waveguard با ۶۴ الکترود Ag- AgCl در موقعیت استاندارد ۱۰ - ۱۰، استفاده شده است.

از هر شرکت‌کننده از بیش از یک رکورد استفاده شده است. مجموعه داده شامل دو جلسه ضبط در حالت استراحت برای هر شرکت‌کننده بوده است که با فاصله حداقل ۷ روز ضبط شده است.

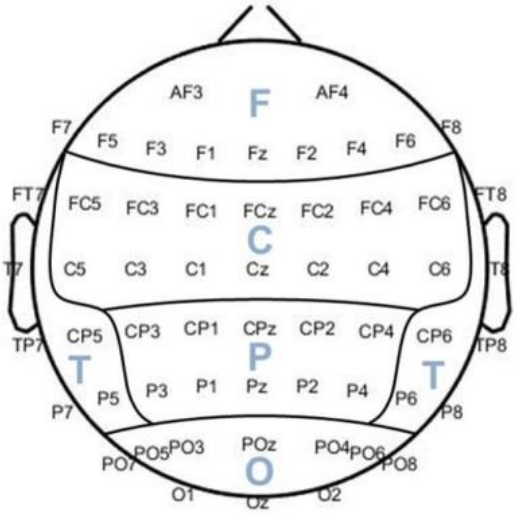
شرکت‌کنندگان موافقت کتبی آگاهانه را مطابق با اعلامیه انجمن پزشکی جهانی هلسینکی برای شرکت در این مطالعه اعلام کردند. تأیید اخلاقی توسط کمیته اخلاق تحقیقات انسانی دانشگاه آدلاید و کمیته اخلاق تحقیقات انسانی دانشگاه استرالیای جنوبی ارائه شده است.

شرکت‌کنندگان آموزش داده شد تا یک نقطه ثابت را مشاهده کنند، ساکت بنشینند، ساکت و آرام باشند تا از پلک زدن زیاد خودداری کنند.

سیگنال‌ها با ۲۰۴۸ هرتز نمونه برداری شده، ۲۰ بار تقویت و فیلتر شده‌اند (بالاگذر، DC ؛ پایین‌گذر ۵۵۳ هرتز) و به میانگین همه الکترودها ارجاع داده شده است. امپدانس زیر ۵ کیلو اهم نگه داشته شده و داده‌های ثبت شده برای تجزیه و تحلیل آفلاین در رایانه ذخیره شده است. برای پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های EEG از متلب ۲۰۱۹ استفاده شده است. سیگنال‌های EEG به دوره‌های ۱ ثانیه تقسیم شده و میانگین اولیه از مجموعه داده‌های EEG شده است.

همچنین کانال‌هایی که در هنگام ضبط قطع شده بودند یا تحت تأثیر نویز بودند، حذف شده‌اند. داده‌ها با استفاده از فیلتر پاسخ ضربه محدود سینک شده با پنجره همینگ (۴۵-۱هرتز) فیلتر شده‌اند. تجزیه و تحلیل اجزای مستقل (ICA)[۱] برای اصلاح آرتیفکت‌ها غیرفیزیولوژیکی (به‌عنوان مثال پلک زدن چشم و فعالیت عضلات پوست سر) انجام شده است. کانال‌های گمشده با استفاده از درون‌یابی کروی بسیار سریع درون‌یابی شده‌اند [۲۳-۲۵].

ما سه دقیقه داده مداوم EEG در حالت استراحت (چشم باز) برای این پژوهش استفاده کرده‌ایم.



شکل ۱. تخمین تقریبی الکترودها

۲,۱.ماتریس اتصالات

ما ماتریس‌های اتصالات عملکردی را برای هر شرکت‌کننده با استفاده از انسجام موهومی[۲] در باندهای فرکانس تتا، آلفا، بتا و گاما ساخته‌ایم. قسمت l ام از دوره زمانی i ام با $x_{i,l}$ نشان داده می‌شود و تبدیل فوریه آن با $X_{i,l}$ نشان داده می‌شود. ماتریس متقابل طیفی[۳] به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S_{i.j} = \frac{1}{N}\sum_{l=1}^{K} X_{i.l}^{*} X_{j.l} \qquad (1)$$

[۱] Independent component analysis(ICA)

[۲] imaginary coherence

[۳] cross-spectral

در عبارت بالا عبارت * بیانگر مزدوج مختلط و N بیانگر تمام دوره‌ها می‌باشد. پیوستگی بین سری زمانی iام و jام با عبارت زیر تعریف می‌شود.

$$C_{i.j} = \frac{S_{i.j}}{\sqrt{S_{i.i}S_{j.j}}} \qquad (2)$$

مقدار مطلق انسجام موهومی‌بین هر دو الکترود EEG ، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$J_{p.q} = \left|\zeta\left(C_{i_m.j_n}\right)\right| \qquad (3)$$

درعبارت بالا $\zeta(.)$ بیانگر قسمت موهومی‌می‌باشد. برای محاسبه ماتریس اتصالات، ماتریس J با استفاده از روش Jackknife تقسیم بندی شده است. برای محاسبه اتصالات عملکردی، ما از نرم افزار Brainstorm استفاده کرده‌ایم.

۲،۲. آزمون‌های آماری

ما با استفاده از آزمون Mann Whitney U و بر اساس فاصله الکترود تا الکترود اقلیدسی، ارتباطاتی را که با افزایش سن کاهش یافته اند با ارتباطاتی که با افزایش سن افزایش یافته‌اند را مقایسه کرده‌ایم. مقادیر $P < 0.05$ از نظر آماری معنی‌دار در نظر گرفته شده است.

۲،۳. ارزیابی تغییرات D-Dimer در طول عفونت کوید-۱۹ و پنومونی باکتریایی

بررسی‌های مقایسه‌ای بین افراد دارای کوید-۱۹ و پنومونی باکتریایی نشان داد که سطح D-Dimer در هر دو بیماری افزایش می‌یابد؛ اما در کوید-۱۹ این افزایش بسیار بالاتر می‌باشد؛ در بیماران کوید-۱۹ به‌علت افزایش ویسکوزیته خون ناشی از تب بالا و تعریق زیاد، فعالیت سیستم انعقادی افزایش می‌یابد؛ ریسک فاکتورهایی مثل بستری بودن طولانی‌مدت، چاقی و سن بالا هم به افزایش خطر بروز ترومبوز کمک می‌کند؛ این موارد باعث افزایش D-Dimer شده و نیاز به مصرف ضد انعقادها را بیشتر می‌کند؛ با کاهش التهاب و بهبودی بیمار، سطح D-Dimer در اکثر بیماران، کاهش می‌یابد؛ درحالی که برخلاف تصور، در بعضی از این بیماران مقدار D-Dimer همچنان بالا می‌ماند؛ این موضوع ادامه مصرف ضد انعقاد را در این بیماران به‌منظور جلوگیری از بروز ترومبوز وریدی توجیه می‌کند [۱۲].

۳. نتایج

ما طیف قدرت را برای بزرگسالان جوان و مسن برای باندهای تتا، آلفا، بتا و گاما ر سم کرده‌ایم. برای بزرگ سالان م سن، به ترتیب برای باندهای تتا و آلفا، محدوده فرکانسی ۴ تا ۶ هرتز و ۷ تا ۱۳ هرتز در نظر گرفته شده ا ست، در حالی‌که برای بزرگ سالان جوان، ۴ تا ۷ هرتز و ۸ تا ۱۳ هرتز انتخاب شده است. باند بتا را برای بزرگ سالان جوان و م سن ۱۴ تا ۳۰ هرتز و باند گاما ۳۱ تا ۴۵ هرتز در نظر گرفته شده ا ست. همانطور که گفته شد، هدف ا صلی ما در این پژوهش شناسایی تفاوت‌های مربوط به سن در اتصالات عملکردی است.

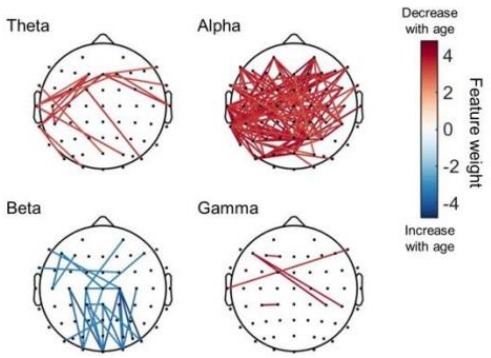
۴. بحث

بیشترین سهم در مقایسه اتصالات مغز افراد جوان از افراد مسن، ناشی از کاهش اتصالات عملکردی در نواحی آهیانه‌ای، گیجگاهی و پیشانی در افراد مسن نسبت به افراد جوان به ویژه در باند آلفا می‌باشد. همچنین ما یک افزایش وابسته به سن در اتصالات عملکرد الکترودهای تقریبی مناطق موتوری در باند بتا را مشاهده کردیم. یافته‌های ما کاهش اتصالات در شبکه‌های اصلی و باندهای فرکانسی مرتبط با توجه و آگاهی و افزایش قدرت شبکه‌ها و باند فرکانس مرتبط با نواحی کنترل موتوری طبق فرآیندپیری را نشان می‌دهد.

