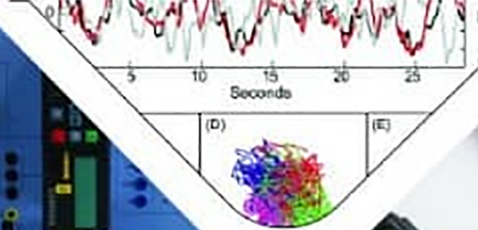
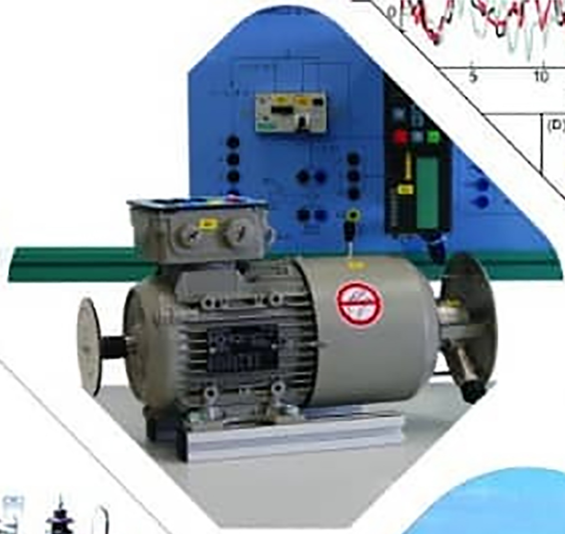
تابستان ۹۸
سال هشتم

کهربا

فصلنامه تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر











شماره ۲۴

kahroba

ردیابی بیشینه توان سلول خورشیدی

مدل سازی و بهینه سازی پالس شارژ باطری

مدل سازی پراکنده سلسله مراتب اشتراکی

راه اندازی موتورهای الکتریکی سه فاز سه ضرب

استفاده از یک الگوریتم خوشه بندی توسعه یافته
به منظور بهبود عملکرد شبکه های بی سیم

محاسبه تلفات ترانسفورماتور قدرت با استفاده از روش اجزای محدود

محاسبه سطح مقطع راداری اجسام الکترکی بزرگ به روش نورفیزیکی

ISSN :2322-3723

www.kahrobaonline.ir

شماره مجوز وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ۷۷۸۲۱



سال هشتم

شماره بیست و چهارم

تابستان ۹۸

صاحب‌امتیاز

سایت نواندیشان

مدیرمسئول

مهدی عارف خیابانی

سردبیر

امین شیخ نجدی

هیئت تحریریه

مهندس امین شیخ نجدی- عضو هیئت علمی(دانشیار) دانشگاه آزاد دزفول

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

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

دکتر علویه میرفتح الهی – دکترای علوم اعصاب گرایش هوش مصنوعی

مهندس مهسا سرائی – کارشناس ارشد برق مخابرات

مهندس علی کمالی- کارشناس ارشد برق قدرت

مهندس آرام قادری – کارشناس ارشد برق الکترونیک

درباره کهربا	۳
یادداشت مدیرمسئول	۴
آشنایی با مشاهیر برق	
دکتر علی اکبر جلالی- پدر فناوری اطلاعات ایران	۵
مقالات	
مدل سازی و بهینه سازی پالس شارژ باتری سربی – اسیدی مجتبی شیرویی – دکترا مهندسی برق قدرت علی مصلی نژاد – کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت	۸
مدل سازی پراکنده سلسله مراتب اشتراکی مهران کریمیان ریزی- کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی مریم فریور- کارشناسی ارشد مهندسی برق الکترونیک	۱۴
ردیابی بیشینه توان سلول خورشیدی تحت رخداد سایه جزئی با اینورتر متصل به شبکه سه فاز احسان حسن زاده- کارشناسی ارشد برق احمد آل احمد- استادیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل	۲۲
محاسبه تلفات ترانسفورماتور قدرت با استفاده از روش اجزای محدود آرمان آذرخش- سیدمحمدتقی بطحایی- استادتمام گروه برق دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	۳۳
محاسبه سطح مقطع راداری اجسام الکتریکی بزرگ به روش نور فیزیکی سیده مهسا سرائی- کارشناسی ارشد مخابرات میدان و امواج	۴۰
راه اندازی موتورهای الکتریکی سه فاز سه ضرب سیدپرویز موسوی- کارشناسی برق قدرت مریم فریور- کارشناسی ارشد برق الکترونیک	۴۶
استفاده از یک الگوریتم خوشه بندی توسعه یافته به منظور بهبود عملکرد شبکه های حسگر بی سیم ابوالقاسم خوشنود- موسی مجرد- حسن ارفعی نیا-	۵۰
ارتباط با کهربا	۶۲

درباره کهربا

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

یادداشت مدیرمسئول

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

آشنایی با مشاهیر



دکتر علی‌اکبر جلالی، پدر فناوری اطلاعات ایران

علی‌اکبر جلالی، (زاده سال ۱۳۳۳ در روستای وامرزان شهرستان دامغان) است. دوران کودکی و نوجوانی را در شاهرود گذارند و سپس برای تحصیلات دانشگاهی به تهران رفت. فارغ‌التحصیل دکترای برق-الکترونیک دانشگاه ویرجینیای غربی ایالات‌متحده آمریکا است. هم‌اکنون عضو هیئت‌علمی دانشکده برق و پژوهشکده الکترونیک دانشگاه علم و صنعت ایران است. به خاطر اولین تلاش‌ها برای توسعه و نفوذ شبکه اینترنت در ایران به‌ویژه در نقاط روستایی، به پدر فناوری اطلاعات ایران شهرت یافته است. صاحب نظریه موج چهارم در فضای (عصر) مجازی و از استادان مشهور و ماهر در بیان علوم رایانه، فناوری اطلاعات، شبکه و اینترنت در جهان است

خدمات و عناوین دکتر جلالی

- طراحی شهر الکترونیک کیش (این پروژه در سال ۱۳۷۹ شروع شد و در فرهنگ‌سازی توسعه ICT کشور نقش مؤثری داشته و هم‌اکنون توسط یک شرکت ایرلندی دنبال می‌شود).
- طراحی همایش جهانی شهرهای الکترونیکی و اینترنتی (این همایش با حضور ۱۵۰۰ نفر در اردیبهشت ۱۳۸۰ در جزیره کیش برگزار شد و نقطه عطفی در توسعه ICT کشور گردید).
- طراحی همایش کاربرد فناوری اطلاعات و ارتباطات در روستا (در اسفندماه ۱۳۸۲ با حضور ۷۰۰ نفر از مدیران و کارشناسان کشور برگزار شد و آغازگر فعالیت‌های ICT روستایی در کشور گردید).
- طراحی اولین مرکز جامع خدمات کاربردی اینترنت در ایران، ASP (حاصل این پروژه تحقیقاتی یک کتاب تألیفی و چندین مقاله کاربردی شد؛ و منشأ راه‌اندازی ICP ها در کشور گردید).
- طراحی اولین روستای اینترنتی ایران "شاهکوه" که تاکنون بیش از یک‌میلیون نفر از سراسر جهان از طریق وب‌سایت از آن بازدید کرده‌اند و اغلب رسانه‌های جهان آن را موردتوجه قرار داده‌اند.
- طراحی اولین مرکز جامع خدمات کاربردی فناوری اطلاعات و ارتباطات روستایی کشور که در پنجم خردادماه ۱۳۸۳ توسط رئیس قوه قضائیه به‌صورت مجازی و وزیر ارتباطات و فناوری اطلاعات به‌صورت حضوری افتتاح گردید.
- طراحی مقدماتی کریدور ICT شمال کشور (شامل استان‌های گیلان، گلستان و مازندران).

www.kahrobaonline.ir

- از فعالان توسعه فرهنگ ICT در کشور، با ارائه بیش از ۵۰۰ برنامه رادیو و تلویزیونی و بیش از ۱۲۰۰ سخنرانی علمی و ارائه ده ها مقاله و مصاحبه در روزنامه‌ها و مجلات علمی کشور و در سطح بین‌المللی.
- مجری سند راهبردی شهر الکترونیک مشهد با محوریت شهرداری
- مجری تدوین سند راهبردی ICT روستایی کشور
- مجری تدوین سند راهبردی ICT استان مازندران
- مجری، تهیه و تدوین RFP سند راهبردی ICT سازمان گسترش و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران
- مجری، تهیه نرم‌افزار آموزش مجازی ضمن خدمت دبیران کشور در وزارت آموزش‌وپرورش
- مشاور و ناظر تدوین سند راهبردی ICT استان قم
- بانی، مشاور و طراح پروژه ملی تجهیز ده هزار روستا به دفاتر خدمات کاربردی فناوری اطلاعات و ارتباطات در سطح کشور
- مشاور آموزش و فناوری اطلاعات بانک ملی ایران
- مجری پروژه دولت الکترونیکی و پروژه کار از راه دور در شرکت فولاد مبارکه اصفهان
- ارائه‌دهنده اولین درس مجازی بر روی شبکه اینترنت در ایران
- عضو مستقل یونسکو در آموزش و فناوری منطقه آسیا و اقیانوسیه
- عضو کمیته آموزش مجازی کشور
- عضو هیئت‌مدیره انجمن ICT ایران
- عضو هیئت‌مدیره انجمن ایرانی مطالعات جامعه اطلاعاتی
- عضو چندین انجمن علمی بین‌المللی و تخصصی داخلی و خارجی
- عضو شورای پژوهشی آموزش‌وپرورش کشور
- پژوهشگر و محقق نمونه سال‌های ۷۸ و ۷۹ دانشگاه علم و صنعت ایران

www.kahrobaonline.ir

مدل‌سازی و بهینه‌سازی پالس شارژ باتری سربی - اسیدی

نویسنده: مجتبی شیرویی-mj.shiroei@gmail.com
علی مصلی نژاد alimosallanezhadmsc@gmail.com

چکیده: باتری‌ها از دیرباز یکی از بهترین ادوات ذخیره انرژی به حساب می‌آمده‌اند، اصول اساسی کارکرد باتری‌های قابل شارژ و غیرقابل شارژ واکنش‌های الکتروشیمیایی درون سلول می‌باشد. مهم‌ترین مسئله در کارایی باتری‌های مختلف شیوه‌ی شارژ و دشارژ می‌باشد، معمولاً روند دشارژ باتری را بار تعیین می‌کند اما روند شارژ بسیار در افزایش دمای باتری و همچنین در میزان طول عمر باتری بسیار مؤثر است. لذا شیوه‌های شارژ قدیمی باتری همچون جریان ثابت، ولتاژ ثابت و غیره افزایش دمای باتری و کاهش طول عمر علیرغم زمان شارژ طولانی، را به همراه دارد. در این مقاله روش شارژ کردن باتری به‌وسیله پالس مثبت و منفی بهینه بدون فیدبک گرفتن از میزان شارژ باتری انجام‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش دمای باتری در زمان پالس منفی پایین می‌آید و به عبارتی باتری استراحت می‌کند، لذا افزایش طول عمر باتری در دمای کمتر واضح است.

کلیدواژه: مدار معادل الکتریکی باتری، پالس شارژ بهینه، شارژر سریع، شارژر بهینه

۱- مقدمه

از دیرباز بحث ذخیره انرژی یک موضوع پر چالش در بین محققین و دانشمندان در زمینه انرژی بوده است. در بین عناصر ذخیره‌ساز انرژی، باتری‌ها سهم زیاد و مهمی را ایفا می‌کنند. نیاز به ذخیره انرژی مقطعی باعث اختراع و تولید عمده باتری‌ها با تکنولوژی‌های مختلف شده است، تکنولوژی‌های مختلفی همچون سربی-اسیدی، لیتیوم-یونی و غیره. در زندگی روزمره به‌خصوص در خودروها و سیستم‌های توزیع انرژی باتری‌های سربی-اسیدی به علت قیمت مناسب و تعمیر و نگهداری راحت‌تر بیشتر موردتوجه قرارگرفته‌شده‌اند. باتری‌های سربی-اسیدی یکی از قدیمی-ترین عناصر ذخیره‌ساز انرژی محسوب می‌شوند. این نوع باتری‌ها تابه‌حال به دلیل قیمت پایین در مقابل انواع دیگر باتری در ظرفیت مشابه در حال استفاده هستند[۱]. این نوع باتری‌ها در خودرو الکتریکی، در سیستم انرژی بدون وقفه (UPS)[1] و سیستم ارتباطات استفاده می‌شوند[۲]. لذا مهم‌ترین مبحث در بهبود کارایی باتری‌های سربی-اسیدی بحث شارژ و دشارژ آن‌ها می‌باشد. باتری‌های سربی-اسیدی به دو دلیل در صنعت بیشترین استفاده را دارند:

۱) یک انتخاب مناسب بادوام بالا برای دستگاه‌های قابل‌حمل [۳،۴]

۲) مناسب جهت حرکت ماشین‌های الکتریکی هیبریدی [۵،۶]. البته زمان شارژ و عمر باتری وابستگی شدیدی به ویژگی‌های شارژ و دشارژ باتری دارد[۷،۸]. در بخش دوم این مقاله به معرفی انواع مدل‌سازی باتری‌های قابل شارژ اشاره می‌شود، با توجه به مزایای مدل مدار معادل الکتریکی این مدل انتخاب می‌شود. در بخش سوم به معرفی مدل مدار معادل پیشنهادی و روابط موجود پرداخته می‌شود. در بخش بعد با توجه به مدل‌سازی انجام‌شده، بهترین پالس شارژ به‌منظور شارژ سریع و افزایش عمر باتری به‌وسیله الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شود. در بخش آخر نتایج مربوط به شبیه‌سازی پالس بهینه موردبررسی قرار می‌گیرد.

۲- انواع مدل‌های موجود باتری

به‌منظور تخمین زدن عملکرد باتری، یک مدل ریاضی نزدیک به کارکرد واقعی باتری موردنیاز است، در این بخش ابعاد مدل‌های موجود، فواید و کلیات هرکدام ارائه می‌شود و نهایتاً مناسب‌ترین مدل ازنظر سرعت و دقت انتخاب می‌شود.

مدل‌های بسیاری تابه‌حال به‌منظور پیش‌بینی عملکرد باتری ارائه‌شده است، برخی از این مدل‌ها عبارت‌اند از: مدل الکتروشیمیایی، مدل دینامیک سیال، مدل اجزای محدود و در آخر مدل مدار معادل الکتریکی

۱) مدل الکتروشیمیایی: الکتروشیمیایی شاخه‌ای از شیمی است که در آن عملکرد واکنش‌های شیمیایی مربوط به رسانایی الکترون همچون فلزات و نیم‌رساناها مطالعه می‌گردد. به‌طور خلاصه مدل الکتروشیمیایی عمدتاً بر واکنش‌های اکسیداسیون و کاهش بین الکترودها و الکترولیت استوار است. در این مدل بر اساس سازگاری هر ماده در حلال و واکنش‌های الکتروشیمیایی براثر اتصال الکترودها بر بار خارجی و رفتار دینامیکی را مشخص می‌کند.

۲) مدل اجزای محدود: این مدل یک‌راه‌حل عددی به‌منظور یافتن جواب تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی یا انتگرالی می‌باشد، اساس این مدل در تقسیم مسئله به اجزای کوچک و آنالیز همه اجزا به‌صورت جداگانه و نهایتاً جمع‌کردن اجزا کوچک می‌باشد. مدل اجزای محدود اطلاعات خوبی از گرمای تلف‌شده و یا انرژی ارائه می‌دهد.

۳) روش دینامیک سیال: این روش تکنولوژی برای آنالیز فیزیکی و بهینه‌سازی جریان سیال، انتقال جرم و گرما و مسائلی از قبیل واکنش‌های شیمیایی در یک سیستم پیچیده می‌باشد، در مدل CFD[۲] باتری، معادلات حاکم دینامیکی نسبت به زمان، فضا و یا هر پارامتر وابسته دیگر حل می‌شوند.

۴) مدار معادل الکتریکی: یک مدل جایگزین مدار اولیه (اکثر مواقع پیچیده‌تر) معمولاً شامل عناصر خطی، پسیو که مشخصات سیستم اولیه را داشته باشد. به مدار معادل الکتریکی معروف است. در شاخه مهندسی برق، استفاده از مدار معادل الکتریکی به‌منظور ساده‌سازی عملکرد ادوات غیر ایده آل معمول است.

مدل الکتروشیمیایی مروری بر معادلات و فعالیت‌های درونی باتری تمرکز دارد، این مدل با هدف طراحی استفاده می‌شود و توضیح برخی پارامترها همچون مقاومت داخلی در مدل مشکل است و از همه مهم‌تر نبود اطلاعات الکتروشیمیایی باتری در این مقاله از این مدل استفاده‌نشده است و با توجه به زمان‌بر بودن مدل‌هایی همچون CFD و FEM [۳]، مدار معادل الکتریکی باتری قادر است با دقت و سرعت مناسب رفتار دینامیکی باتری را با چند بلوک ساده شبیه‌سازی کند.

۳- معادل‌سازی مدار معادل الکتریکی

در بخش قبل سه نوع مدل مختلف باتری برای اهداف مختلف با ویژگی‌ها و توانایی‌های مختلف ارائه شد و بیان شد که مدار معادل الکتریکی علیرغم توجه به ارتباط بین مدار داخلی و ویژگی‌های خارجی، می‌تواند به‌اندازه کافی تمام نیازهای پروژه را رفع می‌کند.

مدار معادل الکتریکی باتری با صرف زمان اندک منعکس‌کننده رفتار پویای اصلی یک باتری می‌باشد و با استفاده از اجزای الکتریکی همچون منابع ولتاژ متغیر با عنوان نیرومحرکه الکتریکی، مقاومت‌های متغیر به‌عنوان مقاومت داخلی و مقاومت اضافه ولتاژ و یک خازن به‌عنوان خازن باتری انجام می‌شود لذا ابتدا روابط موجود معرفی و بیان می‌شود سپس ارتباط بین روابط موجود در قالب مدار معادل بیان می‌شود[۹].

ظرفیت باتری بر اساس قانون پارگر مطابق با رابطه (۱) مشخص می‌شود.

$$C_o(I)=\frac{KC_{o*}}{1+(K_c-1)(I/I^*)^m} \qquad (۱)$$

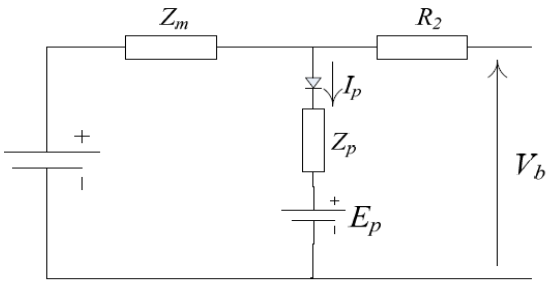
به‌طوری‌که $C_{o*}=C_o(I^*)$ ظرفیت در نرخ دشارژ مشخص می‌باشد، معمولاً ظرفیت نامی C_{10} و k_c ضرایب تجربی بوده و برای باتری‌های مختلف مقداری متفاوت است.

واضح است که دما بر ظرفیت باتری تأثیرگذار است[۱۰،۱۱]. لذا با دخیل دما در معادله ظرفیت خواهیم داشت.

$$C(I,\theta)=C_o(\mathrm{I})(1+\frac{\theta}{-\theta_f})^{\varepsilon} \qquad (۲)$$

به‌طوری‌که θ_f دمای انجماد الکترولیت، θ دمای سلول، $C_o(\mathrm{I})$ ظرفیت باتری در جریان دشارژ I در دمای ۰ درجه بوده و ε ثابتی مربوط به باتری می‌باشد.

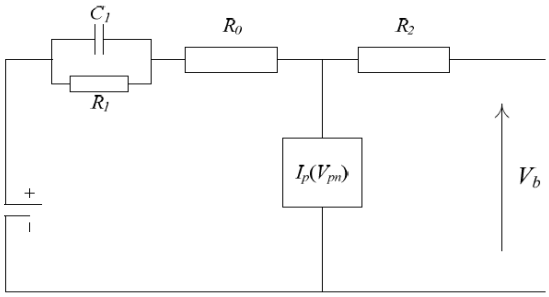
در شکل (۱) مدار معادل الکتریکی پیشنهادی باتری مشخص‌شده است در این مدل از دشارژ خودی به دلیل ۱۰ درصد در ماه بودن صرف‌نظر شده است.



شکل (۱) شبکه الکتریکی معادل باتری

در شکل (۱) E_m در شاخه اصلی نشان‌دهنده پتانسیل باتری و V_b ولتاژ ترمینال و Z_m در شکل نشان‌دهنده امپدانس درونی که می‌تواند با بلوک R-C مدل شود.

طبیعی است که تمام انرژی در زمان دشارژ به باتری منتقل نمی‌شود، بخشی از انرژی به دلایلی همچون الکترولیز آب هدر می‌رود، لذا شاخه پارازتیک در شکل (۲) اضافه می‌شود تا این خاصیت لحاظ شود.



شکل (۲) شبکه الکتریکی معادل با Z_m تقریبی

حالت شارژ و عمق شارژ باتری با روابط (۳) و (۴) مشخص می‌شود، البته روش‌های زیادی برای تخمین SOC در منبع [۱۲] پیشنهادشده است.

$$SOC = 1 - Q_e / C(O,\theta) \quad (۳)$$

$$DOC = 1 - Q_e / C(\mathrm{I}_{avg},\theta) \quad (۴)$$

به‌طوری‌که، $Q_e(t) = \int_0^t I(\sigma)\,\mathrm{d}\sigma$ میزان شارژی است که از باتری کشیده شده می‌باشد، $C(O,\theta)$ ظرفیت نامی باتری و $C(\mathrm{I}_{avg},\theta)$ مخزن ظرفیت واقعی تحت جریان شارژ و دشارژ خاص است.