پیری با تغییراتی در شبکه‌های عملکردی مغز مشخص می‌شود. اتصالات عملکردی حالت استراحت معمولاً در فرآیند پیری سالم کاهش می‌یابد. کاهش اتصالات باند آلفا در نواحی آهیانه‌ای و پیشانی در افراد مسن نسبت به بزرگسالان جوان ممکن است منعکس‌کننده تغییرات در سطح توجه و تحریک در این افراد باشد. با استفاده از داده‌های EEG و MEG، کاهش اتصالات باند آلفا در نواحی آهیانه‌ای، گیجگاهی و پیشانی در اختلالات شناختی خفیف پاتولوژیک و زوال عقل مشاهده شده است.

در حالی که ویژگی‌های نتایج برای باندهای آلفا، تتا و گاما همگی کاهش اتصالات عملکردی با افزایش سن را نشان می‌دهد، اتصالات باند بتا افزایش اتصالات در افراد مسن نسبت به بزرگسالان جوان را نشان می‌دهد بطوری‌که ۱۷٪ از وزن کل ویژگی را تشکیل می‌دهد.

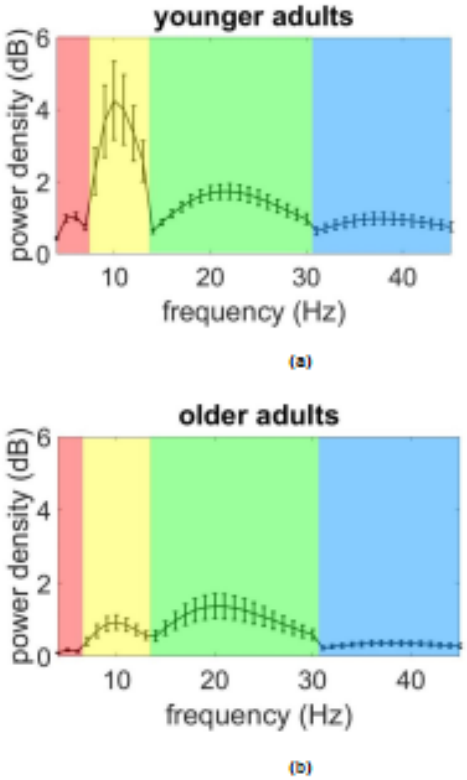
نوسانات عصبی در باند فرکانسی بتا به شدت با فعالیت شبکه‌های حسی-حرکتی(موتور کورتکس) و انعطاف‌پذیری در افراد سالم مرتبط است. ویژگی‌های باند بتا در این مطالعه بیشتر شامل الکترودهای مرکزی دربرگیرنده شبکه‌های حسی-حرکتی است. مطالعات FMRI نیز افزایش عملکرد مربوط به سن در شبکه‌های حسی-حرکتی را نشان داده است(البته در انجام وظیفه) که منعکس‌کننده تفکیک عملکردی در مناطق حسی-حرکتی می‌باشد. در با توجه به این‌که در مورد نقش باند بتا در حالت استراحت در پیری کمتر مطالعه شده است، برخی شواهد نشان می‌دهد که با افزایش سن قدرت باند بتا در حالت استراحت افزایش یافته و با عدم همگام‌سازی در حین حرکت همراه است، که احتمالاً می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات تعادل بین مهار گلوتاماترژیک در موتور کورتکس افراد سالخورده باشد. نتایج ما افزایش اتصالات عملکردی باند بتا و کاهش اتصالات عملکردی باند تتا و آلفا با افزایش سن را نشان می‌دهد که با پژوهش‌های قبلی انجام شده مطابق است [۳۱-۲۶].



شکل ۳. نمایش ویژگی‌های نتایج با کاهش وزن با افزایش سن (قرمز) و ویژگی‌های نتایج با افزایش وزن با افزایش سن (آبی) در باندهای فرکانس تتا، آلفا، بتا و گاما

این مطالعه محدودیت‌هایی داشته است. اولا، EEG از وضوح مکانی ضعیفی برخوردار بوده و سیگنال‌هایی که ثبت می‌شوند می‌توانند تحت تأثیر هدایت حجم[۱] قرار بگیرند. ما سعی کرده ایم با استفاده از اندازه گیری محافظه کارانه اتصالات عملکرد، این اثر را کاهش دهیم. با این حال، ممکن است اثرات هدایت حجم به طور کامل از بین نرود. دوما، توجه به این نکته مهم است که استفاده از فاصله اقلیدسی بین الکترودها فاصله نمی‌تواند به طور کامل منعکس‌کننده اتصالات فیزیکی باشد. به طور خلاصه، ما نشان داده‌ایم که می‌توان از دادگان EEG حالت استراحت فردی برای طبقه‌بندی مغز بزرگسالان جوان از مغز بزرگسالان مسن استفاده کرد، این امر امکان درک بیشتر اتصالات عملکردی را به عنوان مکانیزمی‌که تغییرات رفتار انسان با افزایش سن را نشان می‌دهد، ایجاد می‌کند.

بطور خلاصه این پژوهش کاهش اتصالات عملکردی نواحی آهیانه‌ای، گیجگاهی و پیشانی و افزایش اتصالات عملکردی مناطق حرکتی با افزایش سن افزایش را نشان می‌دهد. این یافته‌ها همچنین بر نقش اتصالات باند فرکانسی آلفا در توصیف پیری تأکید می‌کند.



[۱] volume conduction

شکل۲. متوسط طیف‌های قدرت استخراج شده با استفاده از نرم‌افزار Brainstorm در تمام الکترودها برای (a)افراد جوان و (b) افراد مسن. سایه قرمز نشان‌دهنده باند تتا، سایه زرد نشان‌دهنده باند آلفا، سایه سبز نشان دهنده باند بتا و سایه آبی نشان‌دهنده باند گاما می‌باشد.

۴. مراجع

[1] H.-J. Park and K. Friston, "Structural and functional brain networks: from connections to cognition," Science, vol. 342, 2013.

[2] V. K. Jirsa and A. R. McIntosh, Handbook of brain connectivity vol. 1: Springer, 2007.

[3] K. J. Friston, "Functional and effective connectivity in neuroimaging: a synthesis," Human brain mapping, vol. 2, pp. 56-78, 1994.

[4] D. Schubert, R. Kötter, and J. F. Staiger, "Mapping functional connectivity in barrel-related columns reveals layer-and cell type-specific microcircuits," Brain Structure and Function, vol. 212, pp. 107-119, 2007.

[5] J. Bijsterbosch and C. Beckmann, An introduction to resting state fMRI functional connectivity: Oxford University Press, 2017.

[6] C. J. Honey, O. Sporns, L. Cammoun, X. Gigandet, J.-P. Thiran, R. Meuli, et al., "Predicting human resting-state functional connectivity from structural connectivity," Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 106, pp. 2035-2040, 2009.

[7] E. W. Lang, A. M. Tomé, I. R. Keck, J. Górriz-Sáez, and C. G. Puntonet, "Brain connectivity analysis: a short survey," Computational intelligence and neuroscience, 2012.

[8] M. Rubinov and O. Sporns, "Complex network measures of brain connectivity: uses and interpretations," Neuroimage, vol. 52, pp. 1059-1069, 2010.

[9] B. He, L. Astolfi, P. A. Valdés-Sosa, D. Marinazzo, S. O. Palva, C.-G. Bénar, et al., "Electrophysiological brain connectivity: theory and implementation," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 66, pp. 2115-2137, 2019.

[10] S. E. Petersen and O. Sporns, "Brain networks and cognitive architectures," Neuron, vol. 88, pp. 207-219, 2015.

[11] B. Thomas Yeo, F. M. Krienen, J. Sepulcre, M. R. Sabuncu, D. Lashkari, M. Hollinshead, et al., "The organization of the human cerebral cortex estimated by intrinsic functional connectivity," Journal of neurophysiology, vol. 106, pp. 1125-1165, 2011.

[12] A. Fornito, A. Zalesky, and E. Bullmore, Fundamentals of brain network analysis: Academic Press, 2016.

[13] J. W. Choi and K. H. Kim, "Methods for functional connectivity analysis," in Computational EEG Analysis, ed: Springer, 2018, pp. 125-145.

[14] A. M. Bastos and J.-M. Schoffelen, "A tutorial review of functional connectivity analysis methods and their interpretational pitfalls," Frontiers in systems neuroscience, vol. 9, p. 175, 2016.