و نیرومحرکه الکتریکی از فرمول معروف نرنست مطابق رابطه (۵) قابل‌محاسبه می‌باشد.

$$EMF = 2.041 + 0.0296\log_{10}\frac{\alpha(H^+)\alpha(SO_4^{2-})}{\alpha^2(H_2O)}$$

رابطه (۵) شامل روابط شیمیایی است که رابطه (۶) در مقالات و منابع مختلف جایگزین شده است.

$$E_m = E_{mo} - K_E(273+\theta)(1-SOC) \quad (۶)$$

به‌طوری‌که E_{mo} و K_E برای باتری مقداری ثابت است، θ دمای سلول و SOC حالت شارژ باتری می‌باشد.

مقاومت‌های لازم در مدار معادل مطابق روابط (۷) تا (۹) قابل‌محاسبه و جایگذاری است.

$$R_o = R_{oo}[1 + A_o(1-SOC)] \quad (۷)$$

$$R_1 = -R_{10}\ln(DOC) \quad (۸)$$

$$R_2 = R_{20}\frac{e^{[A_{21}(1-SOC)]}}{1+\exp(A_{22}\,I_m/I^*)} \quad (۹)$$

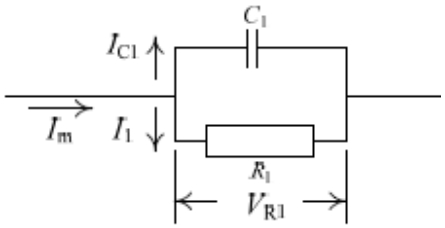
به‌طوری‌که A_o، A_{21} و A_{22} ثوابت مربوط به باتری می‌باشند، درحالی‌که R_{oo}، R_{10}، R_{20} پارامترهای وابسته به SOH می‌باشد.

در زمان شارژ باتری شاخه پارازیتی به‌صورت رابطه‌ای بین جریان و ولتاژ مطابق (۱۰) مشخص می‌شود.

$$I_p = V_{pn}G_{po}\exp[\frac{V_{pn}}{V_{po}} + A_p(1-\frac{\theta}{\theta_f})] \quad (۱۰)$$

به‌طوری‌که I_p جریان شاخه پارازیتی، V_{pn} ولتاژ شاخه پارازیتی، G_{po} ثابت در ثانیه، V_{pn} ثابت در ولت، A_p ثابت مربوط به نوع باتری می‌باشد.

شاخه R-C به‌صورت شکل (۳) قابل‌نمایش و به‌صورت رابطه (۱۱) قابل‌محاسبه است.



شکل (۳) بلوک R-C

$$C_{R1}(t) = \mathrm{R}_1(1-e^{-\frac{t}{\tau}})\,\mathrm{I}_m \quad (۱۱)$$

به‌طوری‌که $R_1C_1 = \tau$ ثابت زمانی مربوط به خازن می‌باشد.

۳-۱- رفتار حرارتی باتری

در زمان شارژ و دشارژ باتری جریان عبوری باعث تولید گرما می‌شود، با توجه به اهمیت دمای باتری، گرمای تولیدی در هرکدام از مدل‌های باتری باید لحاظ شود.

(۱۲)

$$P_s = I_p.V_{pn} + V_{R2}I + V_1^2/R_1 + I^2.R_o$$

با توجه به رابطه (۱۲) گرما و تلفات هر بخش جمع شده است، لذا معادله دینامیکی دمای سلول به‌صورت رابطه (۱۳) پیاده‌سازی می‌شود.

(۱۳)

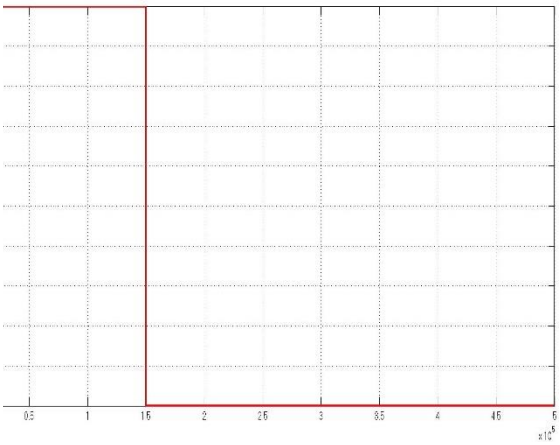
$$C_\theta \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta - \theta_a}{R_\theta} + P_s$$

به‌طوری‌که C_θ گرمای خازن، R_θ گرمای مقاومت بین باتری و محیط ، θ دمای سلول و θ_a دمای محیط می‌باشد.

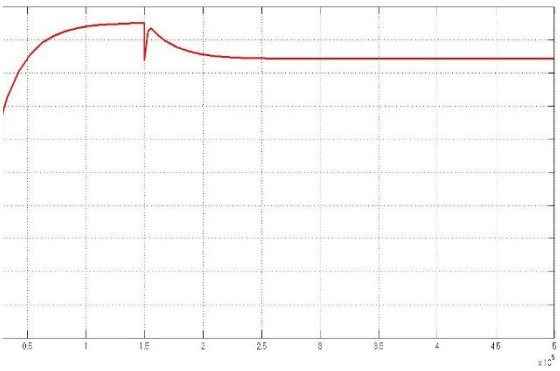
جدول ۱ پارامترهای ثابت مربوط به باتری نمونه[۱۳]

I^*	۵۱.۵	C_0	۳۱۷.۹ **Ah**	K_c	۱.۱۱
δ	۱.۷۵	τ	۷۲۰۰ **s**	A_0	-۰.۲
θ_f	-۴۰ $^\circ C$	ε	۱.۱۹	R_θ	۰.۲
θ_f	-۴۰ $^\circ C$	ε	۱.۱۹	E_{mo}	۲.۱۸ **v**
A_{21}	-۸	R_{20}	۱۵	A_{22}	-۸.۴۵
V_{po}	۰.۱	G_{po}	۲	R_{10}	۰.۲
R_{00}	۲	A_p	۲.۰	C_θ	۱۵
K_E	۸.۸۳*۱۰$^{-۳}$				

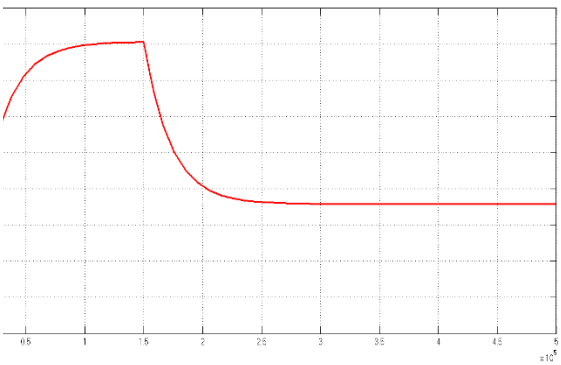
با اعمال پالس در حالت شارژ و دشارژ نتایج شبیه‌سازی پس از اعمال به مدل در زیر ارائه می‌شود.



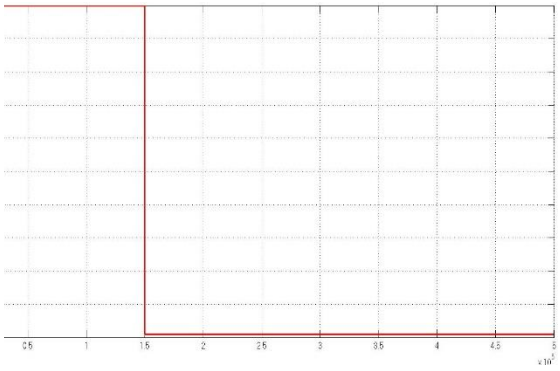
شکل (۴) پالس جریان شارژ تزریقی به باتری



شکل (۵) ظرفیت باتری در هنگام تزریق جریان شارژ



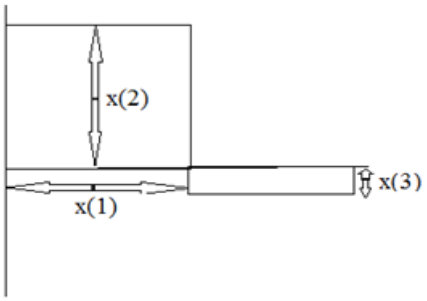
شکل (۶) تغییرات دمای باتری در هنگام شارژ



شکل (۷) تغییرات ولتاژ ترمینال باتری در هنگام شارژ

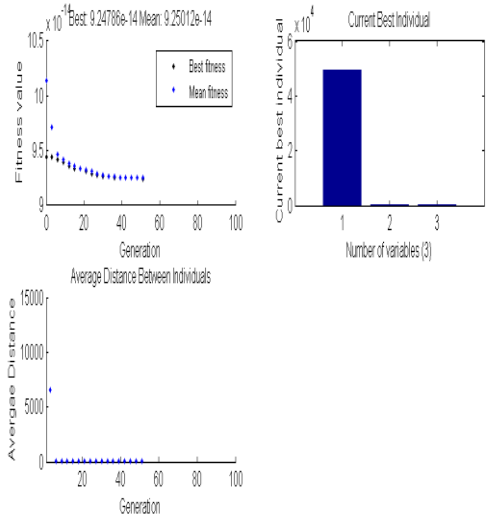
۴- بهینه‌سازی و اعمال پالس بهینه

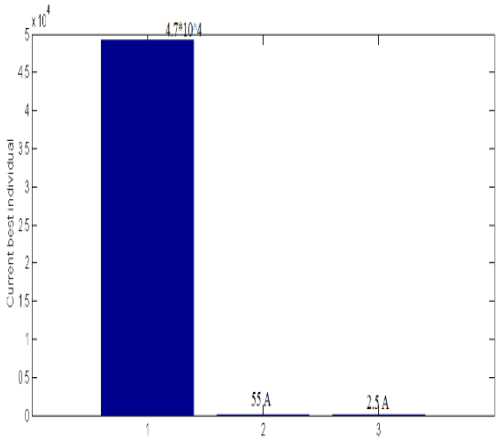
با توجه به اینکه در مقالات و منابع پیشین در همه زمینه-های بهینه‌سازی به‌صورت مفصل الگوریتم ژنتیک معرفی‌شده است. در این مقاله فقط الگوریتم ژنتیک به سیستم اعمال می‌شود و متغیرهای لازم در حل مسئله معرفی می‌شوند، درواقع اگر بخواهیم ابعاد یک پریود از پالس را به‌عنوان متغیر انتخاب کنیم، به‌صورت شکل (۸) متغیرهای قابل پیاده‌سازی در الگوریتم ژنتیک خواهند بود. با اعمال الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی بر روی سیستم باتری متغیرهای بهینه استخراج‌شده و در شکل (۹) نمایش داده‌شده‌اند.



شکل (۸) پالس اعمالی به سیستم باتری و مشخص‌سازی پارامترهای دخیل در بهینه‌سازی

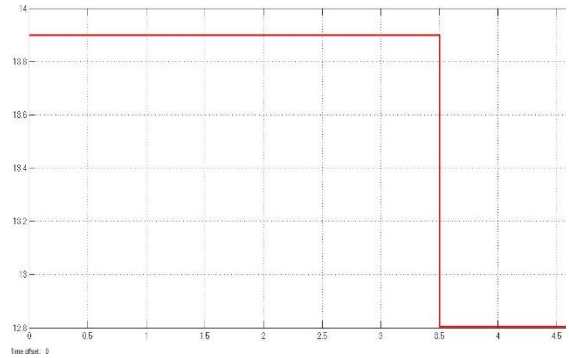
متغیرهای بهینه‌سازی خروجی الگوریتم ژنتیک به‌صورت شکل (۹) نمایش داده‌شده است.



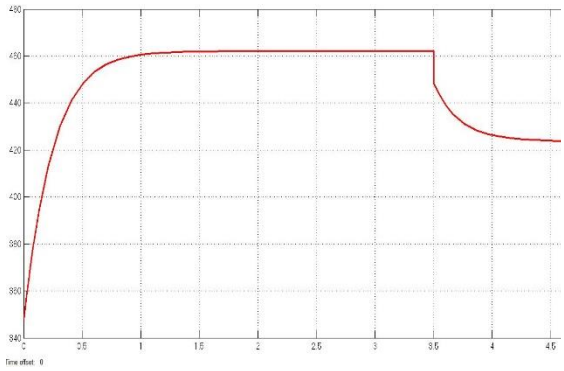


شکل (۹) نتایج خروجی بهینه‌سازی پالس اعمالی به باتری

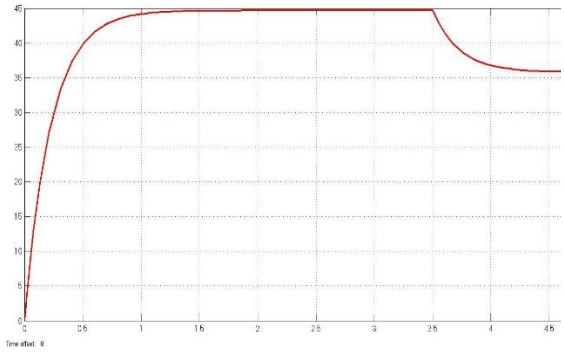
با اعمال پالس بهینه به مدل باتری، نتایج در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) مشخص‌شده است.



شکل (۱۰) ولتاژ ترمینال خروجی با اعمال پالس بهینه



شکل (۱۱) ظرفیت باتری با اعمال پالس بهینه به باتری



شکل (۱۲) افزایش دمای باتری با توجه به اعمال پالس بهینه

۵- نتیجه‌گیری

همان‌طوری که مشخص است در حالت پالس اولیه که به سیستم باتری اعمال می‌شود، دمای باتری تا حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد بالا رفته و پس از قطع به میزان حدود ۳۷ درجه برگشته است، اما در حالت دوم یعنی پالس با ابعاد بهینه، ماکزیمم دما به مقدار ۴۵ درجه محدودشده است، این با توجه به این مسئله است که ولتاژ ترمینال و ظرفیت باتری در هر دو مورد مشابه می‌باشد، لذا علیرغم سرعت شارژ مشابه هر دو پالس، با توجه به افزایش دمای باتری در حالت پالس بهینه، عمر باتری در حالت دوم بالاتر خواهد بود.

1-Uninterruptible Power Supplies
2- Comutational Fluid Dynamics Model
3- Finite Element Model

۶- مراجع

[1] J. Leao, L. Hartmann, M. Correa, and A. Lima, “Lead-acid battery modeling and state of charge monitoring,” *Applied Power Electronics Conference and Exposition APE), Twenty-Fifth Annual IEEE*, pp. 239– 243, 2010.
[2] M. W. P. Chagas, “Novas tecnologias para avaliação de baterias,” Mestrado Profissionalizante, IEP/LACTEC, 2007.
[3] Rao, Ravishankar, Sarma Vrudhula, and Daler N. Rakhmatov. "Battery modeling for energy aware system design." *Computer*36.12 (2003): 77-87.
[4] Pedram, M., & Wu, Q. (1999, June). Design considerations for battery-powered electronics. In *Proceedings of the 36th annual ACM/IEEE Design Automation Conference* (pp. 861-866). ACM.
[5] Lukic, Srdjan M., et al. "Energy storage systems for automotive applications." *IEEE Transactions on industrial electronics* 55.6 (2008): 2258-2267.
[6] Pesaran, A. A. “*Battery choices and potential requirements for plug-in hybrids”*. National Renewable Energy Laboratory (2007). .
[7] A. Emadi, Y. J. Lee, and K. Rajashekara, “Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 6, pp. 2237–2245, Jun. 2008.
[8] F. L.Mapelli, D. Tarsitano, andM. Mauri, “Plug-in hybrid electric vehicle: Modeling, prototype realization, and inverter losses reduction analysis,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 2, pp. 598–607, Feb. 2010.
[9] H. J. Bergveld, W. S. Kruijt, P. H. L Notten, *Battery Management Systems Design by Modeling*, Published by Kluwer Academic publishers, 2002.
[10] Manwell, J. F., & McGowan, J. G. “Lead acid battery storage model for hybrid energy systems”. *Solar Energy*, *50*(5), 399-405(1993).
[11] Mayer, D., & Biscaglia, S. “Modelling and analysis of lead acid battery operation”. In *Telecommunications Energy Conference, INTELEC'89. Conference Proceedings. Eleventh International* (pp. 23-3). IEEE1989.
[12] Piller, S., Perrin, M., & Jossen, A. “Methods for state-of-charge determination and their applications”. *Journal of power sources*, *96*(1), 113-120,2001.
[13] Ceraolo, M. New dynamical models of lead-acid batteries. IEEE transactions on Power Systems, 15(4), 1184-1190.

مدل سازی پراکنده سلسله مراتب اشتراکی

نویسنده: مهران کریمیان ریزی –mehrankarimian97@ms.tabrizu.ac.ir
مریم فریور – farivar.maryam@yahoo.com

چکیده: مدل سازی انعطاف پذیر یک چارچوب قدرتمند برای تجزیه و تحلیل داده ها و پردازش داده ها است. به طور سنتی، کدگذاری در این چارچوب با حل یک مشکل رگرسیون خطی حلقوی ***L-1*** معمولا ***Lasso*** نامیده می شود.
در این کار ما ابتدا خواص القا کننده مدل ***Lasso*** را در سطح ویژگی فردی با خصوصیات انعکاسی بلوک مدل گروه ***Lasso*** ترکیب می کنیم، جایی که گروه های پراکنده از ویژگی ها به صورت مشترک کدگذاری می شوند و یک الگوریتم اسپارسیتی را که سلسله مراتبی ساختار یافته را به دست می اورد.
این نتیجه در سلسله مراتبی***Lasso*** است که نشان می دهد مزایای مدل سازی عملی مهم است. سپس این رویکرد را به مورد مشارکتی گسترش می دهیم، جایی که مجموعه ای از سیگنال های به طور همزمان کدگذاری یک الگوی اسپارسیتی(ریزش) مشابه در سطح بالاتر (گروهی) دارند، اما نه لزوما در پایین تر. سپس سیگنال ها گروه های فعال یا گروه ها را به اشتراک می گذارند اما لزوما همان مجموعه فعال نیستند. این برای برنامه های کاربردی مانند جداسازی منبع بسیار مناسب است. یک روش بهینه سازی کارآمد، که همگرایی را به بهینه ی جهانی تضمین می کند، برای این مدل های جدید طراحی شده است. ارائه پایه چارچوب جدید و رویکرد بهینه سازی با نمونه های تجربی و نتایج نظری اولیه تکمیل می شود.

کلیدواژه: *lasso*، سلسه مراتب اشتراکی، اسپارسیتی

۱ – مقدمه

به‌علاوه بر جذاب بودن در سطح نظری، نشان داده‌شده است که مدل‌سازی سیگنال پراکنده مجر به نتایج متعددی در پردازش سیگنال شده است. مدل استاندارد فرض می‌کند که یک سیگنال می‌تواند به‌صورت مؤثر توسط ترکیب خطی چندگانه اتم از یک فرهنگ لغت داده‌شده یا یادگیرنده ارائه شود. اتم‌های انتخاب‌شده ازآنچه معمولاً به‌عنوان مجموعه فعال شناخته می‌شود تشکیل می‌شود که توانایی آن به‌طور قابل‌توجه ای کوچک‌تر از اندازه فرهنگ لغت و ابعاد سیگنال است. در سال‌های اخیر نشان داده‌شده است که افزودن محدودیت‌های ساختاری به این مجموعه فعال در سطح مقاومت نمایش و در سطح
تفسیر سیگنال ارزش دارد. (به‌ویژه هنگامی‌که مجموعه فعال برخی از خواص فیزیکی سیگنال نشان می‌دهد) [۱] و منابع موجود در آن را ببینید. این امر منجر به کدگذاری پراکنده گروهی یا ساختاری می‌شود، بجای این‌که اتم‌ها به‌عنوان تک‌سلول‌ها بررسی کنیم ، اتم‌ها به‌صورت گروهی دسته‌بندی می‌شوند و چند گروه در یک‌زمان فعال هستند. یک روش جایگزین برای اضافه کردن ساختار (و استحکام) به مسئله این است که کدگذاری هم‌زمان سیگنال‌های چندگانه را در نظر بگیریم و درخواست کنیم که همه آن‌ها یک مجموعه فعال را به اشتراک بگذارند. این‌یک رویکرد فیلتر همگانی طبیعی برای کد نویسی پراکنده است، [۲] و منابع موجود در آن را ببینید. در این کار ما این مدل ها را در چند جهت گسترش می‌دهیم. اولاً ما یک مدل پراکنده سلسله‌مراتبی را ارائه می‌دهیم که در آن تنها تعداد کمی از گروه‌های پراکنده‌ی اتم‌ها در یک‌زمان فعال هستند، بلکه هر گروه از اسپاسیتی داخلی نیز برخوردار است. در سطح مفهومی، این بدان معنی است که سیگنال توسط چند گروه (دسته‌ها) نشان داده‌شده است، و در داخل هر گروه فقط چند عضو در یک‌زمان فعال هستند.
یک نمونه ساده از این‌یک قطعه موسیقی است (برنامه‌های کاربردی متعدد در ژنومیک که در آن فقط چند ابزار فعال هستند (هر یک از وسیله‌ها یک گروه است) و موسیقی واقعی توسط دستگاه به‌طور مؤثر توسط چند اتم از زیر

فرهنگ لغت(گروه)مربوط به آن نشان داده‌شده است. به‌این‌ترتیب، این روش پیشنهادی چارچوب کدگذاری پراکنده را برای اجرای مؤثر جداسازی منابع ارائه می‌دهد. درحالی‌که منابع منفرد (دسته‌ها / گروه‌ها) که سیگنال را تولید می‌کنند، جایی که منابع فردی سیگنال تولیدشده در همان زمان را شناسایی می‌کنند که کارایی آن را بازسازی می‌کنند. (کد پراکنده درون گروه). یک روش بهینه‌سازی کارآمد برای حل این چارچوب کدگذاری پراکنده سلسله‌مراتبی پیشنهادشده است. سپس، ما یک‌قدم فراتر از این می‌رویم. اکنون تصور کنید که چندین رکورد از دو ابزار مشابه داشته باشیم (یا پنجره‌های زمانی مختلف با رکورد مشابه) که هر بار آهنگ‌های مختلفی پخش می‌کنیم. سپس، اگر ما این روش جدید کدگذاری پراکنده را باهم به کار ببریم، انتظار داریم که رکوردهای مختلف گروه‌های مشابه ای را به اشتراک بگذارند (ازآنجایی‌که از ابزارهای مشابه استفاده می‌کنند)، اما هر یک از این‌ها الگوی اسپارسیتی منحصربه‌فرد در داخل گروه دارند.(ازآنجاکه هر رکورد ملودی متفاوتی است) ما یک چارچوب کد نویسی پراکنده پیشنهاد می‌دهیم که دقیقاً به این موضوع پاسخ می‌دهد. یک روش بهینه‌سازی کارآمد برای این حالت نیز به دست می‌آید. در بقیه این مقاله، ما این مدل‌های جدید و بهینه‌سازی مربوطه خود را معرفی می‌کنیم، مثال‌های ارائه‌شده از آن‌ها را نشان می‌دهد و مسیرهای احتمالی تحقیقاتی که توسط این چارچوب‌های جدید، ازجمله برخی از نظریه‌های نظری ارائه‌شده، ارائه می‌دهیم.