[15] C. Tallon-Baudry and O. Bertrand, "Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation," Trends in cognitive sciences, vol. 3, pp. 151-162, 1999.

[16] S. Baillet, J. C. Mosher, and R. M. Leahy, "Electromagnetic brain mapping," IEEE Signal processing magazine, vol. 18, pp. 14-30, 2001.

[17] P. Ritter and A. Villringer, "simultaneous EEG–fMRI," Neuroscience & Biobehavioral Reviews, vol. 30, pp. 823-838, 2006.

[18] S. Sanei and J. Chambers, "Introduction to EEG

[19] D. Cordes, V. M. Haughton, K. Arfanakis, J. D. Carew, P. A. Turski, C. H. Moritz, et al., "Frequencies contributing to functional connectivity in the cerebral cortex in "resting-state" data," American journal of neuroradiology, vol. 22, pp. 1326-1333, 2001.

[20] M. D. Greicius, B. Krasnow, A. L. Reiss, and V. Menon, "Functional connectivity in the resting brain: a network analysis of the default mode hypothesis," Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 100, pp. 253-258, 2003.

[21] A. L. Cohen, D. A. Fair, N. U. Dosenbach, F. M. Miezin, D. Dierker, D. C. Van Essen, et al., "Defining functional areas in individual human brains using resting functional connectivity MRI," Neuroimage, vol. 41, pp. 45-57, 2008.

[22] A. C. Kelly, A. Di Martino, L. Q. Uddin, Z. Shehzad, D. G. Gee, P. T. Reiss, et al., "Development of anterior cingulate functional connectivity from late childhood to early adulthood," Cerebral cortex, vol. 19, pp. 640-657, 2009.

[23] K. R. Van Dijk, T. Hedden, A. Venkataraman, K. C. Evans, S. W. Lazar, and R. L. Buckner, "Intrinsic functional connectivity as a tool for human connectomics: theory, properties, and optimization," Journal of neurophysiology, vol. 103, pp. 297-321, 2010.

[24] L. Q. Uddin, A. Clare Kelly, B. B. Biswal, F. Xavier Castellanos, and M. P. Milham, "Functional connectivity of default mode network components: correlation, anticorrelation, and causality," Human brain mapping, vol. 30, pp. 625-637, 2009.

[25] S. Micheloyannis, M. Vourkas, V. Tsirka, E. Karakonstantaki, K. Kanatsouli, and C. J. Stam, "The influence of ageing on complex brain networks: a graph theoretical analysis," Human brain mapping, vol. 30, pp. 200-208, 2009.

[26] M. P. Van Den Heuvel and H. E. H. Pol, "Exploring the brain network: a review on resting-state fMRI functional connectivity," European neuropsychopharmacology, vol. 20, pp. 519-534, 2010.

[27] M. D. Fox and M. Greicius, "Clinical applications of resting state functional connectivity," Frontiers in systems neuroscience, vol. 4, p. 19, 2010.

[28] D. D. Jolles, M. A. van Buchem, E. A. Crone, and S. A. Rombouts, "A comprehensive study of whole-brain functional connectivity in children and young adults," Cerebral cortex, vol. 21, pp. 385-391, 2011.

[29] D. Tomasi and N. D. Volkow, "Functional connectivity hubs in the human brain," Neuroimage, vol. 57, pp. 908-917, 2012.

[30] R. L. Buckner, F. M. Krienen, A. Castellanos, J. C. Diaz, and B. T. Yeo, "The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional

connectivity," Journal of neurophysiology, vol. 106, pp. 2322-2345, 2011.
[31] transfer entropy," Cognitive Neurodynamics, pp. 1-12, 2021.

KN0-0903-3706

جایابی و انتخاب بهینه پارامترهای DPFC بمنظور مدیریت تراکم در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده

یاسر ابلاغی eblaghi301@gmail.com
زهرا کرمی zkarami.ie@gmail.com
[1]برق منطقه ای /تهران ایران
[2]سازمان ملی استاندارد /کرج ایران

چکیده: پدیدار شدن تجدید ساختار در سیستم های قدرت و دسترسی آزاد به شبکه انتقال متضمن تحقق یک رقابت سالم در مبادله توان است و پرشدگی خطوط انتقال می تواند به عنوان یک مشکل جدی مانع از ایجاد این رقابت سالم باشد. از آنجا که ادوات *FACTS* شرایط و امکان کنترل پارامترهای موثر بر توان انتقالی در سطح شبکه انتقال را فراهم می سازند، استفاده از این ادوات برای مدیریت پرشدگی خطوط به عنوان یکی از راهکارها، مفید به نظر می رسد. به همین منظور محل نصب و تنظیم پارامترهای ادوات *FACTS* جهت دستیابی به اهداف مورد نظر حائز اهمیت است. در این مقاله جهت مدیریت تراکم، ادوات *FACTS* نوینی تحت عنوان *DPFC* معرفی و بررسی می گردد. به منظور تنظیم پارامترهای *DPFC* و تعیین مکان مناسب آن برای مدیریت وکاهش تراکم انتقال در محیط تجدید ساختاریافته، یک روش بر مبنای الگوریتم *PSO* و استفاده از پخش بار بهینه *(AC-OPF)* درترکیب با *DPFC* استفاده شده است. برای این منظور دو تابع هدف کل هزینه تراکم و هزینه تولید ژنراتورها در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه سازی روی شبکه برروی سیستم های ۱۴ باسه و۵۷ باسه *IEEE* تاثیر مکان مناسب *DPFC* را در کاهش هزینه های تراکم بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت تراکم، ادوات***FACTS***، الگوریتم ***PSO***، پخش بار بهینه(***AC-OPF***)، ***DPFC***

۱. مقدمه

پدیدار شدن تجدید ساختار در صنعت برق، از مسائل جدید در سال های اخیر است که به منظور ایجاد رقابت در تولید برق و در نتیجه کاهش قیمت برق، افزایش بازده شبکه برق، بهبود سرویس دهی و کیفیت برق و ... در سیستم قدرت مطرح شده است. از طرفی محدودیت انتقال توان در خطوط، شبکه انتقال را بصورت یک مشکل جدی بر سر راه تجدید ساختار تبدیل کرده است. بدلایل مختلفی چون خروج خطوط، خروج ژنراتورها و تغییر در میزان قراردادهای تبادل توان، ممکن است بخش هایی از شبکه انتقال با اضافه بار روبرو شوند . در ساختار سنتی این مشکل با دستورالعمل هایی برطرف می گردید و از آنجا که این بخش ها در شبکه های سنتی مشخص و مقدار حدی آن در دوره معینی بسته به میزان بار ثابت می ماند، راه حل اساسی برای رفع پرشدگی افزایش خطوط انتقال یا اضافه کردن ظرفیت نصب شده شبکه انتقال بود. اما با طرح دسترسی آزاد در شبکه انتقال در سیستم های تجدید ساختار شده، پرشدگی خطوط شکل حادتری به خود گرفته و بروز آن از حالت معین و ثابت در سیستم های سنتی به وضعیتی نامعین، غیردقیق، ریسک پذیر و بعضاً در مکانی از پیش تعیین نشده تغییر یافته است[1].

روش های بسیاری برای کاهش تراکم انتقال وجود دارد. یکی از این روش ها استفاده از ادوات FACTS[۱] می باشد. از آنجا که محدودیت انتقال توان شبکه اساساً با کنترل فلوی توان قابل رفع یا کاهش است، استفاده از ادوات FACTS بسیار مفید به نظر می رسد[2]. در این میان در بسیار از مراجع [3]، [4]،[5]، [6] و... UPFC[۲] به منظور رفع یا کاهش پرشدگی معرفی شده است. اگر چه UPFC دارای توانایی بالایی در کنترل سیلان توان دارند، ولی معمولاً استفاده تجاری ندارند اولین دلیل: هزینه آن است ظرفیت این تجهیز که معمولاً در حدود ۱۰۰ مگاولت آمپر، با ولتاژ ۱۰۰کیلوولت تا ۵۰۰کیلوولت است. که نیاز به تعداد زیادی کلیدهای الکترونیک قدرت جهت اتصال بصورت سری و موازی است. به منظور فراهم آوردن ایزولاسیون ولتاژ، استفاده از ترانسفورماتور سه فاز ولتاژ بالا، ضروری است. همچنین ادوات FACTS در محل های مختلف برای اهداف مختلف نصب می شوند، هریک از آنها منحصر به فرد هستند. در نتیجه هر یک از ادوات FACTS نیاز به هزینه طراحی و ساخت، که منجر به سیکل ساخت طولانی و هزینه های زیادی می شوند. در نهایت ادوات FACTS یک سیستم پیچیده می باشد و نیاز به یک محیط بزرگ برای نصب و راه اندازی دارد. همچنین نیاز به مهندسان آموزش دیده برای تعمیر و نگهداری دارد. دومین دلیل که دارای اهمیت می باشد: امکان خرابی ادوات FACTS ترکیبی می باشد. دو موضوع که باید در نظر گرفته شود عبارتنداز: قابلیت اطمینان خود تجهیزات و تاثیر آنها بر امنیت سیستم است. ادوات FACTS ترکیبی یک سیستم پیچیده است، که شامل تعداد زیادی مولفه های اکتیو و پسیو می باشد. که بدون اقدام احتیاط مناسب، احتمال خرابی ادوات FACTS ترکیبی از دیگری جبران سازها زیاد است. به منظور افزایش قابلیت اطمینان مطلوب، استفاده از حفاظت پیچیده (مدار bypass) و افزونگی پشتیبان (ترانس هاو بانک خازنی پشتیبان) همیشه برای تجهیزات FACTS ترکیبی، فراهم می شود که باعث بالا رفتن هزینه ها می شود[7]. همچنین تاثیر امکان خرابی در تجهیزات FACTS ترکیبی نسبت به سایر تجهیزات در سیستم قدرت خیلی بحرانی تر است. بطور مثال خرابی تجهیز شنت، باعث می شود این تجهیز از شبکه قطع شده که مانع جبران سازی توان اکتیو می شود. و همچنین بدلیل اینکه مبدل سری مربوط به تجهیزات FACTS ترکیبی بطور مستقیم در خطوط انتقال جای داده شده، در نتیجه خطوط انتقال در زمان خطا این از سیستم قدرت جدا می شوند.