۲- کد نویسی سلسه مراتبی مشترک

۲-۱ سابقه و هدف

فرض کنید ما مجموعه‌ای از نمونه‌های داده $x_i \in \mathbb{R}^m . j = 1. \dots . n$ و یک فرهنگ لغت از اتم‌های p، مونتاژ شده به‌عنوان ماتریس $D \in \mathbb{R}^{m\times p}$ و $D = [d_1 d_2 \dots d_p]$ را داریم. هر x_j نمونه می‌تواند به‌عنوان $X_j = Da_j + \varepsilon . a_j \epsilon R^p . \varepsilon \in R^m$ نوشته شود. به‌عنوان یک ترکیب خطی از اتم در فرهنگ لغت D به‌علاوه برخی از اختلال εاست. فرض اولیه اساسی در کدگذاری پراکنده این است که برای همه یا بیشتر j، بازسازی بهینه a_j تنها چند عنصر غیر صفر دارد.به‌طور رسمی اگر هزینه l_0 را به‌عنوان شمردن عدد عناصر غیر صفر a_j تعریف کنیم، $\|a_j\|_0 := \left|\{k : a_{kj} \neq 0\}\right|$، ما انتظار داریم که برای همه یا بیشتر $\|a_j\|_0 \ll p$باشد. بهینه‌سازی l_0 غیر محدب و معروف به NP-hard است، بنابراین تقریباً محدب بجای آن در نظر گرفته می‌شود که از هزینه معمول l_1 استفاده می‌کند

$$\min_a \|a\|_1 \quad s.t. \quad \|X_j - Da\|_2^2 \leq \varepsilon \qquad (۱)$$

تقریب بالا به‌عنوان Lasso شناخته‌شده است [۳]. یک نوع رایج این است که از نسخه بدون محدودیت استفاده کنید :

$$\min_a \frac{1}{2}\|X_j - Da\|_2^2 + \lambda\|a\|_1 \qquad (۲)$$

جایی که λ یک پارامتر است که معمولاً توسط اعتبار سنجی متقابل پیدا می‌شود. تنظیم‌کننده $\|\cdot\|_1$ باعث ایجاد محدودیت در راه‌حل a_j می‌شود.

این نه تنها ازنقطه‌نظر قانونی، بلکه همچنین از یک نقطه انتخاب مدل مطلوب است، جایی که فرد می‌خواهد ویژگی‌ها یا عوامل مرتبط (اتم‌ها) را شناسایی کند که هر نمونه x_j را منطبق می‌کنند. بااین‌حال، در بسیاری از موارد یکی از آن‌ها تمایل به نشان دادن عوامل مربوط به آن نه به‌عنوان یک اتم، بلکه به‌عنوان گروهی از اتم‌ها دارد. با توجه به یک فرهنگ لغت از اتم‌های p، گروه‌ها را از طریق شاخص‌های خود تعریف می‌کنیم، $g \subseteq \{1. \dots . p\}$با توجه به گروه g، زیرمجموعه اتم‌های D متعلق به آن به‌صورت D_g و مجموعه مربوطه از ضریب بازسازی خطی به‌عنوان ag مشخص می‌شود. تعریف $\mathcal{G} = \{g_1. \dots . g_{|\mathcal{G}|}\}$یک افراز از $\{1. \dots . p\}$ است. مسئله گروه Lasso در [۴] به‌صورت زیر معرفی شد:

$$\min_a \frac{1}{2}\|X_j - Da\|_2^2 + \lambda\psi_{\mathcal{G}}(a). \qquad (۳)$$

جایی که $\psi_{\mathcal{G}}$ گروهی از تنظیم‌کننده Lasso است که ازلحاظ $\mathcal{G}$ به‌عنوان $\psi_{\mathcal{G}(a)} = \sum_{g\epsilon\mathcal{G}}\|a_g\|_2$ تعریف‌شده است. توجه داشته باشید که$\psi_{\mathcal{G}}$ را می‌تواند به‌عنوان l_1 در هنجارهای اقلیدسی بردارها که توسط ضرایب متعلق به یک گروه a_g تشکیل‌شده است، دیده شود. این‌یک تعمیم از تنظیم‌کننده l_1است. همان‌طور که از ماده خاص G = {1,2,…,P} به وجود می‌آید، و به همین ترتیب اثر آن بر گروه‌های a نیز یک تعمیم طبیعی ازآنچه با Lasso به دست می‌آید،این است که اتم‌ها را در گروه‌ها روشن یا خاموش می‌کند.

۲-۲- سلسله‌مراتب Lasso

گروه Lasso در سطح یک تک ضرایب با محدودیت (اسپارسیتی) در یک سطح گروه‌بندی می‌کند، درحالی‌که در داخل هر گروه، راه‌حل مساوی است. (درواقع آن را به حداقل مربعات درون گروه کاهش می‌دهد) [۵].

همان‌طور که ما علاقه‌مند به حفظ محدودیت (اسپارسیتی) در سطح ضریب می‌باشیم، ما به‌سادگی تنظیم‌کننده L1 را با گروه کنترل تنظیم مجدد می‌کنیم[۶]، منجر به مدل پیشنهادی سلسله‌مراتبی Lasso (HiLasso) می‌شود.

ما به این تنظیم‌کننده به‌عنوان L1 + L2 اشاره می‌کنیم. در بخش ۳ ما بهینه‌سازی کارآمد برای (۲,۴) پیشنهاد می‌کنیم، درحالی‌که در بخش ۴ ما تجربی فضایل این مدل را نشان می‌دهیم.

۲-۳ سلسله‌مراتب همکاری Lasso

نمونه‌های x_jیکسان اجزای فعال از فرهنگ لغت را داشته باشند، یعنی شاخص‌های ضرایب غیر صفر در a_jبرای همه نمونه‌های مجموعه‌ای مشابه هستند. چنین وابستگی را در مسئله رگرسیون منظم l_1 به‌اصطلاح مشارکت (همچنین به نام "چندوظیفه" و یا "هم‌زمان") مشکلی کدگذاری جزئی به وجود می‌آورد[۲-۷].

به‌طور خاص، اگر ما ماتریس ضرایب $A = [a_1 \dots . a_n]$ مرتبط با بازسازی نمونه $X = [x_1 \dots . x_n]$، مدل کدگذاری مختلط مشارکتی توسط:

$$\min_a \frac{1}{2}\|X - DA\|_F^2 + \lambda \sum_{k=1}^{p} \left\|a^k\right\|_2 \qquad (۴)$$

که در آن a^k ردیف k از A است، یعنی بردار n مقادیر مختلفی است که ضریب مربوط به اتم k ام برای هر نمونه j است. اگر ما اکنون این ایده را به گروه Lasso توسعه دهیم، ما یک فرمول مشترک برای Lasso را به دست می‌آوریم،

$$\min_a \frac{1}{2}\|X - DA\|_F^2 + \lambda \psi_{\mathcal{G}}(A) \qquad (۵)$$

جایی که تنظیم‌کننده $\psi_{\mathcal{G}}$ برای یک ماتریس به‌عنوان $\psi_{\mathcal{G}(a)}(A) = \sum_{g \epsilon \mathcal{G}} \left\|A_g\right\|_F$ تعریف‌شده است، که a_g تشکیل‌شده توسط تمام ردیف متعلق به گروه g است. ما این نکته‌ها را انتخاب کردیم زیرا این تنظیم‌کننده طبیعی گسترش قانون تنظیم‌کننده در (۲,۳) برای مورد مشترک است. به‌طور کامل از این نظر، این ترکیب هنوز در نوشته‌ها موردبررسی قرار نگرفته است. در این مقاله ما یک گام روبه‌جلو حرکت می‌کنیم و همراه با فرمت سلسله‌مراتبی رفتار می‌کنیم. مدل ترکیبی که برای این مشکل پیشنهاد می‌شود (C-HiLasso) می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود:

$$\min_a \frac{1}{2}\|X - DA\|_F^2 + \lambda_2 \psi_{\mathcal{G}}(A) + \sum_{j=1}^{n} \lambda_1 \|a\|_1 \qquad (۶)$$

گروه مشارکتی Lasso یک مورد خاص از مدل ما است، زمانی که λ_1 صفر است. از سوی دیگر، می‌توان برای هر x_i مستقل Lasso را با تنظیم λ_2به صفر به دست آورد. این فرمول جدید به‌ویژه هنگامی مناسب است که بردارها اجزاء را ازدست‌داده باشند. در این صورت ترکیب اطلاعات از همه نمونه‌ها بسیار مهم است تا منجر به نمایندگی صحیح و انتخاب مدل (گروه) شود. این را می‌توان با تغییر اندکی در اصطلاح داده‌ها در (۲,۶) انجام داد. برای هر بردار داده x_iیک خطای بازسازی با استفاده از تنها عناصر مشاهده‌شده محاسبه می‌شود. توجه داشته باشید که اجزاء گمشده بر سایر شرایط معادله تأثیر نمی‌گذارند.

۳- بهینه‌سازی

۱-۳ مشکل سیگنال-سیگنال HiLasso

در دهه گذشته، بهینه‌سازی مشکلات شکل (۲,۲) و (۲,۳) به‌شدت موردبررسی قرارگرفته است و الگوریتم‌های بسیار کارآمد برای حل آن‌ها وجود دارد. اخیراً، Wrightو همکارانش ارائه یک چارچوب، SpaRSA، برای حل مسئله کلی را در زیر مفروضات معقول پیشنهاد داد. [۸]

$$\min_a f(a) + \lambda \psi(a) \qquad (۷)$$

برای تضمین همگرایی F باید یک عملکرد صاف و محدب باشد، درحالی‌که ψ فقط باید در $\mathbb{R}^n$ محدود باشد. وقتی تنظیم‌کننده، ψ، جداشدنی است، بهینه‌سازی می‌تواند در هر گروه به موضوعات کوچک‌تر تقسیم شود. این چارچوب زمانی قوی می‌شود که این زیرمسیله ها بتوانند به‌طور مؤثر حل شوند. این مورد از تنظیمات Lasso و گروه Lasso است، اما تنظیم‌کننده L1 + L2 پیشنهادی فوری نیست. در این کار ما SpaRSA را با روش متناوب جهت تعدیل (ADMOM) [۹] ترکیب می‌کنیم تا مشکل HiLasso را حل کند. الگوریتم SpaRSA یک ترتیب از تکرار

$\{X^t\}_{t\in\mathbb{N}}$را تولید می‌کند که در شرایط خاصی به راه‌حل (۳,۸) تبدیل می‌شود. در هر تکرار، X^{t+1}به دست می‌آید:

$$\min_z (z-x^t)^T\nabla f(x^t)+\frac{\alpha^t}{2}\|z-x^t\|_2^2+\lambda\psi(z) \quad (۸)$$

برای برخی از توالی پارامترهای $\{\alpha^t\}_{t\in\mathbb{N}}$ با $\alpha^t\epsilon\mathbb{R}$ است. شرایطی که الگوریتم همگرایی آن‌ها را به انتخاب t بستگی دارد، برای جزئیات بیشتر به [۸] مراجعه کنید. آسان است نشان دهد که (۳,۹) برابر است با :

$$\min_z \frac{1}{2}\|z-u^t\|_2^2+\frac{\lambda}{\alpha^t}\psi(z) \quad (۹)$$

که در آن $u^t=X^t-\frac{1}{\alpha^t}f(X^t)$ است : در این فرمول جدید، روشن است که اولین اصطلاح در تابع هزینه می‌تواند به‌صورت المان‌های جداشده باشد. بنابراین هنگامی‌که تابع تنظیم (z) جداشدنی است، بنابراین بهینه‌سازی کلی است و می‌توان (۳,۱۰) را به‌صورت مستقل برای هر گروه حل کرد:

$$\min_{z_g}\frac{1}{2}\|z_g-u^t\|_2^2+\frac{\lambda}{\alpha^t}\psi_g(z_g) \quad (۱۰)$$

که در مورد HiLasso، این می‌شود،

$$\min_{b\epsilon\mathbb{R}^{|9|}}\frac{1}{2}\|b-w\|_2^2+\frac{\lambda_2}{\alpha^t}\|b\|_2+\frac{\lambda_1}{\alpha^t}\|b\|_1 \quad (۱۱)$$

جایی که

$$w=u_g^t \; and \; u^t=a^t-\frac{1}{a^t}D^T(Da^T-x)$$

این‌یک SOCP است که می‌توان از حل‌کننده‌های عمومی استفاده کرد. بااین‌حال، این مشکل باید چندین مرتبه در تکرار SpaRSA حل شود، بنابراین برای حل آن بسیار مؤثر است.

برای این منظور از روش ADMOM استفاده می‌کنیم [۹]. ایده این است که مسئله مساوی مصنوعی محدودشده حل شود: جایی که $\tilde{\lambda_i}=\lambda_i/a^t$ الگوریتم مجموعه‌ای از تکرارهای $\{b^t.\beta^t.p^t\}_{t\epsilon\mathbb{N}^+}$ را تولید می‌کند که به حداقل روش لاگرانژین تکمیلی همگرا می‌شود:

$$L_C(b.\beta.p)=\frac{1}{2}\|b-w\|_2^2+\widetilde{\lambda_2}\|b\|_2+\widetilde{\lambda_1}\|b\|_1+p^T(b-\beta)+\frac{c}{p}\|b-\beta\|_2^2 \quad (۱۲)$$

که در آن عناصر p به‌اصطلاح چند ضربدرهای لاگرانز و C ثابت هستند. در هر تکرار، متغیرها b و β به‌روزرسانی می‌شوند، دریک‌زمان، با حداقل رساندن لاگرانژین تکمیلی و اجازه دادن به باقی‌مانده:

$$b^{t+1}=\operatorname*{argmin}_b\frac{1}{2}\|b-w\|_2^2+\widetilde{\lambda_1}\|b\|_1+b^Tp+\frac{c}{2}\|b-\beta\|_2^2$$

$$\beta^{t+1}=\operatorname*{argmin}_\beta\widetilde{\lambda_2}\|\beta\|_2-\beta^Tp+\frac{c}{2}\|b^{t+1}-\beta\|_2^2.$$

$$p^{t+1}=p+c(b^{t+1}-\beta^{t+1}) \quad (۱۳)$$

برای راحتی در علامت‌گذاری، عناصر فوق را برای تکرارها در مرحله t صرف نظرکردیم، فقط به صراحتاً آن‌ها را در مرحله t + 1 نشان دادیم. بروز رسانی برای b، به مختصات b به مقادیر اسکالر جداشدنی است.

شرایط بهینگی برای هرکدام از این مشکلات اسکالر منجر به یک متغیر ساده از اپراتور شناخته‌شده نرم‌افزاری$S(\omega_I.\lambda)=\operatorname{sgn}\omega_i\,max\{0.|w_i|-\lambda\}$ می‌شود.

برای راحتی، ما از علامت $S(\omega_I.\lambda)$ برای نشان دادن بردار به‌دست‌آمده در هنگام استفاده از عملگر نزدیک به آستانه (با پارامترλ) به هر عنصر w استفاده می‌کنیم. از سوی دیگر، به‌روزرسانی β به زیر مقیاس عددی تفکیک شدنی نیست. بااین‌حال، شرایط بهینه آن توسط $\acute{\beta}+\widetilde{\lambda_2}\partial\|\acute{\beta}\|_2-\acute{b}\ni 0$ داده می‌شود، که دقیقاً همان چیزی است که منجر به اپراتور انقباض بردار، s_v، در [۴] برای گروه Lasso شرح داده‌شده است.(درواقع خیلی ساده تراست، هیچ ضرب ماتریسی وجود ندارد):

$$S_v(b.\widetilde{\lambda_2})=\left[1-\frac{\widetilde{\lambda_2}}{\|b\|_2}\right]_+b \quad (۱۴)$$

سپس هر دو به‌روزرسانی را می‌توان در فرم بسته و بسیار مؤثر محاسبه کرد:

$$b = \frac{1}{c+1} S\left(w + c\beta - p.\widetilde{\lambda_1}\right).\beta = \frac{1}{c} S_v\left(p + cb.\widetilde{\lambda_2}\right). \quad (۱۵)$$

الگوریتم بسیار قوی است و در چندین تکرار برای بهینه آن همگرا می‌شود، درنتیجه یک رویکرد بسیار کارآمد برای حل مشکل (۳,۱۱) به دست می‌آید. سپس چارچوب SpaRSA یک رویکرد بسیار جالب برای پیشنهاد Hi-Lasso می‌شود. الگوریتم کامل در الگوریتم ۱ خلاصه‌شده است. هنگامی‌که یک گروه کل فعال نیست، یک سرعت اضافی افزایش می‌یابد، با دور زدن ADMOM به دست می‌آید.

از شرایط مطلوب (۳,۱۱) به این معنی است که اگر ۰ یک راه‌حل است وقتی‌که $\lambda_1 = 0$(گروه استاندارد Lasso)، آن نیز یک راه‌حل در مورد کلی است.

این را می‌توان با ارزیابی $S_v(w.\lambda_1) > 0$ بررسی کرد.

۳-۲ همکاری بهینه‌سازی HiLasso

اکنون ما یک الگوریتم بهینه‌سازی را برای حل کارآمد همکاری *HiLasso* پیشنهاد می‌کنیم. ایده اصلی این است که از *ADMOM* برای تقسیم مسئله کلی به دو مسئله فرعی استفاده کنید: یکی که مسئله چند سیگنال را به رگرسیون *L1* تک سیگنال رها می‌کند، و دیگری که پرونده چند سیگنال را به‌عنوان یک گروه مشابه با *Lasso* مطرح می‌کند. به‌این‌ترتیب ما از جدایی هر اصطلاح به‌عنوان نشان داده‌شده در شکل ۱ استفاده می‌کنیم.

ما یک مشکل بهینه‌سازی محدود را تعریف می‌کنیم:

$$min \frac{1}{2}\|X - DA\|_F^2 + \lambda_1 \sum_j \|a_j\|_1 + \lambda_2 \psi_g(B) \;\; s.t\; A = B \quad (۱۶)$$

تکرارهای *ADMOM* توسط (مافوق دینگز برای متغیرهای تکرار t را برای راحتی نشانه‌گذاری حذف کردیم) داده می‌شود.

$$A^{t+1} = \underset{A}{argmin} \frac{1}{2}\|X - DA\|_F^2 + \lambda_1 \sum_j \|a_j\|_1 + Tr(B^T P^{t+1}) + \frac{C}{2}\|B - A\|_F^2$$

$$B^{t+1} = \underset{B}{argmin} \frac{C}{2}\|B - A^{t+1}\|_F^2 + Tr(B^T P^{t+1}) + \lambda_2 \psi_g(B)$$

$$P^{t+1} = P + c(A - B) \quad (۱۷)$$

حل برای A^{t+1} : مسئله (۳,۱۳) می‌تواند با به‌روزرسانی یک ستون از ماتریس A در زمان از هم جدا کرد.

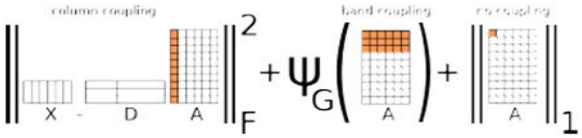
$$\min_{aj} \|x - Da_j\|_2^2 + p_j^T a_j + \frac{c}{2}\|a_j - b\|_2^2 + \lambda_1 \|a_j\|_1 \quad (۱۸)$$

این مشکل را می‌توان با استفاده از چارچوب *SpaRSA* حل کرد.

ایده این است که سه معیار اول هزینه را به‌صورت *f(0)* در معادله (۳,۸) در نظر بگیریم. هزینه محاسبات مربوطه برابر با یکی از *Lasso* است، ازآنجاکه معیار استاندارد *L1* است.

حل برای B^{t+1}: مشکل ارائه‌شده توسط (۳,۱۴) گروهی قابل‌تفکیک، به‌عنوان نتیجه مستقیم تفکیک‌پذیری ψ_g است. بنابراین، ما نیاز داریم که مشکلات بهینه‌سازی *lGl* را حل کنیم.

$$\min_{B_g} \frac{C}{2}\|B_g - A_g^{t+1}\|_F^2 + Tr\left(P^{t+1}B_g^T\right) + \lambda_2 \|B_g\|_F$$



جایی که A_g، B_g و P_g زیر ماتریس $n \times |g|$ از A، دسته p مربوط به گروه g است. ما آن‌ها را به‌عنوان بردارهای ستون (هرکدام با اجزای $n \times |g|$) بیان می‌کنیم، با همپوشانی ستون‌هایشان، به دست آوردن b_g. β_g و p_g به ترتیب، و مسئله بهینه‌سازی را در فرم برداری به‌صورت زیر بازنویسی کنید :

$$\min_b \lambda_2 \|b\|_2 - p_g^T b + \frac{c}{2}\|a_g^{t+1} - b\|_2^2 \quad (۱۹)$$

این مشکل همانند (۳,۱۲) است و می‌تواند به‌سادگی تغییر متغیرها به یک مشکل گروهی *Lasso* کاهش یابد و به‌این‌ترتیب با استفاده از آستانه گذاری حل می‌شود.