به سبب این دو اشکال مهم، UPFC بطور وسیع به کار برده نمی شود. حتی وقتی بیشترین تقاضا جهت سیلان توان در شبکه هست بطور معمول انتخاب اول صنعت نمی باشد. بطور معمول ترانس PST که دارای توانایی کنترل کم می باشد، بدلیل اقتصادی، انتخاب می شود[8].

در این مقاله با توجه به مسائل بحث شده و موانع موجود، یک راهکار جدید، با قابلیت اطمینان بالا و اقتصادی برای سیلان توان در خطوط، تحت عنوان کنترل سیلان توان توزیع شده (DPFC[۳]) معرفی می شود. این تجهیز بعنوان عضو جدیدی از خانواده ادوات FACTS توزیع شده D-FACTS[۴] به حساب می آید در ادامه بخش های بعد ثابت خواهد شد. DPFC علاوه براینکه دارای توانایی های UPFC می باشد، معایب UPFC برطرف نموده و دارای قابل اطمینان بالا و هزینه پایین می باشد.

در این مقاله قابلیت DPFC را بعنوان یکی از ادوات FACTS با قابلیت بالا برای رفع تراکم انتقال بررسی شده سپس برای یافتن مکان بهینه DPFC و تنظیم پارامترهای آن از یک روش ترکیبی استفاده شده سپس با استفاده از الگوریتم PSO بهترین مکان DPFC از بین خطوط انتخاب و با هدف کمینه سازی کل هزینه تراکم یا تولید مشخص می شود.

۲- ساختار و اصول عملکرد DPFC

کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC)به دلیل هزینه ها و امکان خرابی زیاد، بطور وسیع به کار برده نمی شود. بر این اساس، روش جدیدی جهت افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه ها، مورد نیاز است.پس از بررسی حالتهای خرابی ادوات FACTS ترکیبی، مشخص گردید که لینک DC مشترک بین مبدل ها باعث کاهش قابلیت تجهیزات می شود. با حذف این لینکDC مشترک، مبدلهای موجود در ادوات FACTS، بطور مستقل عمل کرده ودر نتیجه قابلیت اطمینان آنها افزایش خواهد می یابد. با حذف لینک DC مشترک همچنین اجازه می دهد تا مفهوم DSSC[۵] در مبدلهای سری استفاده شود. در این صورت، قابلیت اطمینان تجهیز جدید به سبب افزونگی که به وسیله مبدل های توزیع شده سری می باشد، بهبود

۱ -Flexible AC Transmission Systems

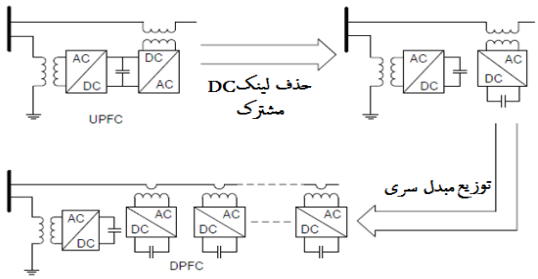
۲ -Unified Power Flow Controller

۳ -Distributed Power Flow Controller

۴ - Distributed FACTS

۵ - Distributed Static Series Compensator

داده شود. علاوه بر این، در مبدل سری توزیع شده با توجه به عدم نیاز به ایزولاسیون ولتاژ زیاد و عدم نیاز به مقدار توان زیاد در هر واحد از بخش سری، از هزینه ها کاسته می شود. با استفاده از دو روش، حذف لینک DC مشترک و توزیع مبدل سری در UPFC ، ادوات FACTS ترکیبی جدیدی تحت عنوان کنترل کننده توزیع شده سیلان توان (DPFC) حاصل می شود[9].که در شکل(۱) نشان داده شده است.



شکل۱- مراحل تغییر از UPFC به DPFC

۲,۱ اصول عملکرد DPFC

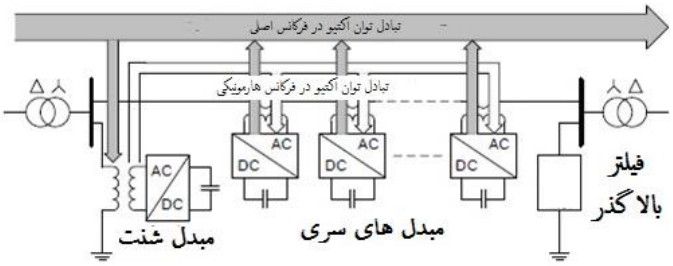
از آنجایکه در DPFC از طریق خطوط انتقال یک ارتباط مشترکی از طریق ترمینال های AC مبدل های شنت و سری وجود دارد بنابراین می توان از طریق ترمینال های AC ، توان اکتیو را تبادل کرد. این روش بر مبنای تئوری توان مولفه های غیر سنوسی است. با توجه به تجزیه و تحلیل فوریه، ولتاژ و جریان غیر سینوسی می توان مجموع توابع سینوسی در فرکانس و دامنه ها های متفاوت بیان کرد. توان اکتیو ناشی از این ولتاژ و جریان غیر سینوسی، تعریف مقدار متوسط حاصل شده از جریان و ولتاژ می باشد. زمانیکه انتگرال همه ضرب برداری عبارتها با فرکانس های مختلف صفر هستند، توان اکتیو را می توان بصورت زیر بیان کرد.

$$P = \sum_{i=1}^{\infty} V_i I_i \cos\phi_i$$

معادله(1)

از آنجایکه V_i و I_i بترتیب ولتاژ و جریان در فرکانس هارمونیک i^{th} است و ϕ_i متناظر با زاویه ولتاژ و جریان می باشد. معادله (1) نشان می دهد که توان های اکتیو در فرکانس های مختلف مستقل از یکدیگر هستند و ولتاژ یا جریان در یک فرکانس تاثیری در توان اکتیو در فرکانس های دیگر ندارد. مستقل از توان اکتیو در فرکانس های مختلف این امکان را می دهد که مبدل بدون منبع توان، می تواند توان اکتیو را در یک فرکانس تولید و این توان را در دیگر فرکانس ها جذب کند.

با استفاده از این روش برای DPFC، مبدل شنت می تواند توان اکتیو را از شبکه در فرکانس اصلی جذب کند و این توان را در فرکانس های هارمونیکی سوم تزریق کند. این توان اکتیو هارمونیکی از طریق خطوط انتقال دارای که دارای مبدل سری می باشد، جاری می شود. با توجه به مقدار مورد نیاز توان اکتیو در فرکانس اصلی، مبدل سری DPFC ولتاژی در فرکانس هارمونیکی تولید می کند، به موجب آن توان اکتیو از مولفه های هارمونیکی جذب می شود. صرفنظر از تلفات، توان اکتیو تولید شده در فرکانس اصلی مساوی با توان جذب شده در فرکانس هارمونیکی می باشد. برای فهمیدن بهتر، شکل (2) نحوه تبادل توان اکتیو در مبدل های شنت و سری DPFC را نشان می دهد. فیلتر بالا گذر در DPFC مولفه فرکانس اصلی را بلوکه کرده و اجازه می دهد مولفه های هارمونیکی عبور کنند. بنابراین یک مسیر برگشتی برای مولفه های هارمونیکی فراهم می شود. مبدل های شنت و سری، فیلتر بالا گذر و زمین برای جریان هارمونیکی یک مسیرحلقه بسته ای را تشکیل می دهند[9].