۴- نتایج تجربی

ما با مقایسه مدل ما با استاندارد *Lasso* و گروه *Lasso* با استفاده از داده‌های مصنوعی شروع می‌کنیم. ما دیکشنری‌های $|\mathcal{G}|$، D_i با ۶۴ اتم بعد ۶۴، با *i.i.d* نوشته‌های گاوسی درست می‌کنیم. ستون‌های نرمال شده دارای یک واحد *L2* بودند. سپس ما به‌طور تصادفی دو گروه را انتخاب کردیم تا در هر زمان (بر روی تمام سیگنال‌ها) فعال شوند.

مجموعه‌ای از $N = 200$ تست سیگنال تولید شد، یک در هر گروه فعال، به‌عنوان ترکیب خطی از $k << 64$ عناصر واژه‌نامه، $x_j^i = D_i a_j^i$ است.

این سیگنال‌ها نیز نرمال شده‌اند. مخلوط‌ها به‌وسیله جمع‌کردن این سیگنال‌ها و (درنهایت) اضافه کردن نویز گازی از انحراف استاندارد σ ایجاد شد.تست سیگنال‌های تولیدشده دارای ساختار سلسله‌مراتبی پراکنده است و درحالی‌که گروه‌ها را به اشتراک می‌گذارند، لزوماً محدودیت درون گروه‌ها به اشتراک نمی‌گذارند. ما یک فرهنگ لغت را با پیوند دادن زیرمجموعه‌ها ساختیم، $D = [D_1 \dots D_{|\mathcal{G}|}]$و از آن برای حل مشکلات *Lasso*، گروه *Lasso*، *HiLasso* و *C-HiLasso* استفاده کنید. جدول ۱ خلاصه خطای میانگین مربع (*MSE*) و فاصله همدمینگ ضرایب بازدهی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ : خطای میانگین مربع و فاصله همدمینگ ضرایب بازدهی

σ	Lasso	Glasso	HiLasso	C-HiLasso
۰,۱	۴۱,۷/۲۲,۰	۱۱۷,۳/۳۶۱,۶	۳۳,۰/۱۹,۸	۱۶,۳/۱۳,۳
۰,۲	۵۶,۴/۲۱,۶	۱۱۸,۲/۳۷۸,۳	۳۹,۹/۲۲,۷	۲۴,۹/۱۷,۱
۰,۴	۹۶,۵/۲۲,۷	۱۳۷,۸/۳۴۰,۳	۶۵,۶/۱۹,۵	۵۹,۵/۲۷,۴
K	Lasso	Glasso	HiLasso	C-HiLasso
۸	۳۸,۸/۲۲,۰	۱۱۸,۴/۳۱۸,۲	۲۷,۲/۱۹,۵	۹,۶/۱۶,۲
۱۲	۱۲۰,۰/۳۶,۲	۱۱۶,۶/۳۵۰,۴	۷۰,۴/۲۶,۵	۴۱,۳/۲۹,۱
۱۶	۱۶۴,۱/۴۳,۹	۱۰۹,۳/۳۳۸,۶	۱۱۰,۰/۳۲,۲	۵۵,۱/۳۵,۰
|g|	Lasso	Glasso	HiLasso	C-HiLasso
۴	۱۰۸,۰/۲۷,۸	۱۹۱,۶/۲۲۱,۷	۱۰۰,۹/۲۹,۸	۷۴,۲/۳۰,۲
۸	۱۲۰,۰/۳۶,۲	۱۱۶,۶/۳۵۰,۴	۷۰,۴/۲۶,۵	۴۱,۳/۲۹,۱

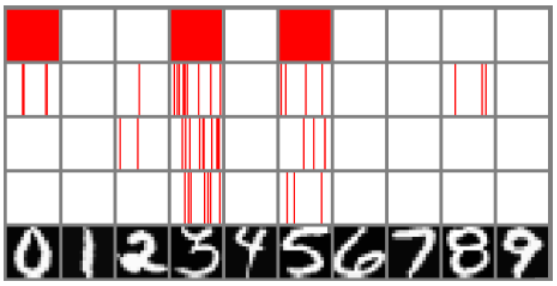
ما مشاهده می‌کنیم که مدل ما می‌تواند از ساختار سلسله‌مراتبی داده‌ها و همچنین ساختار همکاری استفاده کند. از دیدگاه مدل‌سازی، ما متوجه می شویم که گروه *Lasso* به‌طور کلی بلوک های صحیح را انتخاب می‌کند اما درون آن‌ها یک راه‌حل نادرست به دست نمی‌دهد.از سوی دیگر، *Lasso* راه‌حلی ارائه می‌دهد که دارای عناصر غیر صفر متعلق به گروه‌هایی است که در سیگنال اصلی فعال نبودند، منجر به انتخاب مدل اشتباه می‌شود.

HiLasso یک راه‌حل نادر است که اتم‌ها را از گروه‌های صحیح تشکیل می‌دهد اما هنوز برخی از اشتباهات جزئی را ارائه می‌دهد. در مورد همکاری، در تمام موارد مورد آزمایش، هیچ ضریبی در خارج از گروه‌های فعال صحیح انتخاب‌نشده و ضرایب بهبودیافته به‌طور مداوم بهترین هستند.

این استحکامات از این واقعیت است که گروه‌های فعال به‌طور مشترک با استفاده از اطلاعات موجود در تمام سیگنال‌ها پیدا می‌شوند. ما داده‌های عددی *USPS* را در نظر می‌گیریم که در چارچوب مدل‌سازی نزولی نشان داده‌شده است. [۱۰] در اینجا سیگنال‌ها بردارهایی هستند که دارای تراکم خاکستری پیچیده ۱۶ × ۱۶ تصویر است. ما دو رقم را انتخاب کردیم و آن‌ها را برای ایجاد یک تصویر مخلوط جمع کردیم. ما ۲۰۰ نمونه مخلوط تصادفی ایجاد کردیم و سپس آن‌ها را با روش‌های مختلف تجزیه‌وتحلیل کردیم. در این مورد هیچ حقیقی فعال زمین وجود ندارد و ما به‌عنوان یک ضریب عملکرد، خطای جدایی تعریف‌شده به‌عنوان $\frac{1}{NR}\sum_{i=1}^{R}\sum_{j=1}^{N}\|X_j^i - \hat{X}_j^i\|_2^2$ که جزء X_j^iمربوط به منبع i در سیگنال j است، استفاده می‌شود و $\hat{X}_j^i$ بهبودیافته است. با استفاده از تست تقسیم آموزش تمرین برای *USPS* ما برای اولین بار یک فرهنگ لغت را برای هر رقم آموختیم. سپس یک فرهنگ لغت را باهم پیوند دادن آن‌ها ایجاد کردیم. در شکل ۲ ما خطای جداسازی را در موقعیت‌های مختلف نشان می‌دهیم. همان‌طور که در حالت ترکیبی، تنها روش مشارکتی توانست با موفقیت منابع فعال واقعی را شناسایی کند. در شکل ۲ برخی از نمونه‌های بازتولیدی مجموعه‌های فعال برای هر روش نشان داده‌شده است.

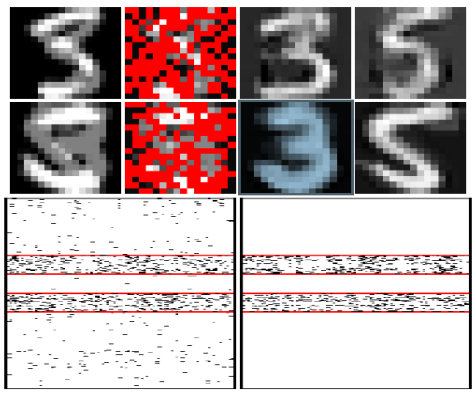
شکل ۲ : نمونه بازتولیدی مجموعه‌های فعال

Digits	Lasso	Glasso	HiLasso	C-HiLasso
۳+۵	۷۴,۱	۸۰,۱	۶۸,۶	۶۳,۴
۳+۵+ n	۸۷,۹	۹۵,۴	۹۲,۹	۷۷,۳
۲+۷	۶۱,۱	۶۰,۸	۵۸,۷	۴۲,۶
۲+۷+n	۷۵,۴	۶۵,۲	۶۴,۷	۵۳,۷



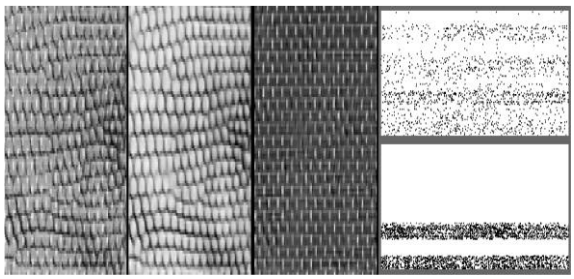
ما همچنین از مجموعه داده‌های ارقام برای آزمایش داده‌های گم‌شده استفاده می‌کنیم. به‌طور تصادفی، به‌طور متوسط ٪۶۰ از پیکسل‌ها در هر تصویر مخلوط را حذف کردیم و سپس *C-Hilasso* را اعمال کردیم. الگوریتم قادر است به‌درستی تشخیص دهد کدام رقم در تصاویر وجود دارد. در شکل ۳ ما چند مثال را نشان می‌دهیم. توجه داشته باشید که این‌یک مشکل کاملاً متفاوت ازآنچه معمولاً در نوشته‌های تکمیل ماتریس مطرح‌شده است. در اینجا ما قصد نداریم سیگنال‌هایی را که همه متعلق به یک زیرمجموعه ناشناخته منحصربه‌فرد هستند، نادیده بگیریم، اما سیگنال‌هایی که ترکیبی از دو فضای غیر منحصربه‌فرد هستند که به‌طور خودکار از فرهنگ لغت موجود انتخاب می‌شوند.

شکل ۳: نمونه



چنین فضاهای نامعلومی برای همه سیگنال‌های مورد سؤال هستند(سطح درشت سلسله‌مراتب)، اما لزوماً دقیق همان اتم‌ها نیستند و بنابراین لزوماً متعلق به همان زیر فضاهای نیستند. هر دو سطح سلسله‌مراتب به‌طور خودکار شناسایی می‌شوند، به‌عنوان‌مثال، گروه‌ها مربوط به "۳" و "۵" و اتم‌های دقیق (زیر فضاهای) در هر گروه هستند، این آخرین موارد برای هر سیگنال در مجموعه ممکن است. درحالی‌که ما در نظر داریم که زیربستی های احتمالی را می‌توان از فرهنگ لغت ارائه‌شده انتخاب کرد، در بخش ۵ ما در مورد یادگیری چنین لغت نامه ها نیز بحث خواهیم کرد. در چنین مواردی مشکل تکمیل ماتریس استاندارد یک مورد خاص از چارچوب *C-HiLasso* (با یک گروه واحد و تمام سیگنال‌های دارای یک مجموعه فعال، زیر فضا در گروه) می‌شود، به‌طور طبیعی، پرسش‌های نظری زیادی را برای این مدل عمومی جدیدتر ارائه می‌دهد . درنهایت *C-HiLasso* را برای جدا کردن بافته‌ای همپوشانی در یک تصویر استفاده کردیم. ما ۸ نمونه از مجموعه داده *Brodatz* را انتخاب کردیم و یک فرهنگ لغت را برای هر یک از آن‌ها آموزش دادیم (این ۸ گروه از فرهنگ لغت را تشکیل می‌دهند). سپس یک تصویر را به‌عنوان مجموع دو نمونه(تصویر تست در مرحله آموزش استفاده نشد) ایجاد کردیم. در شکل ۴ ما نتایج را نشان می‌دهیم. فاصله همینگ برای *C-HiLasso* = ۰,۰۰۳ است که نشان می‌دهد که گروه‌های درست و تنها آن‌ها در تمام زمان‌ها انتخاب می‌شوند.

شکل ۴: نتایج شبیه‌سازی



۵- بحث

در این مقاله چارچوب جدیدی از کد نویسی پراکنده سلسله‌مراتبی مشترک ایجادشده است، که در آن سیگنال‌های متعدد در رمزگذاری آن‌ها، تقسیم‌بندی گروه‌های کد (مدل) و داشتن (احتمال عدم پیوند)

نمایندگی‌های نادر در داخل گروه‌های مربوطه، همکاری می‌کنند. یک رویکرد بهینه‌سازی کارآمد ایجادشده است که همگرایی را به حداقل جهانی تضمین می‌کند و نمونه‌هایی از قدرت این چارچوب نشان داده‌شده است. در سطح عملی، ما در حال حاضر در زمینه برنامه‌های کاربردی این چارچوب پیشنهادشده در تعدادی از جهات، ازجمله جداسازی ابزارهای مشترک در موسیقی، و همچنین طبقه‌بندی سیگنال‌ها، به دنبال توانایی نشان داده‌شده به‌طور جمعی گروه‌ها / مدل‌های صحیح را انتخاب می‌کنیم.

در سطح نظری، یک کل خانواده از مشکلات جدید با این چارچوب پیشنهادی باز می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کلی انتخاب گروه‌های صحیح و درنتیجه آن، انتخاب مدل مناسب و جداسازی منبع است.

به‌عنوان‌مثال، در مورد دو گروه (به‌این‌ترتیب هیچ محدودیتی در سطح گروهی) و یک سیگنال واحد که توسط ترکیب خطی‌اتم از هر گروه تشکیل‌شده است، در نظر بگیریم.

سپس، آسان است نشان دهد که یکپارچگی متقابل بین گروه‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند. اجازه دهید $\mu_i \; i = 1.2$ ، انسجام داخلی اتم‌های گروه i و $\mu_i \; i$یکی بین گروه‌ها (همبستگی نرمال شده حداکثر بین اتم گروه ۱ با اتم گروه ۲). سپس آسان است که نشان دهیم که منحصربه‌فرد بودن جدایی می‌تواند تضمین شود اگر $(2k_1 - 1)\mu_1 + 2k\mu_{1.2} < 1 \; and \; (2k_2 - 1)\mu_2 + 2k\mu_{1.2} < 1$، با k_i سطوح محدودیت مربوطه در هر گروه (این ضعیف‌تر است که دقیق‌تر از آن توسط [۱۱] توسعه‌یافته است).این نیاز به محدودیت واقعی در سطح گروه و سطح مشترک است. توجه داشته باشید که البته با توجه به یک گروه فعال تنها یک نمونه خاص از مدل ما است (به‌این‌ترتیب برای کارهایی که در این مورد وجود دارد) به [۱۰]، بنابراین چارچوب نظری کلی برای چارچوب سلسله‌مراتبی پیشنهادشده ما به‌طور خودکار شامل چندین نتیجه موجود در برنامه‌نویسی جزئی است.

درنهایت، ما همچنین یک چارچوب برای یادگیری فرهنگ لغت برای برنامه‌نویسی چندگانه سلسله‌مراتبی مشترک ایجاد کرده‌ایم، به این معنی که بهینه‌سازی به‌طور هم‌زمان در فرهنگ لغت و کد است. انتظار می‌رود که این امر به معنای یادگیری فرهنگ لغت استاندارد باشد که موجب بهبود عملکرد قابل‌ملاحظه‌ای می‌شود (دوباره برای یک مورد خاص با یک گروه واحد در یک‌زمان) [۱۰].

مراجع

[1] R. Jenatton, J. Audibert, and F. Bach, “Structured variable selection with sparsity-inducing norms,” Tech. Rep.arXiv:0904.3523v1, INRIA, 2009.
[2] J. Tropp, “Algorithms for simultaneous sparse approximation. part ii:convex relaxation,” *Signal Processing*, vol. 86, no. 3, pp. 589–602, 2006.
[3] R. Tibshirani, “Regression shrinkage and selection via the LASSO,” *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, vol. 58, no. 1, pp. 267–288, 1996.
[4] M. Yuan and Y. Lin, “Model selection and estimationinregression with grouped variables,” *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, vol. 68, pp. 49–67, 2006.

J. Peng, J. Zhu, A. Bergamaschi, W. Han, D. Noh, J. Pollack, and P. Wang, “Regularized multivariate regression for identifying master predictors with application to integrative genomics study of breast cancer,” Annals of Applied Statistics.To appear.
[7] B. Turlach, W. Venables, and S. Wright, “Simultaneous variable selection,” Technometrics, vol. 27, pp. 349–363, 2004.
[8] J. Wright, R. Nowak, and M. Figueiredo, “Sparse reconstruction by separable approximation,” Trans. Sig. Proc., vol. 57, no. 7, pp. 2479–2493, 2009.
[9] D. Bertsekas and J. Tsitsiklis, Parallel and Distributed
Comptutation: Numerical Methods, Prentice Hall, 1989.
[10] I. Ramirez, P. Sprechmann, and G. Sapiro, “Classification and clustering via dictionary learning with structured incoherence and shared features,” in CVPR, 2010.
[11] J. Starck, M. Elad, and D. Donoho, “Image decomposition via the combination of sparse representations and a variational approach,” IEEE Transactions on Image Processing, vol. 14, pp. 1570–1582, 2004.

ردیابی بیشینه توان سلول خورشیدی تحت رخداد سایه جزئی با اینورتر متصل به شبکه سه فاز

نویسندگان: احسان حسن‌زاده- ehsan690@gmail.com
احمد آل احمد- a.ahmad@nit.ac.ir

چکیده: الگوریتم‌های مرسوم ردیابی بیشینه توان، توانایی یافتن نقطه بیشینه توان در یک آرایه خورشیدی در شرایط سایه جزئی را ندارند. زیرا منحنی توان-ولتاژ یک آرایه خورشیدی در شرایط سایه جزئی بیش از یک قله دارد و الگوریتم‌های مرسوم توانایی تشخیص و ردیابی قله اصلی را ندارد. در این مقاله یک روش جدید برای ردیابی نقطه بیشینه توان در شرایط سایه جزئی ارائه می‌کند که ترکیبی از الگوریتم مشاهده و دنباله‌روی و الگوریتم ولتاژ ثابت است. این الگوریتم جدید از رفتارشناسی یک آرایه خورشیدی در شرایط سایه جزئی به‌دست‌آمده و براین اساس عمل می‌کند که ولتاژ نقطه بیشینه توان در شرایط مختلف از جمله سایه جزئی چندان تغییر نمی‌کند. این الگوریتم در یک نمونه آزمایشگاهی با توان نامی ***100w*** آزمایش شد. نتایج آزمایش صحت عملکرد سامانه را دریافتن قله اصلی بیشینه توان در شرایط سایه جزئی را تأیید می‌کند.

کلیدواژه: سامانه ولتاژ خورشیدی؛ ردیابی بیشینه توان؛ سلول خورشیدی؛ سایه جزئی.

۱ – مقدمه

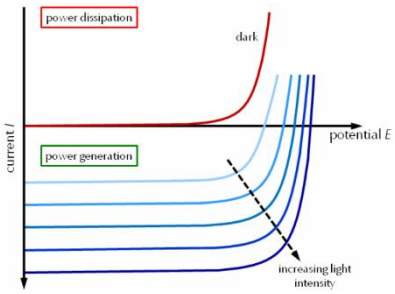
امروزه، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی مشکلات مختلف زیست‌محیطی را سبب شده است. بنابراین گرایش به استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر روبه افزایش است. در این میان انرژی خورشیدی به دلیل رایگان بودن، در دسترس بودن، فراوانی و پاک بودن در زمین و فضا، انتخاب مناسبی به نظر می‌رسد. یکی از راه‌های استفاده از انرژی خورشیدی، تولید انرژی الکتریکی به‌وسیله سلول خورشیدی است. ازآنجایی‌که توانمندی سلول خورشیدی وابسته به شرایط تابشی و دمایی می‌باشد و هم‌چنین بازده سلول خورشیدی پایین می‌باشد، بنابراین ردیابی بیشینه توان تولیدی امری ضروری است[۱]. برای دست‌یابی به یک سطح توان مناسب در یک نیروگاه خانگی و یا صنعتی تعدادی سلول خورشیدی بااتصال سری-موازی (ارائه خورشیدی) در کنار هم قرار می‌دهند. در این حالت به علت گستردگی مکان نصب ارائه خورشیدی قرار گرفتن برخی از سلول‌ها در سایه اجسام اطراف محل نصب، امری اجتناب‌ناپذیر است. به شرایطی که قسمتی از ارائه خورشیدی در سایه قرارگرفته است را حالت سایه جزئی می‌نامند. در شرایط سایه جزئی ردیابی نقطه بیشینه توان کمی پیچیده‌تر از حالت بدون سایه است. زیرا منحنی توان خروجی ارائه خورشیدی دارای چند قله خواهد بود که دراین‌بین پیدا کردن قله ماکزیمم اهمیت دارد[۱].

در میان روش‌های ردیابی بیشینه توان در شرایط بدون سایه می‌توان به الگوریتم‌های مشاهده و دنبال کردن[۱] [۳]، هدایت افزایشی[۲][۱۲]، ولتاژ ثابت[۳][۱۳]،کسری از جریان اتصال کوتاه[۳][۱۴]، کسری از ولتاژ مدارباز[۴][۱۵]، منطق فازی[۵] [۱۶]اشاره نمود. اما این روش‌ها در ردیابی نقطه ماکزیمم توان (MPPT[۶]) زمانی که شرایط تابشی برای همه ماژول‌ها یکنواخت نیست و سایه رخداده است ، موفق نیستند. در این وضعیت، ماژول‌های سایه‌دار بخشی از برق تولیدشده را مصرف کرده و به‌عنوان بار رفتار می‌کنند که تولید برق کل را کاهش می‌دهد. حتی ممکن است مشکل نقطه داغ[۷]رخ دهد[۲-۴]. به‌منظور حفاظت ماژول‌ها از مشکل نقطه داغ ، یک دیود بای پس به‌طور موازی به هر یک از ماژول‌های PV متصل می‌شود. معمولاً برای تعیین قله بیشینه توان واقعی در شرایط سایه جزئی، کل نمودار توان-ولتاژ یک ارائه جاروب می‌شود[۵] و همه نقاط در حافظه پردازنده نگهداری می‌شود. پس از بررسی این نقاط، مشخصه جریان-ولتاژ قله بیشینه توان تعیین و نقطه کار ارائه خورشیدی به این نقطه منتقل می‌شود. این نوع

عملکرد فقط زمانی قابل‌اجرا است که ارائه خورشیدی به یک مبدل افزاینده غیر ایزوله[۸] متصل باشد. اما معمولاً در نیروگاه‌ها با توان بزرگ (بزرگ‌تر از 20Kw) برای افزایش بازده سامانه ولتاژ خورشیدی، مبدل افزاینده غیر ایزوله حذف می‌شود و ارائه خورشیدی مستقیم به یک انورتر متصل به شبکه متصل می‌گردد. در این شرایط جاروب کامل منحنی توان-ولتاژ ارائه خورشیدی به علت محدودیت‌های انورتر متصل به شبکه امکان‌پذیر نمی‌باشد در این مقاله روشی ارائه‌شده است که نسبت به روش‌های موجود هزینه اضافی را به سیستم تحمیل نمی‌کند و به مشخصات الکتریکی و ساختار ماژول‌ها هم نیاز ندارد. این روش که به سهولت پیاده‌سازی می‌شود به‌راحتی نقطه بیشینه توان را در شرایط سایه جزئی تعیین می‌کند. در این مقاله ابتدا سلول خورشیدی به‌صورت کامل معرفی می‌شود. در بخش ۳ رفتار سلول خورشیدی در شرایط سایه جزئی بررسی خواهد شد و روش پیشنهادی در بخش ۴ آمده است. در انتها نیز صحت عملکرد این الگوریتم با شبیه‌سازی و پیاده‌سازی نمونه آزمایشگاهی نشان داده‌شده است.

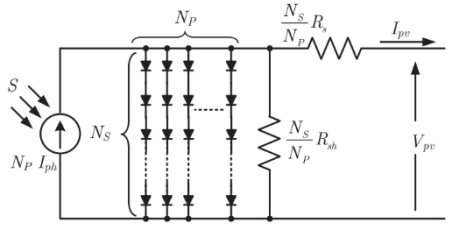
۲- سلول خورشیدی

سلول خورشیدی شامل چند پیوند PN بااتصال سری-موازی است که در معرض تابش نور خورشید قرار می‌گیرد. *«شکل ۱»* منحنی مشخصه یک پیوند PN به ازای دریافت تابش‌های مختلف را نشان می‌دهد. منحنی مشخصه یک پیوند PN با دریافت نور خورشید به سمت پایین محور ولتاژ حرکت می‌کند. چنانچه نقطه کار این پیوند در ناحیه سوم قرار گیرد می‌تواند یک تولیدکننده توان الکتریکی باشد. زیرا جریان آن منفی و ولتاژ آن مثبت است.



شکل ۱: منحنی مشخصه یک پیوند PN در معرض تابش نور.

برای دست‌یابی به سطح توان بزرگ، تعدادی پیوند PN بااتصال سری-موازی در کنار هم قرار می‌گیرند. این مجموعه سلول خورشیدی نامیده می‌شود. برای یک سلول خورشیدی می‌توان مدار معادل *«شکل ۲»* را ترسیم کرد.



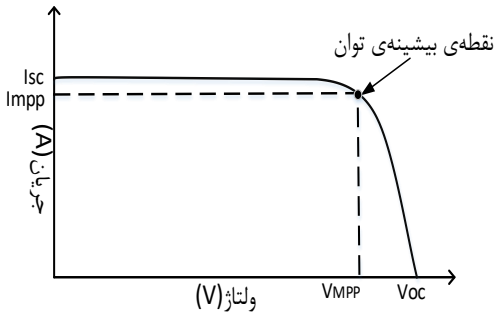
شکل ۲: مدار معادل سلول خورشیدی.

بر اساس *«شکل۲»* معادله غیرخطی جریان تولیدی سلول خورشیدی به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد.

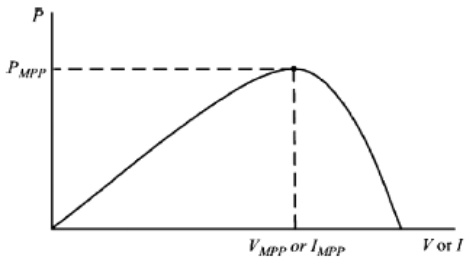
$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_0 (e^{\frac{q(\frac{V_{PV}}{N_s} + I_{pv}\frac{R_s}{N_p})}{KT}} - 1) - \frac{N_p \frac{V}{N_s} + I_{pv} R_s}{R_{sh}} \quad (۱)$$

که در این رابطه Ipv جریان خروجی حاصل از سلول خورشیدی، Iph میزان جریان تولیدشده در سلول خورشیدی،I0 میزان جریان اشباع معکوس،Vpv مقدار ولتاژ خروجی سلول خورشیدی،Rs میزان مقاومت سری، Rsh میزان مقاومت موازی ، qمیزان بار الکترون (1.6*10-19c) ، K مقدار ثابت بولتزمن (1.38*10-23)، Np تعداد سلول خورشیدی موازی و Ns تعداد سلول خورشیدی سری می‌باشد.

با درنظرگرفتن رابطه (۱)، منحنی مشخصه جریان-ولتاژ و توان-ولتاژ سلول خورشیدی، به ترتیب در «شکل۳» و «شکل۴» به ازای توان تابشی و دمای ثابت، نشان داده‌شده است[۳].



شکل ۳: منحنی مشخصه جریان-ولتاژ سلول خورشیدی.

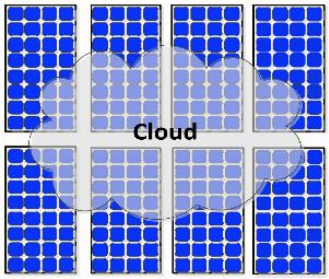


شکل ۴: منحنی مشخصه توان برحسب ولتاژ یا جریان سلول خورشیدی.

سه مؤلفه مهم یک سلول خورشیدی که شامل جریان اتصال کوتاه(I_{sc})، ولتاژ مداربار(V_{oc}) و نقطه کار بیشینه توان (MPP[۹]) می‌باشد که در «شکل۳» نشان داده‌شده است. اگر سلول خورشیدی در نقطه MPP گرایش شود بیشترین توان را تحویل می‌دهد. ازآنجاکه بازده تبدیل سلول‌های خورشیدی پایین و در حدود ۱۷-۹ درصد می‌باشد، باید نقطه‌ی کار سلول خورشیدی در مکانی از نمودار جریان برحسب ولتاژ سلول خورشیدی قرار بگیرد که حداکثر توان تولیدی به مصرف‌کننده تحویل گردد. بنابراین ردیابی نقطه بیشینه توان[۲] در سلول خورشیدی امری ضروری می‌باشد.

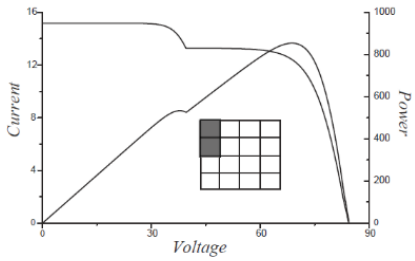
۳- سایه جزئی

استفاده از یک سلول خورشیدی به‌صورت منفرد نمی‌تواند تمام نیازهای یک محیط صنعتی و یا یک‌بار پرمصرف را تأمین کند. به همین دلیل معمولاً تعدادی سلول را به‌صورت متصل‌به‌هم به کار می‌برند، که به آن ارائه خورشیدی گفته می‌شود. از جمع توان‌های تولیدی هر یک از این سلول‌ها منحنی توان-ولتاژ یک ارائه به‌دست می‌آید. به علت سطح وسیع ارائه خورشیدی، قرار گرفتن قسمتی از این ارائه در سایه اجسام جانبی اجتناب‌ناپذیر است. با توجه به «شکل۵» فرض کنید به دلیل وجود تکه‌ای ابر در آسمان و یا براثر افتادن یک برگ و یا نشستن یک پرنده تابش خورشید در قسمتی از ارائه کمتر گردد، به‌این‌ترتیب سطح تعدادی از سلول‌ها نسبت به سایر سلول‌ها دارای تابش کمتری خواهد بود و منحنی توان برحسب ولتاژ آن تغییر می‌کند. به‌این‌ترتیب به بعضی از سلول‌ها تابش کمتری می‌رسد. معمولاً در ساخت هر سلول خورشیدی در کارخانه تولیدکننده، روش‌هایی به کار می‌رود که به کمک آن شرایطی ایجاد شود تا پیوندهای خورشیدی سری شده در یک سلول، دارای مشخصه‌های توان-ولتاژی یکسانی باشند.



شکل ۵: وجود ابر بر روی ارائه خورشیدی.

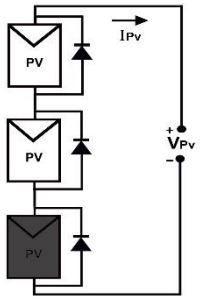
بدیهی است منحنی حاصل از جمع این منحنی‌های توان-ولتاژی طبق «شکل۶»، دست‌کم دارای دو قله خواهد بود که حاصل منحنی در حالت بدون سایه و یک منحنی با تابش کمتر (سایه جزئی) می‌باشد. موضوع مهم در این شرایط پیدا کردن قله بیشینه توان واقعی است. زیرا گاهی اوقات روش‌های مرسوم ردیابی نقطه بیشینه توان قله فرعی را به‌عنوان قله بیشینه توان تشخیص می‌دهند.



شکل ۶: نمودار جریان و توان برحسب ولتاژ سلول خورشیدی در شرایط سایه جزئی.

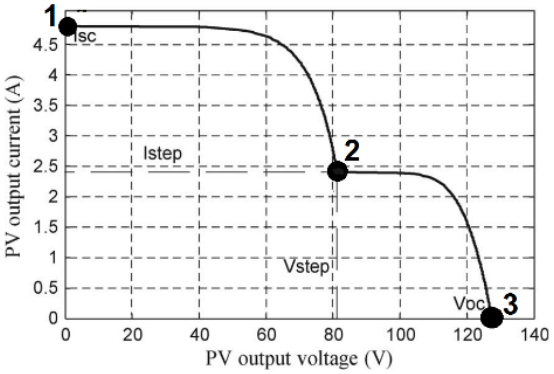
در شرایط سایه جزئی ، مدل ریاضی سیستم PV در رابطه (۱) دیگر معتبر نیست زیرا سطح‌های مختلف تابش بر روی سلول خورشیدی توزیع‌شده است . بنابراین یک مدل ریاضی جدید برای ارائه سیستم تحت شرایط سایه جزئی موردنیاز می‌باشد.

به‌عنوان نمونه، سه سلول خورشیدی بااتصال سری در نظر گرفته شد به‌گونه‌ای که طبق «شکل۷» یکی از سه پنل تابش $500W/m^2$ را دریافت می‌کند، درحالی‌که دو پنل دیگر تابش $1000W/m^2$ را دریافت می‌کنند.



شکل ۷: وجود سایه بر روی ارائه خورشیدی.

برای این ارائه خورشیدی منحنی جریان-ولتاژ به‌صورت «شکل۸» خواهد بود .



شکل ۸: منحنی جریان-ولتاژ «شکل۶».

در «شکل۸» سه‌نقطه مشخص‌شده است ، نقطه ۱، نقطه‌ای است که جریانش معادل I_{sc} (جریان اتصال کوتاه پنل های بدون سایه PV) و ولتاژش معادل صفر است. نقطه ۲، نقطه‌ای است که جریانش I_{step} (جریان اتصال کوتاه پنل های سایه‌دار PV) و ولتاژش V_{step} (مجموع ولتاژ مدارباز پنل های بدون سایه PV) است و نقطه ۳، نقطه‌ای است که جریانش معادل صفر و ولتاژش معادل V_{oc} (مجموع ولتاژ مدارباز پنل های بدون سایه و پنل های سایه‌دار PV) است[۵].

مدل ریاضی این ارائه در روابط (۲) و (۳) نشان داده‌شده است[۵].

$$V_{Pv}=\frac{AKTn_s^{us}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda^{us}-I_{pv}}{I_o}\right) \qquad I_{pv}>I_{step} \qquad (۲)$$

$$V_{Pv}=\frac{AKTn_s^{us}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda^{us}-I_{pv}}{I_o}\right)+\frac{AKTn_s^{s}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda^{s}-I_{pv}}{I_o}\right) \qquad I_{pv}<I_{step} \qquad (۳)$$

بطوریکه n_s^{us} و n_s^{s} به ترتیب تعداد پنل های بدون سایه و پنل های سایه‌دار است ، λ^{us} و λ^{s} به ترتیب سطح تابش بر روی پنل های بدون سایه و سایه‌دار می‌باشد.

روابط (۲) و (۳) تنها برای دو سطح تابش توزیع‌شده بر روی پنل های سری شده PV معتبر است. درنتیجه روابط (۲) و (۳) برای سطح تابش‌های بیشتر گسترش داده می‌شود و مدل ریاضی عمومی برای n پنل سری در یک سیستم PV به‌صورت روابط (۴) و (۵) و (۶) می‌باشد[۵].

$$V_{Pv}=\sum\frac{AKTn_s^{us}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda^{un}-I_{pv}}{I_o}\right) \qquad I_{pv}>I_{Nstep} \qquad (۴)$$

$$V_{Pv}=\sum\frac{AKTn_s^{us}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda^{un}-I_{pv}}{I_o}\right)+\frac{AKTn_s^{s1}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda^{s}-I_{pv}}{I_o}\right) \qquad I_{1step}<I_{pv}<I_{2step} \qquad (۵)$$

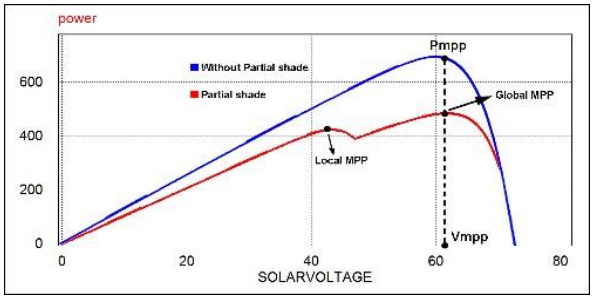
$$V_{Pv}=\sum\frac{AKTn_s^{us}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda-I_{pv}}{I_o}\right)+\frac{AKTn_s^{s1}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda^{s1}-I_{pv}}{I_o}\right)+\ldots+\frac{AKTn_s^{sN}}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}.\lambda^{sN}-I_{pv}}{I_o}\right) \qquad I_{pv}<I_{1step} \qquad (۶)$$

بطوریکه n_s^{sN} پنل های سایه‌دار PV با بالاترین سطح تابش و λ^{sN} بالاترین سطح تابش است و متغیر N تعداد سطح‌های تابش توزیع‌شده است.

۴- الگوریتم پیشنهادی

همواره دستیابی به یک الگوریتم ردیابی بیشینه توان سلول خورشیدی تحت رخداد سایه جزئی مطلوب است. الگوریتم‌های مشاهده و دنبال کردن و ولتاژ ثابت به دلیل سادگی، ارزان‌قیمت بودن و عدم وابستگی الگوریتم به پارامترهای محیطی مانند دما و تابش از روش‌های محبوب می‌باشند. سرعت ردیابی الگوریتم مشاهده و دنبال کردن پایین است اما نقطه بیشینه توان تولیدی را با دقت بالا پیدا می‌کند، درحالی‌که سرعت ردیابی الگوریتم ولتاژ ثابت بالا اما دقت آن پایین است. ایده پیشنهادی بر اساس بهره‌گیری از روش‌های مشاهده و دنبال کردن و ولتاژ ثابت است که نقطه بیشینه توان در شرایط سایه جزئی با دقت و سرعت‌بالا ردیابی گردد.

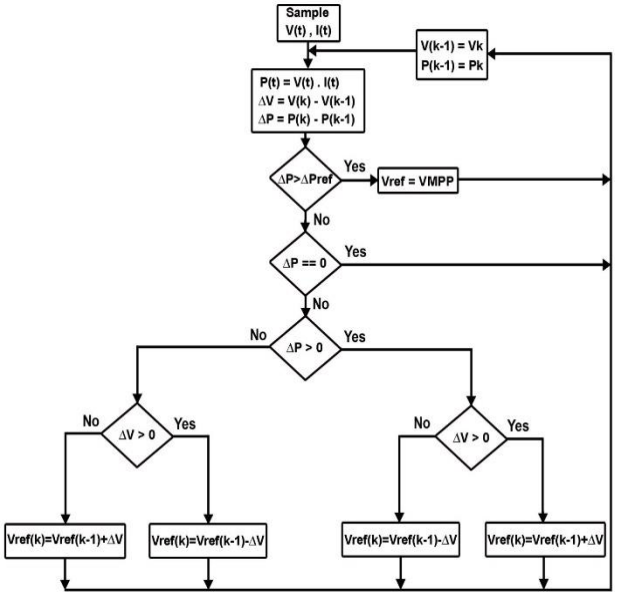
«شکل۹» نمودار توان-ولتاژ ارائه خورشیدی تحت شرایط سایه جزئی و بدون سایه را نشان می‌دهد به‌طوری‌که منطبق بر هم رسم شده‌اند .



شکل ۹: نمودار توان-ولتاژ سیستم PV تحت سایه و بدون سایه.

همان‌طوری که در «شکل۹» مشاهده می‌گردد با تغییر تابش و ورود به شرایط سایه جزئی تغییر چندانی در ولتاژ ارائه خورشیدی ایجاد نمی‌شود، به همین منظور در شرایط سایه جزئی می‌توان از روش ولتاژ ثابت برای تخمین نقطه بیشینه توان استفاده نمود. الگوریتم پیشنهادی در «شکل۱۰» آمده است.

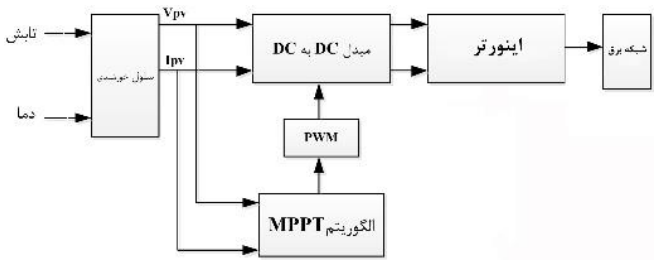
اساس الگوریتم پیشنهادی بدین‌صورت است که چنانچه تغییرات توان از میزان تغییرات مرجع کمتر باشد یعنی شرایط بدون سایه جزئی بوده و سایه قابل‌ملاحظه‌ای وجود ندارد و ردیابی بیشینه توان توسط الگوریتم مشاهده و دنبال کردن انجام می‌گردد و اگر تغییرات توان از میزان تغییرات مرجع بیشتر باشد، حالت سایه جزئی رخداده که الگوریتم به روش ولتاژ ثابت سریعاً با ثابت نگاه‌داشتن ولتاژ خروجی ارائه خورشیدی، نقطه کار آن را در نزدیکی نقطه بیشینه‌ی توان تثبیت می‌نماید. پس از تثبیت ولتاژ سلول خورشیدی حول نقطه بیشینه توان، الگوریتم مشاهده و دنبال‌روی نقطه کار ارائه خورشیدی را به‌دقت به نقطه بیشینه توان می‌رساند. در این روش نیازی به جاروب کامل منحنی توان-ولتاژ ارائه خورشیدی نیست. هم‌چنین تخمین نقطه بیشینه توان به‌سرعت انجام می‌شود.



شکل ۱۰: الگوریتم پیشنهادی.

۵- ساختار سامانه ولتاژ خورشیدی متصل به شبکه

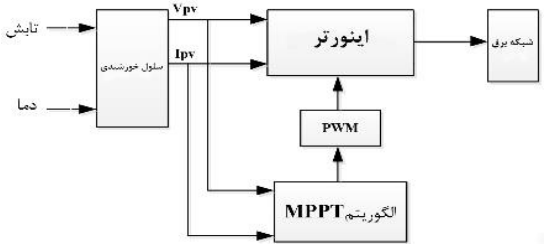
اغلب سامانه‌های ولتاژ خورشیدی شامل یک مبدل افزاینده DC و یک انورتر متصل به شبکه است «شکل۱۱». در این ساختار وظیفه ردیابی نقطه بیشینه توان و هم‌چنین تنظیم ولتاژ DC در ورودی انورتر متصل به شبکه بر عهده مبدل افزاینده DC می‌باشد.



شکل ۱۱: سامانه ولتاژ خورشیدی با مبدل افزاینده DC.

با افزایش توان خروجی و با چیدمان مناسب سلول‌های خورشیدی می‌توان به سطح مناسب ولتاژ برای ورودی انورتر متصل به شبکه دست‌یافت. بنابراین در این شرایط

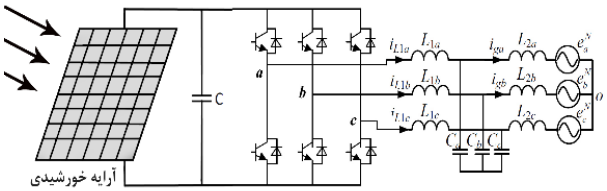
(توان‌های بزرگ‌تر از 20Kw) مبدل افزاینده DC حذف می‌شود تا بازده سیستم افزایش یابد. طبق «شکل۱۲» در این ساختار وظیفه ردیابی بیشینه توان بر عهده انورتر متصل به شبکه است.