شکل (2) نحوه تبادل توان اکتیو بین مبدل های DPFC

۲,۲ مزایا و محدودیت های DPFC

مزایای DPFC در مقایسه با UPFC به شرح ذیل می باشد:

– توانایی کنترل بالا : DPFC می تواند همه پارامترهای شبکه انتقال را بطور همزمان کنترل کند.

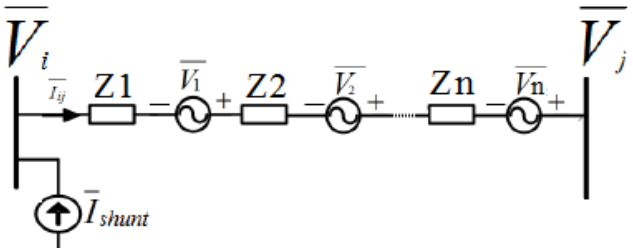
– قابلیت اطمینان : افزونگی مبدل های سری موجب افزایش قابلیت اطمینان سیستم بدون افزایش هزینه شده است. علاوه براین، مبدل های سری و شنت بصورت مستقل از هم کار می کنند و خرابی یکی از آنها تاثیری در مبدل های دیگر ندارد.

– هزینه پایین : ایزولاسیون فاز به فاز ولتاژ برای مبدل سری مورد نیاز نبوده و همچنین مقدار توان هر مبدل سری پایین می باشد و می توان برحسب نیاز جبران سازی، از آن استفاده کرد. اگر سیستم قدرت در حال حاضر نیاز به STATCOM دارد، می توان این سیستم را در صورن نیاز و با هزینه کم تبدیل به DPFC کرد، که در نتیجه هزینه ها پایین می آید[10].

۳. مدلسازی و فرمولاسیون DPFC در معادلات پخش بار بهینه

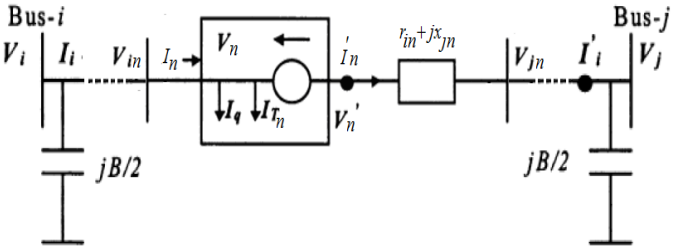
محاسبات پخش بار در سیستم های قدرت برای ارزیابی وضعیت سیستم در حالت بهره برداری و در شرایط مختلف بارگذاری از مهم ترین امور در مطالعات شبکه قدرت محسوب می شود. بکارگیری ادوات FACTS در سیستم های قدرت به منظور کنترل متغیرهای شبکه قدرت می تواند به عنوان عامل موثر در بهره برداری از شبکه و نیز طراحی شبکه های جدید محسوب شود. برای بررسی دقیق تاثیر ادوات FACTS درشبکه، مدلسازی و فرمول بندی آنها امر ضروری می باشد. یکی از روشهای مدلسازی حالت ماندگار ادوات FACTS در مطالعات پخش بار، روش توان می باشد. این مدل اولین بار توسط Noroozian برای ادواتFACTS سری ارائه شده است[11]. در مرجع [12] جهت مدلسازی UPFC نیز توسعه داده شده است. در این روش امکان مدلسازی هر نوع از ادوات FACTS میسر بوده و این ادوات به توان های اکتیو و راکتیو تزریقی تبدیل می شوند. از طرف دیگر این توانهای تزریقی را می توان مطابق با هر نوع از ادوات FACTS به پارامترهای کنترلی آن وسیله کرد. مزیت عمده مدل تزریق توان این است که در این روش معادلات پخش بارAC دستخوش تغییر زیادی نمی شود. در این مقاله از مدل تزریقی توان DPFC برای مدلسازی شبکه استفاده شده است. در ادامه این بخش مدلسازی DPFC با استفاده از مدل تزریقی توان شرح داده می شود.

مدل توان تزریقی ادوات FACTS مدل مناسبی می باشد و از آنجا که این روش مدلسازی ماتریس ادمیتانس شبکه را تغییر نمی دهد. پیاده سازی آن در برنامه های بخش بار بهینه آسان خواهد بود. شکل (3) مدار معادل DPFC نشان داده شده است[13].



شکل(3): مدار معادلDPFC

تاثیر DPFC روی شبکه را می توان توسط منابع ولتاژ سری(DSSC) وارد شده $V_n\angle\phi_n$ (هر کدام بطور مجزا) و جریان شاخه موازی (ترانس موازی) I_{Shunt}مدل کرد که در شکل (۴) این مدل نشان داده شده است. DPFC دارای سه پارامتر قابل تنظیم می باشد. اندازه ولتاژ V_n و فاز آن ϕ_n در هریک از مبدل های سری و اندازه جریان راکتیو ترانس موازی (تحریک)I_q



شکل (4): مدار معادل هر بخش از DPFC در خط انتقال

منبع ولتاژ سری وارد شده توسط DPFC وظیفه کنترل توان عبور از خط را بر عهده دارد. جریان شاخه موازی (I_q) وظیفه جذب یا تزریق توان راکتیو به باس مورد نظر به منظور بهبود پروفیل ولتاژ شبکه و همچنین بالا بردن ظرفیت انتقال توان اکتیو از خطوط را انجام می دهد. هریک از این پارامترها دارای محدودیت هایی می باشد:

$$V_n^{\min} \le V_n \le V_n^{\max}$$
$$\phi_n^{\min} \le \phi_n \le \phi_n^{\max}$$
$$I_q^{\min} \le I_q \le I_q^{\max} \qquad (2)$$

با توجه به شکل (3) و (۴)، روابط ریاضی برای DPFC به صورت زیر خواهد بود:

$$I_{shunt} = I_q + I_{Tt}$$
$$V_T = V_1 + V_2 + \ldots + V_n \qquad (3)$$
$$Z_T = Z_1 + Z_2 + \ldots + Z_n$$

$$Z_T = r_{ij} + jx_{ij}$$

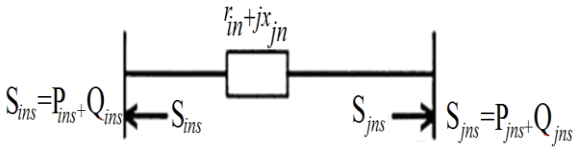
$$I_{Tt} = I_{T1} + I_{T2} + .. + I_{Tn}$$

$$I_i = I_{Tt} + I_q + I_i'$$

$$I_{Tn} = \frac{\mathrm{Re}[V_n \times I_n']}{V_{in}}$$

$$V_{in}' = V_{in} + V_n$$

مدل توان تزریقی DPFC در شکل (5) نشان داده شده است. معادلات توان عبوری از خط in-jn که DPFC در آن قرار دارد گرفته شده است را می توان به صورت زیر محاسبه کرد:



شکل (5): مدل توان تزریقی هز بخش از DPFC

$$Y_{injn}=\frac{1}{Z_{injn}}=\frac{1}{r_{injn}+jx_{injn}}=(g_{injn}+jb_{injn})$$

$$\begin{aligned} S_{ninj} &= P_{injn}+jQ_{injn}=V_{in}\times I^{*}_{injn} \\ S_{jnin} &= P_{injn}+jQ_{jnin}=V_{jn}\times I^{*}_{jnin} \end{aligned} \quad (4)$$

با توجه به روابط (3)و(۴) و مدل DPFC در خط انتقال، توان های تزریقی به باس های in-jn در شکل (5) طبق زیر بدست می آید:

(5)

$$\begin{aligned} &P_{ins}=g_{injn}V_n^2-2V_{in}V_n g_{injn}\cos(\phi_n-\delta_{in}) \\ &+V_{jn}V_n[g_{injn}\cos(\phi_n-\delta_{in})+b_{injn}\sin(\phi_n-\delta_{in})] \\ &Q_{ins}=V_{in}I_q+V_{in}V_n[g_{injn}\sin(\phi_n-\delta_{in}) \\ &-b_{injn}\cos(\phi_n-\delta_{in})] \\ &P_{jns}=V_{jn}V_n[g_{injn}\cos(\phi_n-\delta_{jn})-b_{injn}\sin(\phi_n-\delta_{jn})] \\ &Q_{jns}=-V_{jn}V_n[g_{injn}\sin(\phi_n-\delta_{jn})-b_{injn}\cos(\phi_n-\delta_{jn})] \\ &P_{ij}=P_1+P_2+\ldots+P_n \\ &Q_{ij}=Q_1+Q_2+\ldots+Q_n \\ &S_{ij}=P_{ij}+jQ_{ij}=V_i\times I^{*}_{ij}=V_i(I_i+jV_iB/2)^{*} \\ &S_{ji}=P_{ij}+jQ_{ji}=V_j\times I^{*}_{ji}=V_j(jV_jB/2-I'_i)^{*} \end{aligned}$$

برای حل مسأله بهینه سازی (OPF) در ترکیب با نرم افزار DPFC از نرم افزار Matpower5.0b1 استفاده شده است.