شکل ۱۲: سامانه ولتاژ خورشیدی بدون مبدل افزاینده DC.

در این نوع از سامانه‌های ولتاژ خورشیدی، ولتاژ DC در ورودی انورتر نباید از محدوده تعیین‌شده کوچک‌تر شود. زیرا عملکرد انورتر متصل به شبکه مختل خواهد شد. بنابراین در این نوع از سامانه ولتاژ خورشیدی امکان جاروب کامل منحنی توان-ولتاژ ارائه خورشیدی برای یافتن قله بیشینه توان واقعی وجود ندارد.

«شکل۱۳» شماتیک یک انورتر سه فاز متصل به شبکه با فیلتر LCL مدنظر این مقاله را نشان می‌دهد.

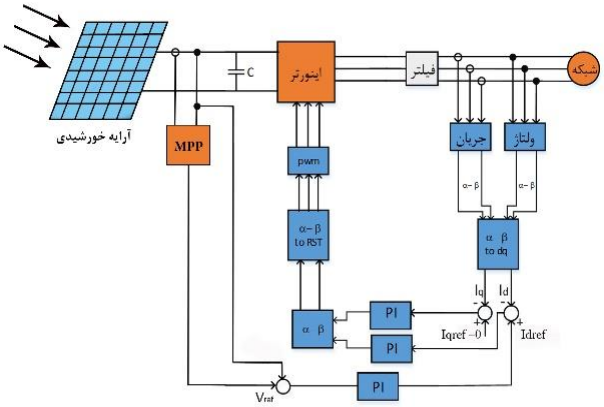


شکل ۱۳: سامانه ولتاژ خورشیدی بر روی انورتر متصل به شبکه سه فاز با فیلتر LCL.

فیلتر LCL از حساسیت‌های کمتری نسبت به پارامترهای شبکه برخوردار است. جهت طراحی مناسب پارامترهای این نوع فیلتر، در نظر گرفتن عواملی چون ضربان جریان خروجی انورتر، تغییرات توان غیرفعال خازن و نسبت القاگر طرف شبکه به انورتر، بسیار مهم است. مزیت فیلتر LCL نسبت به فیلتر L این است که در حجم بسیار کوچک‌تر هارمونی فرکانس‌های کلیدزنی را به‌خوبی تضعیف و خواسته‌های استانداردهای متداول را رعایت می‌کند[۷].

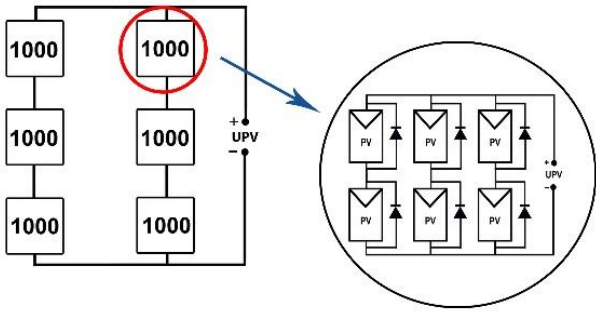
۶- نتایج شبیه‌سازی

الگوریتم پیشنهادشده برای یک سامانه ولتاژ خورشیدی 20Kw شبیه‌سازی‌شده است. بلوک دیاگرام سامانه در «شکل۱۴» آمده است. شبیه‌سازی در نرم‌افزار PSIM انجام‌شده و برای ارائه خورشیدی از سلول‌های پلی‌کریستالین استفاده‌شده است.



شکل ۱۴: ساختار کنترلی پیشنهادی.

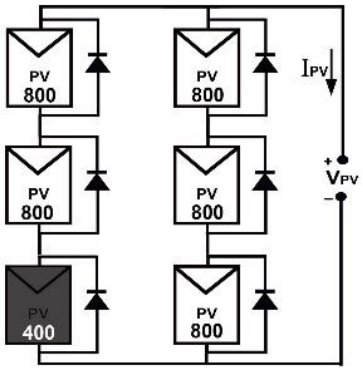
ارائه خورشیدی در این شبیه‌سازی شامل ۶ بلوک است که در هر بلوک نیز از ۶ سلول خورشیدی بااتصال سری-موازی استفاده‌شده است «شکل۱۵». همانگونه که پیش‌تر بیان شد فیلتر خروجی انورتر، از نوع LCL است تا به‌خوبی هارمونی‌های فرکانس کلیدزنی در محدوده موردنظر استاندارد تضعیف نماید.



شکل ۱۵: چیدمان ارائه خورشیدی.

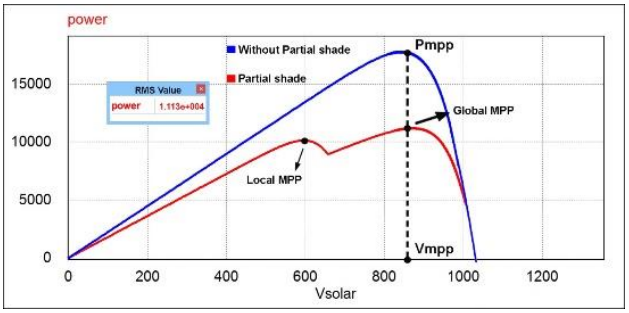
شبیه‌سازی برای دو حالت مختلف سایه جزئی اجرا و نتایج بررسی‌شده است.

شبیه‌سازی اول طبق تابش‌های مشخص‌شده پنل‌های «شکل۱۶»، انجام‌شده است. نمودار توان-ولتاژ این شبیه‌سازی در «شکل۱۷» آمده است.



شکل ۱۶: رخداد سایه جزئی شبیه‌سازی اول

.



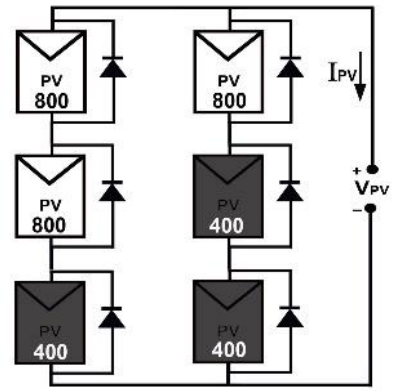
شکل ۱۷: نمودار توان-ولتاژ سیستم PV شبیه‌سازی اول.

با توجه به نوع تابش در این شبیه‌سازی، منحنی توان-ولتاژ دارای دو قله است. نتایج شبیه‌سازی «جدول ۱» نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی به‌خوبی قله اصلی را تخمین زده است.

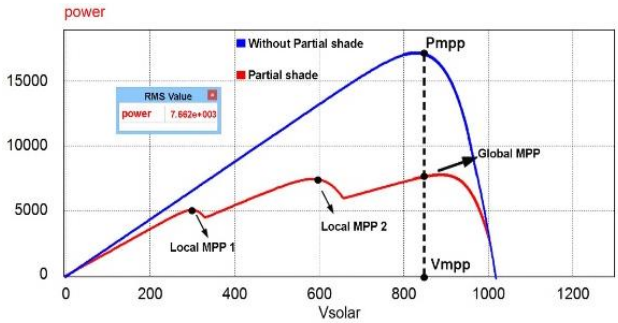
جدول ۱: توان قله‌های ماکزیمم و توان ردیابی شده شبیه‌سازی اول.

توان ماکزیمم قله فرعی	توان ماکزیمم قله اصلی	توان ردیابی شده
10000w	11200w	11130w

شبیه‌سازی دوم طبق تابش‌های مشخص‌شده «شکل۱۸» انجام‌شده است. نمودار توان-ولتاژ این شبیه‌سازی در «شکل۱۹» آمده است.



شکل ۱۸: رخداد سایه جزئی شبیه‌سازی دوم.



شکل ۱۹: نمودار توان-ولتاژ سیستم PV شبیه‌سازی دوم.

با توجه به نوع تابش در این شبیه‌سازی، منحنی توان-ولتاژ دارای سه قله است. نتایج شبیه‌سازی «جدول ۲» نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی به‌خوبی قله اصلی را تخمین زده است.

جدول ۲: توان قله‌های ماکزیمم و توان ردیابی شده شبیه‌سازی دوم.

توان ماکزیمم قله فرعی اول	توان ماکزیمم قله فرعی دوم	توان ماکزیمم قله اصلی	توان ردیابی شده
۵۰۰۰w	۷۵۰۰w	۷۸۵۰w	۷۶۶۲w

برای صحت سنجی الگوریتم پیشنهادی یک نمونه آزمایشگاهی با توان نامی 100w طبق شکل «شکل۲۵» پیاده‌سازی شده است.



شکل ۲۰: سیستم سامانه ولتاژ خورشیدی پیاده‌سازی شده در آزمایشگاه.

مشخصات این انورتر در «جدول ۳» و سلول خورشیدی متصل به آن در «جدول ۴» آمده است.

جدول ۳: پارامترهای طراحی مبدل DC به AC.

پارامتر طراحی	اندازه
توان ورودی انورتر	100W
ولتاژ خطDC	20V
فرکانس کلیدزنی	10KHz
ولتاژ شبکه	8V
ظرفیت خازن فیلتر	220nF
اندازه‌ی القاگر طرف انورتر	300µH
اندازه‌ی القاگر طرف شبکه	300µH

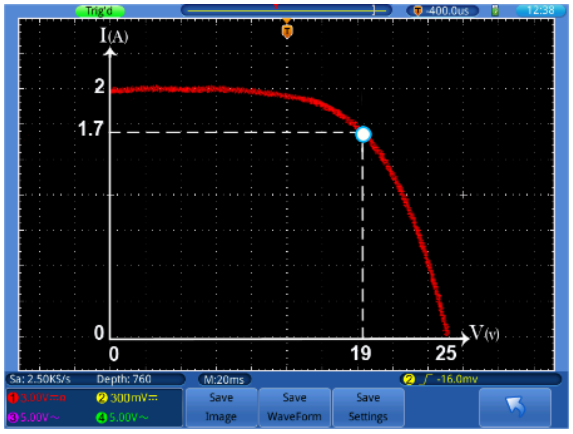
جدول ۴: مشخصات پنل خورشیدی.

پارامتر	نماد	اندازه
بیشینه توان نامی	P_{MPP}	۱۰۰W
ولتاژ در بیشینه توان	V_{MPP}	۲۰,۴۵V
جریان در بیشینه توان	I_{MPP}	۴,۸۹A
ولتاژ مدارباز	V_{OC}	۲۵V
جریان اتصال کوتاه	I_{SC}	۵,۱۹A
ضریب دمایی جریان	$\alpha I_{SC}(\%/^{\circ}C)$	+۰,۰۲۴
ضریب دمایی ولتاژ	$\beta V_{OC}(\%/^{\circ}C)$	-۰,۳۵۶

برای بررسی صحت عملکرد سیستم ابتدا منحنی مشخصه ارائه خورشیدی در شرایط تابش کامل و تابش با سایه جزئی استخراج‌شده است.

۷- نتایج آزمایشگاهی

در «شکل۲۱» منحنی جریان-ولتاژ برای شرایط تابش کامل داده‌شده است. با توجه به تابش موجود بیشینه توان به‌دست‌آمده حدود 32w بوده است.



شکل ۲۱: نمودار جریان- ولتاژ سلول خورشیدی در شرایط تابش کامل.

در این شرایط نمودار جریان- ولتاژ سلول خورشیدی دارای یک قله ماکزیمم می‌باشد.
آزمایش دوم طبق «شکل۲۲» بخشی از پنل خورشیدی تحت سایه قرارگرفته است.



شکل ۲۲: پنل خورشیدی تحت رخداد سایه جزئی.

در «شکل۲۳» منحنی جریان-ولتاژ برای شرایط تابش با سایه جزئی داده‌شده است.



شکل ۲۳: نمودار جریان- ولتاژ سلول خورشیدی تحت رخداد سایه جزئی.

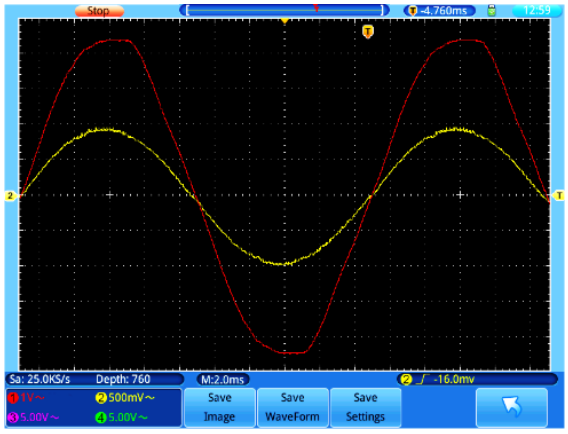
در این شرایط نمودار جریان- ولتاژ سلول خورشیدی دارای دو قله ماکزیمم می‌باشد. این آزمایش نیز یک‌بار توسط الگوریتم مشاهده و دنبال کردن و یک‌بار توسط الگوریتم پیشنهادی تکرار شده است که نتایج آن طبق «جدول ۵» می‌باشد.

جدول ۵: نتایج حاصل از آزمایش دوم.

نوع الگوریتم	ولتاژ	جریان	توان دریافتی
مشاهده و دنبال کردن	15.38v	1.58A	24.30W
الگوریتم پیشنهادی	18.96v	1.43A	27.11W

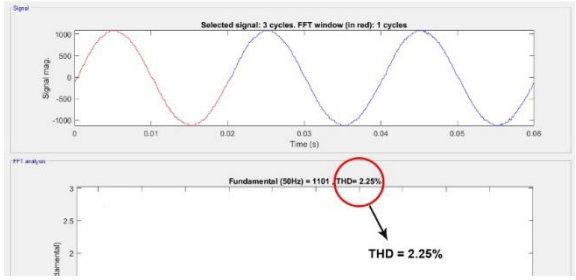
با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نکته مهمی که مشخص می‌گردد، ناتوان بودن الگوریتم مشاهده و دنبال کردن در ردیابی بیشینه توان سلول خورشیدی تحت رخداد سایه جزئی می‌باشد به‌طوری‌که در قله فرعی می‌ماند و نقطه کار همان قله را به سیستم معرفی می‌کند اما الگوریتم پیشنهادی قله اصلی که قله ماکزیمم توان است را ردیابی می‌کند. این آزمایش به‌خوبی صحت الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

«شکل۲۴» ولتاژ و جریان شبکه را منطبق بر هم نشان می‌دهد که کاملاً هم‌فاز می‌باشند.



شکل ۲۴: شکل موج ولتاژ و جریان شبکه.

THD جریان تزریق‌شده به شبکه طبق استاندارد IEEE1547 در فرکانس 50Hz باید کمتر از ۵% باشد که در «شکل۲۵» میزان THD جریان از خروجی اسیلوسکوپ توسط نرم‌افزار متلب به مقدار ۲,۲۵% به‌دست‌آمده که خواسته استاندارد نیز به‌درستی برآورده شده است.



شکل ۲۵: THD جریان تزریق‌شده به شبکه.

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید MPPT برای ردیابی بیشینه توان سلول خورشیدی تحت رخداد سایه جزئی ارائه‌شده است. در روش پیشنهادی با استفاده از اطلاعات تابشی ابتدا

شرط رخداد سایه جزئی بررسی می‌گردد. در صورت ورود به حالت سایه جزئی، کنترل‌کننده با تثبیت ولتاژ خروجی سلول خورشیدی، نقطه کار سلول خورشیدی را نزدیک به نقطه بیشینه توان قرار می‌دهد. سپس الگوریتم مشاهده و دنبال‌روی، دقیقاً نقطه کار را به نقطه بیشینه توان می‌رساند. ازجمله مزایای این روش این است که با تخمین ولتاژ عملکرد بهینه ، نقطه کار به نزدیکی نقطه ماکزیمم توان اصلی انتقال داده می‌شود، بنابراین الگوریتم نیاز ندارد کل نمودار توان-ولتاژ سلول خورشیدی را جاروب کند. زیرا جاروب کل منحنی توان-ولتاژ سبب نوسانات در خروجی سیستم می‌شود. هم‌چنین برای این کار سامانه ولتاژ خورشیدی باید مجهز به یک افزاینده DC باشد. در الگوریتم پیشنهادی الزامی برای استفاده از افزاینده DC در سامانه ولتاژ خورشیدی وجود ندارد. بنابراین در توان‌های بزرگ با حذف مبدل افزاینده DC و اتصال مستقیم سلول خورشیدی به ورودی انورتر متصل به شبکه، بازده سامانه افزایش می‌یابد.

الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های مختلف در مقالات معتبر در شرایط سایه جزئی طبق «جدول ۶» مقایسه شده است.

جدول ۶: مقایسه نتایج حاصل از روش پیشنهادی با سایر مقالات.

سال انتشار	الگوریتم	هزینه	پیچیدگی	بازده	سرعت
۲۰۱۲	تغییرات ولتاژ و جریان[۱۰]	زیاد	متوسط	%۹۹	۱۵ms
۲۰۱۲	تغییرات جریان به جریان[۹,۸]	زیاد	متوسط	%۹۹	۱۴ms
۲۰۱۲	تغییرات توان و تغییرات جریان[۱۱]	زیاد	زیاد	%۹۹	۱۰ms
	الگوریتم پیشنهادی	کم	کم	%۹۹	۷ms

همان‌گونه که در «جدول ۶» مشاهده می‌گردد، علاوه بر سرعت و بازده بالا الگوریتم پیشنهادی، هزینه پیاده‌سازی و پیچیدگی آن نیز بسیار کم می‌باشد. این الگوریتم جدید در یک نمونه آزمایشگاهی با توان نامی ۱۰۰w آزمایش‌شده است. این نمونه آزمایشگاهی شامل یک انورتر سه فاز با فیلتر خروجی LCL بدون مبدل افزاینده DC است.

1-Petrub and Observe Algorithm (P&O)
2- Incremental Conductance(IC)
3- Constant Voltage (CV)
4- Fractional Open Circuit Voltage (Fractional V_{oc})
5-Fuzzy Logic
6- Maximum Power Point Tracking
7- hot spot
8- Boost
9- Maximum Power \point
10- Maximum Power Point Tracking

۹- مراجع

[1] D. S. Sun, B. M. Ge, X. Y. Yan, D. Q. Bi, H. Zhang, Y. S. Liu, A. B. H,B. B. L, and F. Z. Peng, "Modeling, impedance design, and efficiencyanalysis of quasi-Z source module in power cascaded multilevel photovoltaic system," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 11, pp.6108-6117, Nov. 2014.

[2] E. Mamarelis, G. Petrone, and G. sliding-mode- Spagnuolo, "Design of a controlled SEPIC for PV MPPT applications," Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 7, pp. IEEE 3387-3398, Jul. 2014.

[3] Femia N, Granozio D, Petrone G, adaptive Spagnuolo G, Vitelli M. "Predictive & MPPT perturb and observe method", IEEE Aerospace and Electronic Transactions on Systems, pp. 934-950, 2007.

[4] Houssamo I, Locment F, Sechilariu M. photovoltaic "Maximum power tracking for power system", Development and experimental of two algorithms. Renewable comparison Energy, pp. 2381-2387, 2010.

[5] Bader N. Alajmi, Khaled H. Ahmed, Stephen J. Finney, and Barry W. Point Williams,2013. " A Maximum Power Tracking Technique for Partially Shaded Photovoltaic Systems in Microgrids". IEEE

Industrial Electronics VOL. 60, Transaction on NO. 4 .

[6] Murat ÜNLÜ, Sabri ÇAMUR, A New Maximum Power Point Tracking Method for PV Systems under Partially Shaded Conditions, 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, Istanbul, Turkey, 13-17 May 2013

[7] Xing Wei, L.X., Zhilei Yao and Chunying Gong, Design of LCL Filter for Wind Power Inverter. Department of Aero-Power Sci-tech Center, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016, China, 2010.

[8]Berkouk, D.L.n.A.A.M.n.A.N.L.n.A.B.M.n.A.E.M., Input output feedback linearization control and variable step size MPPT algorithm of a grid-connected photovoltaic inverter. Renewable Energy, 2011.

[9] A. Kouchaki1, H. Iman-Eini2, B. Asaei, Maximum Power Point Tracking Algorithm Based on I-V Characteristic of PV Array under Uniform and Non-Uniform Conditions,2012IEEE International Conference,2012 malaysia.

[10]Young-Hyok Ji Doo-Yong Jung Chung-Yuen Won Byoung-Kuk Lee Jin-Wook Kim Maximum Power Point Tracking Method for PV Array under Partially Shaded Condition, 2012IEEE International Conference,2012 malaysia.

[11]Kashif Ishaque, Zainal Salam, An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)–Based MPPT for PV With Reduced Steady-State Oscillation, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 27, NO. 8, AUGUST 2012

[12]L. M. Dezso Sera, Tamas Kerekes, Sergiu Viorel Spataru, and Remus Teodorescu, "On the Perturb-and-Observe and Incremental Conductance MPPT Methods for PV Systems," IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS, vol. 3, p. 9, JULY 2013 2013.

[13]A. L. Enrico Dallago, Davide Miotti,Giuseppe Venchi, "Direct MPPT algorithm for PV sources with only voltage measurements," IEEE Transactions on Power Electronics, p. 9, 2015.

[14]S. L. R. Faranda, "Energy comparison of MPPT techniques for PV systems," WSEAS Trans., vol. 3, p. 2, Jun 2008.

[15]P. L. C. Trishan Esram, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," IEEE TRANSACTIONS ENERGY CONVERSION, vol. 22, p. 11, 2007.

[16] A. Messai, A.M., A. Guessoum, S.A. Kalogirou, Maximum power point tracking using a GA optimized fuzzy logic controller and its FPGA implementation. ELSEVIER, 2010: p.13.

محاسبه تلفات ترانسفورماتور قدرت با استفاده از روش اجزای محدود

نویسندگان: آرمان آذرخش-
سیدمحمدتقی بطحایی- bathaee@kntu.ac.ir

چکیده: در این مقاله شبیه‌سازی سه‌بعدی ترانسفورماتور قدرت و محاسبه‌ی تلفات آن به طور کامل بررسی خواهد شد. بدین منظور ابتدا در مورد اهمیت بررسی تلفات یک ترانسفورماتور به طور خلاصه توضیح داده خواهد شد. در ادامه انواع تلفات موجود در ترانسفورماتور بررسی شده و توضیح مختصری در مورد هر کدام داده خواهد شد. سپس تلفات ترانسفورماتور با استفاده از روش اجزاء محدود سه‌بعدی محاسبه خواهد شد. تحلیل اجزاء محدود (FEM) دستیابی به‌دقت بالا، بدون فرض‌های زیاد را ممکن می‌سازد. در انتها تلفات بی باری و بارداری ترانسفورماتور با استفاده از روش اجزای محاسبه شده و نتایج مربوط به هر کدام ارائه خواهد شد.

کلید واژه: ترانسفورماتور قدرت، تلفات ، چگالی شار، روش اجزاء محدود

۱- مقدمه

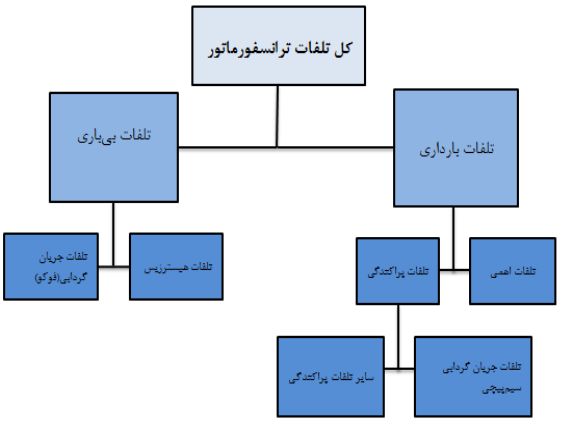
ترانسفورماتورهای قدرت یکی از گران‌ترین قطعات در سیستم قدرت می‌باشند، به همین دلیل راندمان و استفاده بهینه ازاین‌گونه تجهیزات بسیار حائز اهمیت است. دمای نقطه‌ی داغ ترانسفورماتور و حرارت ترانسفورماتور نیز مستقیماً به دمای محیط و نحوه بارگیری از ترانسفورماتور بستگی دارد. از طرفی دمای نقطه‌ی داغ ترانسفورماتور یکی از پارامترهای مهم و کلیدی در تعیین عمر عایقی می‌باشد. به همین دلیل داشتن مدل حرارتی ترانسفورماتور و تعیین دمای نقاط مختلف آن، تحت شرایط کاری متفاوت، جهت تحلیل عمر مفید ترانسفورماتور و همچنین بارگیری و استفاده بهینه از آن لازم و ضروری است. از طرفی تلفات هر ماشین الکتریکی، منابع تولید گرما در آن می‌باشند.

امروزه با توجه به رشد فزاینده قیمت مواد مصرفی مورد استفاده در ترانسفورماتورها نظیر مس و مواد عایقی، این تجهیز به‌عنوان یکی از تجهیزات بسیار گران‌قیمت شبکه قدرت بشمار آمده و درصد قابل‌توجهی از هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین، یکی از عوامل مؤثر در هزینهٔ مالکیت ۱۸ ترانسفورماتورها، بررسی و ارزیابی میزان تلفات آن‌ها می‌باشد. لذا، توجهات به سمت خرید ترانسفورماتورهایی با اتلاف کمتر جلب شده است[۱] و مطالعه و ارزیابی مسائل مرتبط با تلفات آن، موضوع بسیاری از پژوهش‌ها بوده است. تلفات ترانسفورماتورها، معمولاً به دودستهٔ عمده " تلفات بارداری[۱] " و " تلفات بی‌باری[۲] " تقسیم می‌شوند که در رابطه‌ی ۱ نشان داده‌شده است. در این رابطه، P_{LL} تلفات بارداری، P_{NL} تلفات بی‌باری و P_T تلفات کل ترانسفورماتور است. تقسیم‌بندی تلفات ترانسفورماتور در شکل (۱) نشان داده‌شده است[۲] ، [۳].

تلفات بارداری یا امپدانسی، مربوط به جریان‌های بارداری بوده و شامل تلفات اهمی در هادی‌ها، تلفات جریان گردابی در سیم‌پیچ‌ها ناشی از شار نشتی متناوب و سایر تلفات پراکندگی ناشی از جریان‌های گردابی در تمام هادی‌های موجود در ساختار ترانسفورماتور می‌باشد.

هنگامی‌که ترانسفورماتور به‌صورت بی‌بار به شبکه متصل شود، مقداری تلفات خواهد داشت. این تلفات، به تلفات بی‌باری موسوم است. اندازه‌گیری‌های مختلف نشان می‌دهند که تلفات بی‌باری شامل تلفات هیسترزیس، تلفات جریان گردابی در ورقه‌های هسته، تلفات اهمی در سیم‌پیچی ناشی از جریان بی‌باری، تلفات پراکندگی در کلمپ‌های هسته و سایر ساختارهای فلزی، تلفات حاصل از شار بین‌ورقه‌ای (شار عبوری از یک ورقه به ورقهٔ دیگر) و درنهایت تلفات دی‌الکتریک می‌باشد[۴].

$$P_T = P_{LL} + P_{NL} \qquad (۱)$$



شکل۱- انواع تلفات در ترانسفورماتور

در این مقاله ابتدا به ترانسفورماتور و اهمیت بررسی تلفات در آن پرداخته خواهد شد. در بخش دوم انواع تلفات در این ترانسفورماتورها بررسی خواهد شد. در بخش سوم شبیه‌سازی یک نمونه ترانسفورماتور و محاسبه‌ی تلفات آن با استفاده از روش اجزای محدود محاسبه‌شده و بررسی خواهند شد. و در انتها نتیجه‌گیری بیان خواهد شد.

۲- انواع تلفات در ترانسفورماتور

تلفات مرسوم در یک ترانسفورماتور در شکل (۱) نشان داده‌شده است. در این بخش به بررسی این تلفات می‌پردازیم.

۲-۱- تلفات اهمی

وقتی ترانسفورماتور زیر بار قرار می‌گیرد، در سیم‌پیچ‌های آن جریان جاری می‌شود و تلفاتی متناسب با (RI^2) در هر یک از سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه به گرما تبدیل می‌شود. به مقدار انرژی الکتریکی که در واحد زمان در سیم‌پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتور و براثر مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌ها به گرما تبدیل می‌شود، تلفات اهمی سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور می‌گویند. و ازآنجاکه غالباً جنس سیم‌پیچ‌ها مسی است، به این تلفات، تلفات مسی نیز گفته می‌شود. تلفات اهمی از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید که در این رابطه R مقاومت DC سیم‌پیچ (Ω) و I مقدار مؤثر (rms) جریان عبوری (A) از سیم‌پیچی است.

$$P_{cu} = \mathrm{R}I^2 \qquad (۲)$$

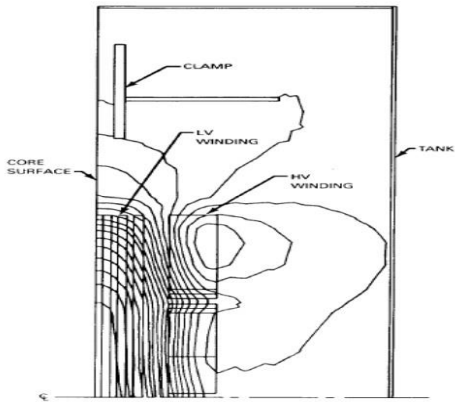
در ترانسفورماتور سه فاز تلفات مسی از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود.

$$P_{cu-T} = P_{cu-Hv} + P_{cu-Lv} = ۳\times R_{Hv}{I_{Hv}}^{۲} + ۳\times R_{Lv}{I_{Lv}}^{۲} \qquad (۳)$$

در رابطهٔ فوق، I_{Hv} و I_{Lv} به ترتیب جریان‌های اولیه و ثانویه بوده و R_{Hv} و R_{Lv} به ترتیب مقاومت‌های اهمی سمت اولیه و ثانویه هستند.

۲-۲- تلفات جریان گردابی در سیم‌پیچ‌ها

سیم‌پیچ‌های فشارقوی و ضعیف ترانسفورماتور به‌صورت استوانه‌های هم‌محور حول ستون‌های هسته قرار می‌گیرند. ستون‌های هسته به‌صورت عمودی و اجزای یوغ هسته به‌صورت افقی، مدار مغناطیسی هسته را تشکیل می‌دهند. در قسمت‌های بالا و پایین یوغ، معمولاً ساختارهای گیرهای از جنس مواد عایقی یا فلزی برای محکم کردن ورقه‌های هسته وجود دارند. همچنین ترانسفورماتورهای روغنی، شامل یک تانک فولادی بوده درحالی‌که ترانسفورماتورهای نوع خشک شامل یک حفاظ فلزی ساده‌تر می‌باشند. هرگاه جریان متناوب از سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور عبور کند، شار و شار دور ایجادشده و هر هادی از طریق یک میدان مغناطیسی متناوب که شدت آن با دامنهٔ جریان نسبت مستقیم دارد احاطه می‌گردد. در شکل (۲) برش سطح مقطع عرضی از هسته، سیم‌پیچی‌ها، کلمپ و تانک ترانسفورماتور نشان داده‌شده است[۵].



شکل۲- میدان الکترومغناطیسی تولیدشده در ترانسفورماتور

تلفات جریان گردابی در سیم‌پیچ‌ها از رابطه‌ی (۴) به دست می‌آید.

$$P_{EC} = \frac{\pi\tau^2\mu^2}{3\rho} f^2 H^2 \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، τ پهنای هادی عمود بر خطوط میدان(m) و ρ مقاومت مخصوص هادی(Ω.m)، H شدت میدان مغناطیسی(A/m)، f فرکانس (Hz) و μ ضریب نفوذپذیری مغناطیسی($N.A^{-2}$) می‌باشد[۶].

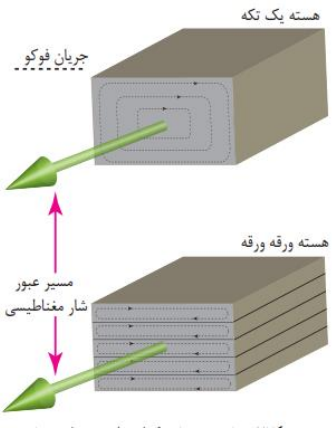
۲-۳- سایر تلفات پراکندگی

هنگامی‌که شار الکترومغناطیسی متغیر با زمان، یک فلز را در بربگیرد، در آن ولتاژ القا کرده و سپس، جریان گردابی به وجود می‌آورد. این جریان، تلفات ایجاد کرده و درنتیجه موجب افزایش دما و حرارت می‌شود. در اثر عبور جریان از سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور، شار مغناطیسی درون‌هسته ایجاد می‌شود؛ اما ازآنجایی‌که نفوذپذیری ورقه‌های هسته بی‌نهایت نیست لذا برخی خطوط شار در مسیری خارج از هسته بسته می‌شوند. این خطوط شار، ساختارهای فلزی ترانسفورماتور را قطع نموده و در آن‌ها ایجاد جریان گردابی و تلفات می‌نمایند. به‌طورکلی، تلفات جریان گردابی را که در بخش‌های فلزی و ساختاری ترانسفورماتور به‌غیراز سیم‌پیچ‌ها ایجاد می‌گردد را سایر تلفات پراکندگی می‌نامند. این تلفات در تانک، مخزن، کلمپ‌ها و سایر قسمت‌های فلزی به وجود می‌آید. سایر تلفات پراکندگی تابعی از شکل و حجم فیزیکی هسته، قدرت خروجی و کلاس ولتاژ ترانسفورماتور، جنس مواد مورد استفاده در ساخت تانک و غیره است.

۲-۴- تلفات هسته

به مجموع تلفات هیسترزیس و فوکو، تلفات هسته ترانسفورماتور گویند و ازآنجاکه هر ترانسفورماتور در یک ولتاژ نامی و فرکانس نامی به کار گرفته می‌شود؛ بنابراین تلفات هسته ثابت خواهد بود. از طرفی چون جنس هسته ترانسفورماتور از ترکیبات آهنی است، به تلفات هسته(۵) تلفات آهنی نیز گفته می‌شود. به‌دلیل ثابت بودن تلفات هسته ترانسفورماتور در محاسبات آن را به‌عنوان تلفات ثابت ترانسفورماتور در نظر می‌گیرند.. میزان تلفات هیسترزیس به مشخصهٔ B-H هسته بستگی دارد. به‌طوری‌که میزان آن به این‌که در طی یک سیکل کامل جریان، چه میزان انرژی به سیستم روانه و سپس به منبع بازمی‌گردد، وابسته است. البته انرژی ورودی به سیستم همواره بیشتر از انرژی برگشتی به منبع است. لذا در یک سیکل کامل جریان، مقداری انرژی در هسته به‌صورت گرما تلف‌شده و سبب افزایش دمای آن می‌گردد مساحت داخل حلقهٔ هیسترزیس بیانگر کار انجام‌شده به‌وسیلهٔ میدان اعمال‌شده می‌باشد.

با عبور شار مغناطیسی از هسته، در هسته ترانسفورماتور نیز نیروی محرکه القاء می‌شود و چون هسته ترانسفورماتور هادی است، لذا جریان الکتریکی در آن القا می‌شود. مسیر حرکت جریان القایی هسته عمود بر مسیر عبور شار و مانند گرداب در مقطع هسته می‌باشد به همین خاطر آن را جریان گردابی[۳] می‌گویند. برش مقطعی از یک هسته و مسیر جریان گردابی در شکل (۳) نشان داده‌شده است. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود با ورقه ورقه کردن هسته و عایق کردن آن‌ها از یکدیگر مقاومت الکتریکی هسته را افزایش می‌دهند تا تلفات فوکو کاهش یابد.



شکل۳- نمایش عبور جریان گردابی از مقطع هسته‌ی ترانسفورماتور

در این مقاله از روش برتوتی جهت محاسبه‌ی تلفات هسته استفاده‌شده است[۷]. درروش برتوتی تلفات هسته به‌صورت تابعی از چگالی شار ماکزیمم و فرکانس بیان می‌شود. چگالی حجمی تلفات لحظه‌ای هسته از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید

$$dP_V = K_h B_m^2 f K_f + \frac{1}{T}\int_0^T [\sigma \frac{d^2}{12}\left(\frac{\partial B(t)}{\partial t}\right)^2 + K_e \left(\frac{\partial B(t)}{\partial t}\right)^{\frac{3}{2}}] K_f \, dt$$

در این رابطه:

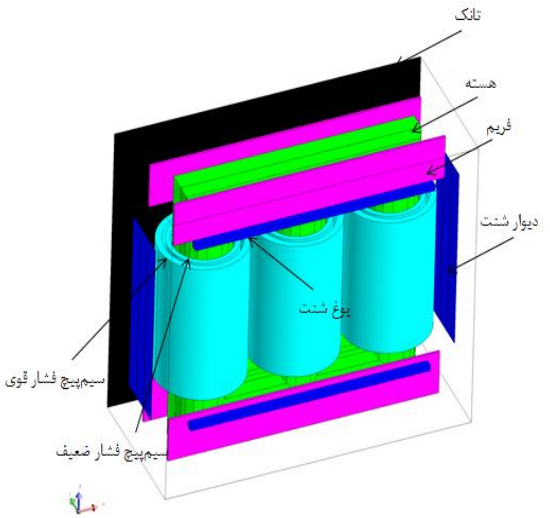
- ✓ K_h ضریب تلفات هیسترزیس $(Ws T^{-2} m^{-3})$
- ✓ K_e ضریب تلفات جریان گردابی $(Ws^{\frac{3}{2}} T^{-\frac{3}{2}} m^{-3})$
- ✓ σ رسانایی (Ωm^{-1})
- ✓ d ضخامت لایه‌ها (m)
- ✓ f فرکانس (Hz)
- ✓ B_mچگالی شار ماکزیمم (T)
- ✓ K_f ضریب پرشدگی (نزدیک ۱)

با انتگرال‌گیری از رابطه (۵) در یک دوره‌ی تناوب چگالی حجمی تلفات هسته مطابق با رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$dPv = \frac{1}{T}\int_o^T dp(t)\,dt \qquad (۶)$$

۳- محاسبه‌ی تلفات یک نمونه ترانسفورماتور با استفاده از روش اجزای محدود

نمایی سه‌بعدی از ترانسفورماتور موردمطالعه به همراه اجزای مختلف آن در شکل (۴) نشان داده‌شده است. مقادیر نامی ترانسفورماتور در جدول (۱) آورده شده است. در این قسمت تحلیل‌های بی‌باری و اتصال کوتاه در یک ترانسفورماتور با استفاده از روش اجزای محدود بررسی‌شده و تلفات مورداشاره در قسمت قبل محاسبه می‌گردد.



شکل۴- مدل سه‌بعدی ترانسفورماتور

جدول ۱- مقادیر نامی ترانسفورماتور

توان نامی	۱۵۰ MVA
فرکانس	۵۰ Hz
ولتاژهای نامی	$\frac{۱۴/۱}{۱۳۲}\ KV$
جریان‌های نامی	$\frac{۳۵۳۷}{۶۵۵}\ A$
تعداد دور سیم‌پیچ اولیه	۴۳۲
تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه	۸۰
مقاومت DC سیم‌پیچ اولیه	۰/۱۸۷۶ Ω
مقاومت DC سیم‌پیچ ثانویه	۰/۰۰۴۹ Ω

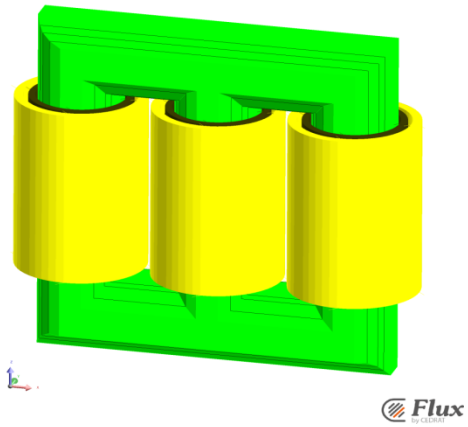
۳-۱- آزمایش بی‌باری

هدف از انجام این آزمایش محاسبه‌ی تلفات هسته است. در این حالت هسته‌ی ترانس و سیم‌پیچ‌ها مدل می‌شوند و از فریم‌ها و یوغ‌ها صرف‌نظر خواهد شد.

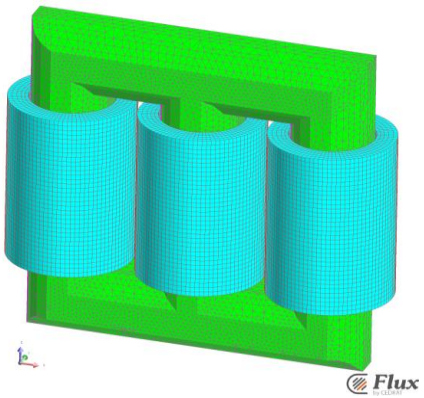
مراحل شبیه‌سازی به‌صورت زیر است:

- ❖ ابتدا ساختار سه‌بعدی از ترانسفورماتور موردنظر مطابق با شکل(۵) در نرم‌افزار کشیده می‌شود.
- ❖ بعد از تعریف قسمت‌های مختلف، ساختار ترانسفورماتور مش‌بندی می‌شود. نمایی سه‌بعدی از مش‌بندی ترانسفورماتور موردمطالعه در شکل(۶) نشان داده‌شده است.
- ❖ در مرحله‌ی بعد مدار الکتریکی متناسب با شرایط بی‌باری تعریف می‌شود. مدار الکتریکی بی‌باری در شکل(۷) نشان داده‌شده است. با توجه به این شکل، سیم‌پیچ‌های فشارقوی به ولتاژ نامی شبکه $\frac{۱۳۲KV}{\sqrt{3}}$ با اختلاف‌فاز ۱۲۰ درجه و سیم‌پیچ‌های فشار ضعیف به مقاومتی با مقدار بزرگ متصل شده‌اند تا جریان بسیار کمی از سیم‌پیچ‌های فشار ضعیف عبور کند.

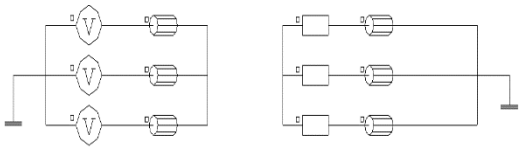
❖ بعد از اتمام مراحل قبل، ترانسفورماتور موردنظر شبیه‌سازی‌شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی استخراج می‌گردند.



شکل۵- ساختار ترانسفورماتور موردمطالعه



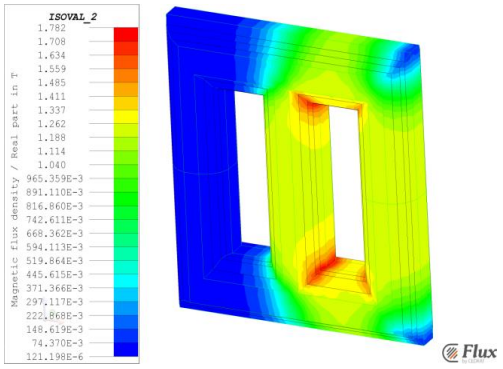
شکل۶- ساختار ترانسفورماتور موردمطالعه



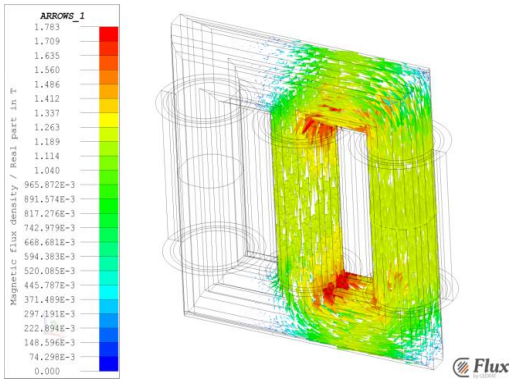
شکل۷- ساختار ترانسفورماتور موردمطالعه

چگالی شار هسته در شکل (۸) نشان داده‌شده است. با توجه به این شکل بیشترین چگالی شار هسته T ۱/۷۸۲ است. علاوه بر این جهت حرکت شار در هسته در یک‌لحظه در شکل (۹) نشان داده‌شده است. با توجه به اینکه اندازه‌ی ولتاژ فاز a در این لحظه صفر می‌باشد، درنتیجه شار عبوری از ستون سمت چپ صفر و شار بین دو ستون دیگر در گردش می‌باشد.