۴. مروری بر الگوریتم PSO

امروزه با بزرگتر شدن مسائل و اهمیت یافتن سرعت رسیدن به پاسخ و جلوگیری از قرار گرفتن در بهینه های محلی از الگوریتم های جستجوی تصادفی استقبال بیشتری می شود. در این مقاله از روش PSO که یکی از جدیدترین روشهای جستجو است استفاده شده است. در این روش با تنظیم مسیر حرکت یک جمعیتی از ذرات در فضای مسأله بر پایه اطلاعات مربوط به بهترین شایستگی قبلی مربوط به هر ذره و بهترین شایستگی قبلی مربوط به همسایگان هر ذره، عمل جستجو را در فضای مسأله انجام می دهد. PSO با یک گروه از جوابهای تصادفی (ذره ها) شروع به کار می کند، سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مسأله با به روز کردن نسلها به جستجو می پردازد. هر ذره با دو مقدار که به X_i و V_i که به ترتیب معرف وضعیت مکانی و سرعت مربوط به iامین ذره هستند تعریف می شود. در هر مرحله از حرکت جمعیت، ذره با دو مقدار بهترین به روز می شود[14]. اولین مقدار، بهترین جواب از لحاظ شایستگی[۱] است که تاکنون برای هر ذره بطور جداگانه بدست آمده است، این مقدار p_best نامیده می شود. مقدار بهترین دیگری که توسط PSO به دست می آید، بهترین مقداری است که تا کنون توسط تمام ذره ها در میان جمعیت بدست آمده است، این مقدار، بهترین کلی است و g_best نام دارد. بعد از یافتن دو مقدار p_best و g_best، هر ذره سرعت و مکان جدید خود را طبق روابط زیر به روز می کند:

$$\begin{aligned} V_i^{k+1} &= W\times V_i^k+C_1\times rand\times(p_best_i-S_i) \\ &+C_2\times rand\times(g_best_i-S_i) \end{aligned} \quad (۶)$$

$$S_i^{k+1}=S_i^k+V_i^{k+1} \quad (۷)$$

$$W=W_{\max}+\frac{(W_{\min}-W_{\max})}{iterMax}\times iter \quad (۸)$$

که لیست متغیرها مطابق جدول (۱) است.

جدول (۱): لیست متغیرهای الگوریتمPSO

سرعت ذره i در تکرار k ام	V_i^k
سرعت ذره i در تکرار k+1 ام	V_i^{k+1}
وزن اینرسی	W
ضریب وزنی	$C_2 = C_1$
مکان فعلی ذره i در تکرار kام	S_i^k
مکان فعلی ذره i در تکرار k+1ام	S_i^{k+1}
شماره تکرار فعلی	iter
ماکزیمم تعداد تکرار	iter max
بهترین جواب ذره i از لحاظ شایستگی	P_best_i

[۱] -Fitness

بهترین جواب گروه از لحاظ شایستگی	g_best_i
مقدار اولیه برای وزن اینرسی	W_{max}
مقدار نهایی برای وزن اینرسی	W_{min}

شرط توقف را می توان به چند صورت تعریف کرد، مثلاً بر روی حداکثر تعداد تکرار، یا اینکه ماکزیمم تغییر در بهترین شایستگی برای دو تکرار متوالی کمتر از تلورانس تعریف شده باشد[15].

$$\left|g_best^{(k+1)} - g_best^{(k)}\right| \le \varepsilon \qquad (۹)$$

$$where = 0.001$$

رابطه (۶) شامل جمع سه عبارت است که عبارت اول نسبتی از سرعت جاری ذره است، به همراه عبارت دوم که متناسب با تفاضل مکان پرنده با بهترین موقعیت قبلی آن و عبارت سوم که تفاضل مکان آن با بهترین جواب در میان کل جمعیت است سبب هدایت سرعت جدید ذره به سمت جواب بهینه می شوند. همگرایی مسأله به پارامترهای PSO مانند W وC_1 و C_2 وابسته می باشد. مقادیر C_1 وC_2 را معمولاً برابر و($C_1 = C_2$) و *دربازه* [0-2] در نظر می گیرند. ضریب اینرسی وزنی هم با تغییر توسط رابطه (۸) باعث همگرایی خواهد شد. که به صورت دینامیک در بازه [0.2-0.8] تعریف می شود.

۵. روش ارائه شده برای حل مسأله

در این مقاله دو تابع هدف برای تعیین مکان مناسب DPFC و تنظیم پارامترهای آن در نظر گرفته شده است:

۱- کل هزینه تولید ژنراتورها TGC (Total Generation Cost)

۲- کل هزینه تراکم در شبکه، (Total Congestion Cost) که به صورت زیر تعریف می شود:

$$TCC = \sum_{ij=1}^{NL} P_{ij} \times \Delta\rho_{ij} \qquad (۱۰)$$

$$\Delta\rho_{ij} = \left|LMP_i - LMP_j\right| \qquad (۱۱)$$

که در آن TCC، کل هزینه تولید تراکم، که در آن P_{ij} ، توان عبوری از خط NL،ij تعداد کل خطوط انتقال شبکهLMP_i وبه LMP_j ترتیب قیمت حاشیه ای توان در باسهای i و j می باشد. به منظورکمتر شدن فضای حل مسأله و بررسی نکردن تمام خطوط شبکه برای جایابی DPFC از معیار " Congeestion Rent Contrbution" استفاده شده است[16]. به عبارت دیگر این روش خطوطی را که قابلیت بیشتری برای انتقال توان دارند برای تأثیر روی امپدانس آنها انتخاب شده است. در این روش با توجه به مقادیرمحاسبه شده CCC_{ij} برای هر خط ومرتب کردن آن ها به صورت نزولی تعدادی از خطوط شبکه بعنوان کاندیدا برای نصب DPFC انتخاب می شوند.

$$CC_{ij} = \Delta\rho_{ij} \times P_{ij}$$

$$CCC_{ij} = \frac{CC_{ij}}{TCC} \qquad (۱۲)$$

که $CCij$ کرایه تراکم خط ij نامیده می شود. در این مقاله برای مدیریت تراکم شبکه انتقال از الگوریتم بهینه سازی PSO وپخش بار بهینه AC در ترکیب DPFC استفاده شده است. روش ارائه شده به صورت گام به گام در زیر شرح داده می شود: گام اول :ابتدا برنامه OPF را بدون حضور DPFC نرم افزار Matpower 5.0b1 اجرا میکنیم و مقادیرLMP باس ها و توان عبوری از خطوط شبکه را بدست می آوریم. گام دوم :مقادیر CCC_{ij} را توسط اطلاعات بدست آمده از گام اول برای هر خط محاسبه کرده و با مرتب کردن آن ها خطوط کاندیدا برای قرار گرفتن DPFC را مشخص می کنیم. گام سوم :حالا الگوریتم PSO را همراه با برنامه OPF ترکیب شده با DPFC برای تنظیم پارامترهای DPFC و تعیین محل مناسب آن از بین خطوط بدست آمده از گام دوم بکار می گیریم. جمعیت تولید شده توسط PSO بصورت زیر می باشد:

محل نصب DPFC	V_T	$\emptyset_T$	I_q

که برای حل مسأله، حدود پارامترهای DPFC را به صورت زیر در نظر می گیریم (مقادیر بر حسب P.U می باشند):

$$\text{P.U}\quad 0 \le V_n \le 0.25$$

$$\text{rad}\quad 0 \le \phi_n \le 2\pi \qquad (۱۳)$$

$$-1 \le I_q \le 1 \quad \text{P.U}$$

محل نصب و مقادیر بهینه پارامترهای DPFC با توجه به توابع هدف بدست می آید.

۶. مطالعه موردی

دو سیستم 14 و 57 باسه IEEE برای نشان دادن تاثیر حضور DPFC در شبکه بررسی شده است. اطلاعات مربوط به بار و شبکه برای هردو سیستم در [17] آمده است.

۶,۱ سیستم 14باسه IEEE

این سیستم شامل 20 خط انتقال می باشد که محدودیت های حرارتی برای هریک از خطوط در [18] آمده است.جدول(2) هزینه کل تراکم، هزینه سوخت و خطوط اضافه بار شده را برای سیستم 14 باسه نشان می دهد. با توجه به جدول(۲) خطوط 1و2 دچار پرشدگی شده اند .در جدول (۳) مقادیر CCC_{ij} را برای تمام خطوط شبکه نشان می دهد. مطابق جدول (۳) از بین ۲۰ خط شبکه انتخاب ۱۰ از بین 20 خط شبکه انتخاب 10 خط (خطوط۴،۲۰ ،۱۱،۱۳،۳،۷،۵،۶،۲،۱) به عنوان خطوط کاندید برای نصب DPFCکافی می باشد. تعداد خطوط انتخاب شده نیز به اندازه شبکه و تعداد خطوط آن بستگی دارد.

جدول(۲): نتایج حاصل از OPF بدون حضور DPFC برای سیستم 14 باسه IEEE

Congested line number	Total congestion cost($/hour)	Production cost($/hour)	Power flow of congested lines(MVA)
4(4-5) 7(7-6)	1995.7	7021.1	50 60

گاهی اوقات به علت وجود برخی محدودیت ها نصب ادوات FACTS دربهترین محل بدست آمده در شبکه امکان پذیر نمی باشد

جدول(۳): مقادیر CCC_{ij} برای سیستم ۱۴ باسهIEEE

line no	CCC_{ij}	line no	CCC_{ij}	line no	CCC_{ij}	line no	CCC_{ij}
۱	0.3053	6	0.1052	11	0.0105	16	0.0009
۲	0.0848	7	0.0101	12	0.0026	17	0.0108
۳	0.2208	8	0.0211	13	0.0098	18	0.0056
۴	0.1195	9	0.0088	14	0.0099	19	0.0018
۵	0.00980	10	0.0105	15	0.0102	20	0.0078

که در این حالت باید به دنبال اولویت های بعدی باشیم که این روش با ارائه لیستی از خطوط این مشکل را حل می کند. از بین 10 خط انتخاب شده با استفاده از الگوریتم PSO مکان مناسب DPFC بر اساس تابع هدف تعریف شده مشخص می شود. نتایج حاصل در جدول (۴) ارائه شده است. جدول (4) لیست اولویت خطوط برای قرار گرفتن DPFC و همچنین پارامترهای آن را بر اساس تابع هدف کل هزینه تراکم نشان می دهد. مطابق جدول(4)، خط 5 به عنوان اولویت اول و بهترین مکان DPFC با کل هزینه تراکم 399.2 $/hrدر مقایسه با کل هزینه تراکم 1995.7$/hr برای حالت بدون حضور DPFC می باشد، اولویت های بعدی برای قرار گرفتن DPFC به ترتیب شامل خطوط ۱۱،۴،۲،۱،۲۰،۶،۱۳،۷،۵و۳ می باشد. در ادامه، جدول(۵) لیست اولویت خطوط برای قرار گرفتنDPFC و همچنین پارامترهای آن را بر اساس تابع هدف کل هزینه تولید ژنراتورها نشان می دهد. مطابق جدول(5)، خط به عنوان اولویت اول و بهترین مکان DPFCبا کل هزینه تولید$/hr ۱۹۸۲,۴ می باشد، در صورتی که برای حالت بدون حضور DPFCدر شبکه این مقدار برابر $/hr ۷۰۲۱,۱ می باشد.

خطوط ۱۱،۴،۲،۱،۲۰،۶،۱۳،۷،۵و۳ به ترتیب در اولویت های بعدی برای قرارگیریDPFC قرار دارند .در نهایت با مقایسه جدول های (2) و (4) و (5) مشاهده می شود در خطوط مورد نظربا هدف کاهش هزینه تراکم، مقدار1596.5= 399.2-1995.7 هزینه در هر ساعت و با هدف کاهش هزینه تولید مقدار =1982.4- 7021.1 5038.7 هزینه در هر ساعت صرفه جویی می شود. با توجه به میزان اهمیت هریک از توابع هدف، مکان مناسب DPFC مشخص می شود.

جدول (4) : نتایج حاصل ازOPF بر اساس تابع هدف کل هزینه تراکم با حضور DPFC برای سیستم 14 باسه IEEE

Priority no.	V_T	$Ø_T$	I_q	Total congestion cost($/hr)	DPFC location
۱	0.2188	2.3370	0.2948	399.2	Line 5
۲	0.2112	0.9415	-0.8701	472.7	Line 7
۳	0.2500	2.0955	0.2853	566.1	Line 13
۴	0.0627	5.8676	-0.7256	612.3	Line 6
۵	0.0512	2.7864	0.5869	743.2	Line 20
۶	0.1917	1.6742	0.4165	876.8	Line 1
۷	0.1139	1.5364	0.8323	938.2	Line 4
۸	0.1553	2.2104	0.0757	1085.7	Line 2
۹	0.0513	2.0019	0.4164	1156.3	Line 11
۱۰	0.0637	2.1084	0.2374	1612.1	Line 3

جدول (5) :نتایج حاصل از OPF بر اساس تابع هدف کل هزینه تولید ژنراتورها با حضورDPFC برای سیستم 14 باسه IEEE

Priority no.	V_T	$Ø_T$	I_q	Total congestion cost($/hr)	DPFC location
۱	0.0701	2.1335	0.5612	1982.4	Line 5
۲	0.1824	2.7561	0.1987	2179.7	Line 6
۳	0.2589	2.6011	0.4984	2806.8	Line 1
۴	0.2002	2.1662	0.3891	2841.9	Line 7
۵	0.1982	1.1098	0.0458	2971.4	Line 2
۶	0.2163	2.7812	0.3978	3099.5	Line 20
۷	0.1356	1.5194	0.1001	3383.1	Line 3
۸	0.1219	1.6710	0.2311	4055.8	Line 11
۹	0.1523	2.2612	0.019-9	4221.4	Line 4
۱۰	0.1154	1.8731	0.0978	4341.7	Line 13

18(4-16) 23(8-9)	5153.1	۵۰۸۱۰	۰۴ 60

۶,۲ سیستم 57 باسه IEEE

این سیستم شامل 80 خط انتقال می باشد که محدودیت های حرارتی برای هریک از خطوط این سیستم به این صورت می باشد[20]: حد 50MVA برای خطوط ۱،۲،۱۵،۱۶،و۱۸ حد 170MVA برای خط ۸، حد 40MVA برای خط ۱۷ و حد 70MVA برای خط ۲۲ و حد حرارتی سایر خطوط انتقال 500MVA در نظر گرفته شده است. جدول (۶) کل هزینه تراکم، کل هزینه تولید ژنراتورها و خطوط اضافه بار شده را برای سیستم 57 باسه IEEE نشان می دهد. با توجه به جدول (6)، خطوط 1 و 2 دچار پرشدگی شده اند. در جدول (7) مقادیر CCC_{ij} برای تمام خطوط سیستم ۵۷ **باسه** IEEE **آمده است. مطابق جدول (۷)** از بین 80 خط این شبکه، تنها 20 خط (خطوط۱۷،۲۲، ۵۸،۱۰۱۵،۱۶،۴۱،۹۱۲،۶۰،۷۱،۷۲،۱۱،۶۲،۲۷،۶۸،۶۹۳۰) به عنوان خطوط کاندید برای نصب DPFC انتخاب شده اند.

جدول(۶): نتایج حاصل از OPF بدون حضور DPFC برای سیستم ۵۷ باسه IEEE

Congested line number	Total congestion cost($/hour)	Production cost($/hour)	Power flow of congested lines(MVA)

جدول (8) لیست اولویت خطوط برای نصب **DPFC** همچنین پارامترهای آن را بر اساس تابع هدف کل هزینه تراکم نشان می دهد. مطابق جدول(5)، خط 9 به عنوان اولویت اول و بهترین مکان DPFC با کل هزینه تراکم 1258.7$/hr می باشد و خطوط ۱۲و۱۶ به ترتیب در اولویت های دوم و سوم قرار دارند. در صورتی که مطابق جدول (6)، این مقدار برای حالت بدون حضور DPFC برابر 5153.1 $/hrمی باشد. در ادامه، جدول (9) مقادیر پارامترهای DPFC و همچنین لیست اولویت خطوط بر اساس تابع هدف کل هزینه تولید ژنراتورها، برای نصب DPFC را نشان می دهد. مطابق جدول، خطوط شماره ۲۲،۸ و ۲۸ به عنوان سه اولویت اول برای نصب DPFC انتخاب شده اند. خط18 با هزینه کل تولید 40200$/hr در مقایسه با کل هزینه تولید 41921 $/hr برای حالت بدون حضور DPFC به عنوان بهترین خط انتخاب می شود. با مقایسه جدول های (6) و (8) و (9) مقدا هزینه مطابق زیر می باشد: مقدا هزینه صرفه جویی شده با هدف کمینه کردن کل هزینه تولید ژنراتورها: 50810 - 41200 = 9610 $/hr

مقدا هزینه صرفه جویی شده با هدف کمینه کردن کل هزینه تراکم:

5153.1 - 1259.7 = 3893.4 $/hr

جدول(7): مقادیر CCC_{ij} برای سیستم 57 باسهIEEE

line no	CCC_{ij}	line no	CCC_{ij}	line no	CCC_{ij}	line no	CCC_{ij}
۱	0.0136	۲۱	0.0018	۴۱	0.0199	۶۱	0.0009
۲	0.0185	۲2	0.2483	42	0.0017	62	0.0003
۳	0.0130	۲۳	0.0030	۴۳	0.0011	۶۳	0.0006
۴	0.0065	۲۴	0.0039	۴۴	0.0006	۶۴	0.0057
5	0.0106	25	0.0065	45	0.0001	65	0.0007
6	0.0066	26	0.0052	46	0.0020	66	0.0078
7	0.0466	27	0.0075	47	0.0008	67	0.0006
8	0.1365	28	0.0075	48	0.0019	68	0.0008
9	0.0334	29	0.0024	49	0.0016	69	0.0079
10	0.0198	30	0.0002	50	0.0049	70	0.0128
11	0.0164	31	0.00003	51	0.00004	71	0.0003
12	0.0190	32	0.000004	52	0.000006	72	0.0128

13	0.0007	33	0.0102	53	0.0011	73	0.0010
14	0.0023	34	0.0113	54	0.0019	74	0.0043
15	0.0353	35	0.0016	55	0.0066	75	0.0026
16	0.0293	36	0.0008	56	0.0019	76	0.0012
17	0.1818	37	0.0019	57	0.0011	77	0.0010
18	0.0025	38	0.0038	58	0.0045	78	0.0012
19	0.0002	39	0.0010	59	0.0029	79	0.0017
20	0.0002	40	0.0031	60	0.0111	80	0.0037

جدول(۸): نتایج حاصل ازOPF بر اساس تابع هدف کل هزینه تراکم با حضور DPFC برای سیستم 57 باسه IEEE

Priority no.	V_T	δ_T	I_q	Total congestion cost($/hr)	DPFC location
۱	0.1120	1.5996	0.5138	1258.1	Line 28
۲	0.1589	1.8914	0.6815	1523.3	Line 16
3	0.1086	2.6087	0.6953	1810.2	Line 7
۴	0.2600	1.8012	0.6823	1973.1	Line 22
5	0.1558	3.1810	0.7586	2187.6	Line 27
6	0.2498	2.2452	0.6282	2201	Line 11
7	0.0387	3.8439	0.5600	2221	Line 5
8	0.1990	1.3610	0.4095	2240.2	Line 71
9	0.2500	2.4065	0.3389	2289.1	Line 12
10	0.2659	1.1290	0.6021	2302.8	Line 10
11	0.1357	1.9730	0.6052	2336	Line 69
12	0.0296	2.3467	0.2014	2385.3	Line 41
13	0.1839	1.9253	0.0279	2448.5	Line 15
14	0.1001	1.8745	0.5362	2571.6	Line 9
15	0.1555	1.8951	0.5829	2687.1	Line 8
16	0.0332	2.2543	0.3765	2803.9	Line 60
17	0.1480	1.7643	0.604	2849.5	Line 66
18	0.0599	2.2645	0.4089	2641.2	Line 2
19	0.1980	2.1285	0.4910	3162.2	Line 17
20	0.0469	2.2581	0.2041	3979.3	Line 70

جدول (9) :نتایج حاصل ازOPF بر اساس تابع هدف کل هزینه تولید ژنراتورها با حضورDPFC برای سیستم 57 باسه IEEE

Priority no.	V_T	δ_T	I_q	Total congestion cost($/hr)	DPFC location
۱	0.2409	2.4977	0.401	41200	Line 22
۲	0.2326	2.1086	0.320	41941	Line 8
3	0.1673	2.2021	0.438	41972	Line 28
۴	0.2189	2.2864	0.687	42984	Line 72

5	0.2659	1.5965	0.499	43699	Line 60
6	0.1872	2.1201	0.323	43790	Line 10
7	0.2666	2.1023	-0.19	43800	Line 15
8	0.2423	2.0492	0.218	45207	Line 7
9	0.2081	2.5981	0.412	45397	Line 12
10	0.2419	2.5123	0.231	45457	Line 5
11	0.2310	2.6301	0.466	46586	Line 16
12	0.2559	1.9838	0.401	47688	Line 69
13	0.1883	2.2445	0.674	47866	Line 2
14	0.2321	1.7532	0.421	48413	Line 66
15	0.1200	2.3790	0.869	48525	Line 9
16	0.1800	1.5839	0.823	48619	Line 70
17	0.1021	2.4985	-0.41	48754	Line 17
18	0.1410	2.7193	0.227	48673	Line 11
19	0.0867	0.2979	0.121	49701	Line 41
20	0.1209	1.9956	0.219	49880	Line 17

۷. نتیجه گیری

از آنجا که ادوات FACTS بویژه UPFC، شرایط و امکان کنترل پارامترهای مؤثر بر توان عبوری از خطوط را فراهم می سازند، ولی به دلیل هزینه بسیار بالا و قابلیت اطمینان این تجهیز، معمولاً استفاده تجاری ندارد. در این مقاله با توجه به موانع موجود و مسائل بحث شده، یک راهکار جدید، با قابلیت اطمینان بالا و اقتصادی برای سیلان توان در خطوط، تحت عنوان کنترل سیلان توان توزیع شده (DPFC) معرفی گردید. در ادامه از یک روش ترکیبی برای تنظیم بهینه پارمترهای DPFC و تعیین مکان مناسب آن برای کاهش هزینه تراکم انتقال و یا کاهش هزینه تولید ژنراتورها در سیستمهای قدرت استفاده شد. سپس نتایج حاصل از بکارگیری این روش بر روی دو سیستم نمونه 14 و 57 باسه IEEE در دو حالت با و بدون حضور DPFC در شبکه باهم مقایسه شد. نتایج بدست آمده نشان دهنده قابلیت بالای DPFC برای کنترل فلوی عبوری از خطوط انتقال می باشد.

۸- منابع

[1] فتاحی می آبادی عباس، احسان مهدی،" مدیریت پرشدگی خطوط انتقال در سیستمهای قدرت تجدید ساختارشده"، نشریه علمی برق ، سال شانزدهم، شماره37

[2]. S. Phichaisawat, S. H. Song, X. L. Wang, X. F. Wang, " Combined Active and Reactive Congestion Management with FACTS Devices", Electric Power Component and System, 30:1195-1205, 2002, Taylor & Francis Group.

[3] H. A. Abdelsalam, G.E.M. Aly, M. Abedelkrim, K.M. Shebl, "Optimal Location of the Unified Power Flow Controller in Electrical Power systems", Power-Engineering, 2004, LESCOPE04,2004 large Engineering systems conference on 28-30 July 2004, pp.41-46.

[4].M.Kowsalya, K.K.Ray, Udai Shipurkar and Saranathan, "Voltage Stability Enhancement by Optimal Placement of UPFC"*Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 4, No. 3, pp. 310~314, 2009*

[5]H. Barati, M. Ehsan and M. Fotuhi-Firuzabad," Location of Unified Power Flow Controller and its Parameters Setting for Congestion Management in Pool Market Model Using Genetic Algorithm", Power Electronics, Drives and Energy System, 12- 15 Dec. 2006 Page(s):1 – 7.

[6] R.Jahani H.A.Shayanfar N.M.Tabatabaei J. Olamaei, "Optimal placement of UPFC power system by a New advanced Heuristic method", International Journal on —Technical and Physical Problems of Engineering, ISSN 2077-3528, December 2010.

[7] A. K. Verma, A. Srividya, and B. l. C. Deka. "Impact of a FACTS controller on reliability of composite power generation and transmission system". Electric Power Systems Research, 2004.

[8] Zhihui Yuan, Sjoerd W.H de Haan, Braham Frreira and Dalibor Cevoric "A FACTS Device: Distributed Power Flow Controller (DPFC)" IEEE Transaction on Power Electronics, vol.25, no.10, October 2010.

[9] Zhihui Yuanand Dalibor "A FACTS Device: Distributed Power-Flow Controller (DPFC)" IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 25, NO. 10, OCTOBER 2010

[10]Wenchao SongXiaohu Zhou and Zhigang Liang "Modeling and Control Design of Distributed Power Flow Controller based-on Perphase control" IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 4, NO. 3, OCTOBER 2011

[11] M. Noorozian, G. Andersson, "Power Flow Control by Use of Controllable Series Component", IEEE, PES Summer Meeting, Seattle, July ۱۹۹۲.

[12] A. Nabavi-Niaki, M.R. Iravani, "Steady State and Dynamic Models of Unified Power Flow Controller for Power System Studies", IEEE, PES Winter Meeting ۱۹۹۶.

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 علمی‌سیویلیکا 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 (گوگل پلی) به آدرس زیر دریافت کنید.

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kahroba.wwwnoandishaan

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.