همان‌طور که در بخش قبل گفته شد جهت محاسبه‌ی تلفات هسته از روش برتوتی استفاده می‌شود. درروش برتوتی با در اختیار داشتن ضرایب K_h و K_e تلفات هسته قابل‌محاسبه می‌باشد. ویژگی‌های هسته‌ی مورد استفاده در این ترانسفورماتور در جدول (۲) آورده شده است. با توجه به این مقادیر تلفات هسته W ۳۷۹۰۰ محاسبه‌شده است.



شکل۸- چگالی شار هسته‌ی ترانسفورماتور



شکل۹- جهت حرکت شار در هسته

جدول۲- مقادیر نامی ترانسفورماتور

۱۳/۴	K_h
۰/۲۶۵	K_e
۰/۰۰۰۲۷	d
۴۸۲۲۱۰۰	σ
۰/۹۷	K_f

۳-۲- آزمایش اتصال کوتاه

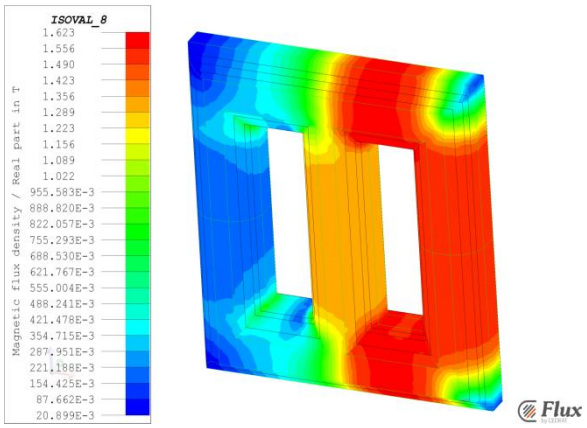
در آزمایش اتصال کوتاه عبور جریان از سیم‌پیچ‌ها و تولید شارهای پراکندگی خارج از هسته، منجر به ایجاد

جریان‌های گردابی در تمام هادی‌های موجود در ساختار ترانسفورماتور می‌شود که به تلفات ناشی از این جریان‌ها تلفات سرگردان می‌گویند. درنتیجه در آزمایش اتصال کوتاه علاوه بر اجزای نشان داده‌شده در شکل (۵) ، قسمت‌های دیگری ازجمله فریم‌ها، یوغ شنت، دیوار شنت و تانک به این شکل اضافه خواهند شد (شکل (۴)) و با توجه به مدار معادل آزمایش اتصال کوتاه تلفات موردنظر در این حالت محاسبه خواهند شد. لازم به ذکر است که تنها راه محاسبه‌ی تلفات شارهای نشتی استفاده از روش اجزای محدود سه‌بعدی است. مراحل شبیه‌سازی مشابه حالت قبل می‌باشد با این تفاوت که در این حالت هرکدام از سیم‌پیچ‌ها

$$P_{cu-Hv} = ۳\times R_{Hv} I_{Hv}{}^{۲} = ۲۴۱/۴ \text{ Kw} \qquad (۷)$$

با جریان نامی تحریک می‌گردند.

چگالی شار هسته در شکل (۱۰) نشان داده‌شده است. با توجه به این شکل بیشترین چگالی شار هسته ۱/۶۲۳ T است.



شکل۱۰- جهت حرکت شار در هسته

۳-۲-۱- تلفات اهمی

تلفات اهمی از رابطه‌ی ۳ به دست می‌آید درنتیجه داریم:

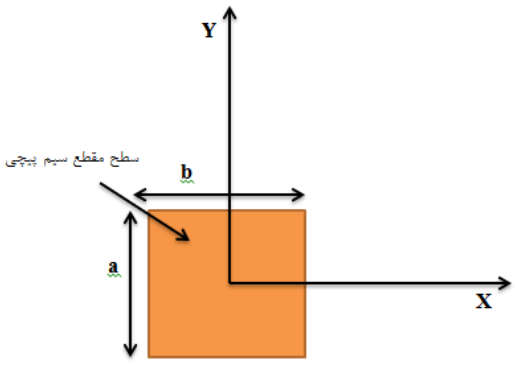
$$P_{cu-Lv} = ۳\times R_{Lv} I_{Lv}{}^{۲} = ۱۸۳/۹ \text{ Kw} \qquad (۸)$$

۳-۲-۲- محاسبه‌ی تلفات جریان گردابی در سیم‌پیچ‌ها

همان‌طور که پیشتر گفته شد، عبور جریان از سیم‌پیچ‌ها و تولید شارهای نشتی خارج از هسته، منجر به ایجاد جریان‌های گردابی در تمام هادی‌های موجود در ساختار ترانسفورماتور می‌شود. به تلفات ناشی از این جریان‌ها در سیم‌پیچ‌های فشارقوی و فشار ضعیف، تلفات جریان‌های گردابی در سیم‌پیچ می‌گویند.

در این مقاله از روش اشاره‌شده در [۸] جهت محاسبه‌ی تلفات جریان‌های گردابی در سیم‌پیچ‌ها استفاده‌شده است. با توجه به این مقاله، تلفات ناشی از جریان‌های گردابی از رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود. در این رابطه، σ رسانایی مس ($\mho m^{-1}$)، μ_o نفوذپذیری نسبی هوا، a عرض سیم‌پیچ (mm)، b طول سیم‌پیچ (mm)، δ عمق پوستی ($mm^{۴}$)، B_{rad} چگالی شار در راستای شعاع (T)، B_{ax} چگالی شار در راستای محور (T) و P_{eddy} تلفات جریان‌های گردابی در سیم‌پیچ‌ها (W/m) می‌باشد. نمایی دوبعدی از سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور در شکل (۱۱) نشان داده‌شده است. با توجه به این شکل، B_{rad} چگالی شار در راستای محور X و B_{ax} چگالی شار در راستای محور Y می‌باشد.

$$P_{eddy} = \frac{1}{(\sigma\mu_0{}^{2})}\left[\frac{b}{\delta}\frac{(\sinh(\frac{a}{\delta})-\sin(\frac{a}{\delta}))}{(\cosh(\frac{a}{\delta})+\cos(\frac{a}{\delta}))}B_{rad}{}^{2}+\frac{a}{\delta}\frac{(\sinh(\frac{b}{\delta})-\sin(\frac{b}{\delta}))}{(\cosh(\frac{b}{\delta})+\cos(\frac{b}{\delta}))}B_{ax}{}^{2}\right] \qquad (۹)$$



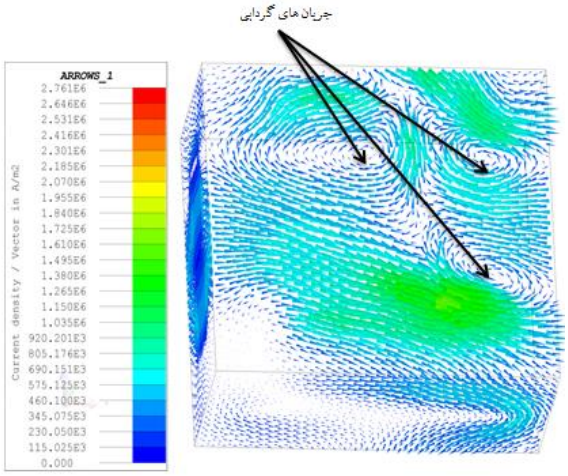
شکل۱۱- نمایی از سطح مقطع سیم‌پیچی

درنتیجه تلفات ناشی از جریان‌های گردابی در سیم‌پیچ‌ها ۳۴۷۸۹ w خواهد شد.

۳-۲-۳- محاسبه‌ی تلفات سرگردان

در قسمت قبل گفته شد که با عبور جریان از سیم‌پیچ‌ها و تولید شارهای نشتی خارج از هسته، جریان‌های گردابی در تمام هادی‌های موجود در ساختار ترانسفورماتور ایجاد می‌شود. به‌عنوان نمونه جریان‌های گردابی ایجادشده در تانک ترانسفورماتور ناشی از شارهای نشتی در شکل (۱۲) نشان داده‌شده است.

هادی‌های در نظر گرفته‌شده در این ترانسفورماتور شامل تانک، یوغ شنت، دیوار شنت و فریم می‌باشند. تلفات ناشی از شارهای نشتی در هرکدام از این اجزاء در جدول (۳) آورده شده است. بنابراین با توجه به این جدول، مجموع تلفات شارهای سرگردان W ۷۱۶۲ خواهد بود.



شکل۱۲- جریان‌های گردابی در تانک ترانسفورماتور

جدول۳- تلفات شارهای سرگردان

فریم	دیوار شنت	یوغ شنت	تانک	هادی موردنظر
۱۷۰۱	۱۸۶	۴۷۱	۴۸۰۴	مقدار(W)

۴-نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی دقیق و محاسبه‌ی تلفات ترانسفورماتور نقش مهمی در تعیین عمر مفید ترانسفورماتور و طراحی دقیق آن دارد. در این مقاله آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور نمونه با استفاده از روش اجزای محدود بررسی‌شده و انواع تلفات موجود در آن ازجمله تلفات هسته، تلفات مسی، تلفات سرگردان و غیره محاسبه‌شده است.

1- Load loss
2- No-load loss
3- Eddy Current
4- Skin Depth

مراجع

[1] J. C. Olivares-Galván, P. S. Georgilakis, and R. Ocon-Valdez, “A review of transformer losses,” *Electr. power components Syst.*, vol. 37, no. 9, pp. 1046–1062, 2009.

[2] V. Sarac, “FEM 2D and 3D design of transformer for core losses computation,” *Int. Sci. J. Ind. 4.0*, vol. 2, no. 3, pp. 119–122, 2017.

[3] S. M. H. Hosseini, S. M. E. Madar, and M. Vakilian, “Using the finite element method to calculate parameters for a detailed model of transformer winding for partial discharge research,” *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 23, no. 3, pp. 709–718, 2015.

[4] D. S. Takach and R. L. Boggavarapu, “Distribution transformer no-load losses,” *Power Appar. Syst. IEEE Trans.*, no. 1, pp. 181–193, 1985.

[5] A. Gupta and R. Singh, “Evaluation of Distribution Transformer Losses Under Harmonic Loads Using Analytical and Simulation Methods,” *Int. J. Emerg. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 90–95, 2011.

[6] E. F. Fuchs, D. Yildirim, and W. M. Grady, “Measurement of eddy-current loss coefficient P EC-R, derating of single-phase transformers, and comparison with K-factor approach,” *Power Deliv. IEEE Trans.*, vol. 15, no. 1, pp. 148–154, 2000.

[7] G. Bertotti, “General properties of power losses in soft ferromagnetic materials,” *Magn. IEEE Trans.*, vol. 24, no. 1, pp. 621–630, 1988.

[8] T. Ngnegueu, G. Meunier, J. C. Sabonnadiere, M. Mailhot, and J. P. Arthaud, “Calculation of extra losses in shell form power transformer windings,” *Magn. IEEE Trans.*, vol. 24, no. 6, pp. 2673–2675, 1988.

محاسبه سطح مقطع راداری اجسام الکتریکی بزرگ به روش نورفیزیکی

نویسندگان: سیده مهسا سرائی- msaraee72@yahoo.com

چکیده: در میان روش‌های گوناگون ارائه شده برای محاسبه سطح مقطع راداری اجسام هادی بزرگ، با توجه به اینکه در ناحیه نوری قرار دارند، فرکانس بالا مانند روش نور هندسی و روش نور فیزیکی پیشنهاد شده است؛ که با توجه به اینکه روش نورفیزیکی روشی بین الکترومغناطیس تمام موج و نور هندسی است، مصالحه‌ی مطلوبی بین دقت و بار محاسباتی داشته و بنابراین از این روش برای محاسبه میدان‌های پراکندگی استفاده می‌شود. برای محاسبه میدان‌های پراکندگی لازم است ابتدا ناحیه روشن معلوم و آزمون برخورد انجام شود. پس از آن با انتگرال‌گیری از جریان القا شده بر روی سطح جسم، انتگرال نور فیزیکی و به دنبال آن سطح مقطع راداری محاسبه می‌شود. برای انجام و محاسبه آزمون برخورد و انتگرال نورفیزیکی، سطح جسم مش بندی می‌شود، که این، برای اجسام با ابعاد بزرگ در قیاس با طول موج و یا پیچیده، بار محاسباتی سنگینی را بر مسئله تحمیل می‌کند. که برای حل این چالش، از قابلیت محاسبات موازی MATLAB بر روی GPU ها بهره گرفته می‌شود.

کلید واژه: برنامه نویسی موازی، روش نور فیزیکی، سطح مقطع راداری

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، سیستم‌های رادار، بسیار قدرتمند شده‌اند و قادر هستند کوچک‌ترین پراکندگی از سطح اهداف را شناسایی کنند. لذا اهداف پرنده مانند هواپیما و موشک، می‌توانند توسط میدان‌های پراکندگی الکترومغناطیسی ردیابی شوند. توان دریافتی آنتن گیرنده طی برخورد موج به هدف طبق رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$P_{Rx} = \left(\frac{P_{Tx}G_{Tx}}{4\pi R_1^2}\right)\left(\frac{\sigma}{4\pi R_2^2}\right)\left(\frac{\lambda^2 G_{Rx}}{4\pi}\right) \qquad (۱)$$

این معادله، به معادله رادار موسوم است و ارتباط بین برد رادار، گین آنتن فرستنده و گیرنده را بیان و حداکثر فاصله قابل‌رؤیت جسم توسط رادار و عوامل تأثیرگذار بر کیفیت عملکرد آن را مشخص می‌کند [۱]. پرانتز اول بیانگر چگالی سطحی توان ارسالی در محل جسم، پرانتز دوم چگالی توان پراکندگی از جسم در محل آنتن گیرنده و پرانتز سوم سطح مقطع مؤثر آنتن گیرنده می‌باشد. در این رابطه P_{Tx} و G_{Tx} به ترتیب توان و بهره آنتن فرستنده، P_{Rx} و G_{Rx} توان و بهره آنتن گیرنده، R برد رادار، σ سطح مقطع راداری و λ طول‌موج است.

با توجه به این معادله، هر چه اندازه فاصله جسم از رادار بیشتر باشد، توان دریافتی کاهش می‌یابد. هم‌چنین این معادله، بیان‌کننده رابطه بین برد رادار و سطح مقطع راداری[۱] است که در صورت یکجا بودن آنتن گیرنده و فرستنده، ($R_1=R_2=R$) با ریشه چهارم سطح مقطع راداری ($\sigma^{1/4}$) متناسب است. بدان معنی که با کاهش سطح مقطع راداری میزان رؤیت پذیری هدف کاهش‌یافته و می‌تواند در فاصله نزدیک‌تری نسبت به رادار پرواز کند. لذا کاهش سطح مقطع راداری به‌خصوص در کاربردهای نظامی میان محققین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گشته است.

۲- سطح مقطع راداری

نحوه تعریف ریاضی سطح مقطع راداری به‌صورت زیر است [۲]:

$$\sigma = \lim_{r\to+\infty}(4\pi r^2)\frac{W_s}{W_i} \qquad (۲)$$

در این رابطه W_s چگالی سطحی توان پراکندگی از جسم درراه دور، W_i چگالی سطحی توان تابشی در محل جسم و r فاصله رادار از جسم است. واحد سطح مقطع راداری m^2 می‌باشد. با توجه به اینکه چگالی سطحی توان پراکندگی

درراه دور با میدان‌های الکترومغناطیسی متناسب است می‌توان این رابطه را به‌صورت زیر نیز نوشت:

$$\sigma = \lim_{r\to+\infty}(4\pi r^2)\frac{|\mathbf{E_s}|^2}{|\mathbf{E_i}|^2} = \lim_{r\to+\infty}(4\pi r^2)\frac{|\mathbf{H_s}|^2}{|\mathbf{H_i}|^2} \quad (۳)$$

همچنین با توجه به اینکه درراه دور چگالی سطحی توان پراکندگی متناسب با عکس مجذور فاصله است، سطح مقطع راداری مستقل از فاصله بوده و تنها وابسته به جهت مشاهده هدف از دید رادار است.

سطح مقطع راداری به دو شکل تعریف می‌شود:

۱- تک‌پایه[۲]: آنتن فرستنده و گیرنده در یک نقطه هستند.

۲- دوپایه[۳]: آنتن فرستنده و گیرنده در دونقطه مختلف هستند.

در تحلیل مسائل مربوط به برهم‌کنش امواج الکترومغناطیسی با اجسام موجود در محیط، ابعاد جسم در چگونگی پراکندگی انرژی تابشی نقش مهمی دارد لذا سه ناحیه کاری مختلف برای تحلیل پراکندگی موج و محاسبه سطح مقطع راداری می‌توان در نظر گرفت:

ناحیه رایلی[۴]: در این ناحیه ابعاد جسم در قیاس با طول‌موج بسیار کوچک‌ترند (اجسامی با ابعاد کمتر از ۰/۱ طول‌موج) و قسمت‌های مختلف جسم باهم برهم‌کنش زیادی دارند و یکپارچه عمل می‌کنند لذا مانند یک بازتابنده نقطه‌ای عمل کرده و موج تابشی شکل فیزیکی جسم را درک نمی‌کند.

ناحیه تشدید (Mie)[۵]: در این ناحیه ابعاد جسم و طول‌موج در یک‌مرتبه هستند. برهم‌کنش بین نقاط مختلف جسم در مقایسه با ناحیه رایلی کمتر بوده و با افزایش فاصله دونقطه روی سطح، کاهش می‌یابد. تغییرات سطح مقطع راداری نسبت به فرکانس رفتاری نوسانی خواهد داشت.

ناحیه نوری[۶]: در این ناحیه ابعاد جسم بسیار بزرگ‌تر از طول‌موج است (حدوداً ۱۰ برابر طول‌موج) و برهم‌کنش هر قسمت از سطح جسم با موج تابشی مستقل از سایر نقاط سطح جسم است؛ زیرا موج تابشی هر نقطه از سطح جسم را بزرگ‌تر از طول‌موج می‌بینند. به بیانی دیگر، جریان القاشده از هر نقطه از سطح جسم تنها ناشی از برهم‌کنش موج تابشی با همان نقطه است و به سایر نقاط وابسته نیست (محلی بودن پراکندگی موج الکترومغناطیسی) [۲،۳].

۳- روش‌های محاسبه میدان پراکندگی

ازجمله روش‌های پیشنهادشده روش‌های عددی تمام موج مانند روش ممان[۷]، تفاضل محدود در زمان[۸] و اجزای محدود[۹] هستند که باوجود دقت بالا برای ناحیه نوری مناسب نیستند و بیشتر از آن‌ها برای اجسام با ابعاد متوسط و کوچک استفاده می‌شود. برای اجسام با ابعاد بزرگ‌تر (در قیاس با طول‌موج)، مانند اهداف نظامی، از روش فرکانس بالا مانند روش نور هندسی (GO[۱۰])، روش نور فیزیکی (PO[۱۱])، روش تفرق یکنواخت (UTD[۱۲]) و تفرق فیزیکی (PTD[۱۳]) استفاده می‌شود. این روش‌ها، با توجه به اینکه معادلات ماکسول را با تقریب فرکانس بالا حل می‌کنند، نسبت به روش‌های عددی از دقت پایین‌تری برخوردارند اما به دلیل حجم نسبتاً پایین محاسبات و نیاز نسبتاً کم به حافظه و داشتن دقت قابل‌قبول، مناسب هستند. در ادامه تنها به معرفی روش نور فیزیکی پرداخته می‌شود.

۴- روش نور فیزیکی

درروش نور فیزیکی میدان‌های پراکندگی از جسم توسط انتگرال‌گیری از جریان القاشده بر روی سطح جسم به دست می‌آید لذا ازاین‌جهت بسیار شبیه الکترومغناطیس تمام موج است. هم‌چنین، چگالی جریان القاشده در هر نقطه مستقل از سایر نقاط بوده و دو برابر میدان مغناطیسی مماسی است به این معنی که جریان القاشده در هر نقطه طوری محاسبه می‌شود که گویی آن نقطه بر یک صفحه با ابعاد بی‌نهایت مماس شده است. همچنین در این روش جریان القایی در نقاط سایه صفر بوده و پیوستگی میدان در تمام نقاط حفظ‌شده و نقاط کانونی ایجاد نمی‌شود و همچنین درصورتی‌که جسم فاقد انحنا باشد سطح مقطع راداری همچنان کران‌دار است [۳].

فرض کنید یک موج تابشی مسطح یکنواخت به سطح جسم برخورد کرده است (رابطه ۴)، با توجه به اینکه جریان القایی تنها تابعی از موج تابشی و ویژگی‌های هندسی ساختار است رابطه میدان پراکندگی راه دور به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\mathbf{H_i} = H_0 e^{-jk\hat{k}.\acute{r}}\hat{h}_i \quad (۴)$$

$$\mathbf{H^s(r)} = -\frac{jkH_0}{2\pi r}e^{-jkr}\int_{s_i} e^{-jk(\hat{r}-\hat{k}).\acute{r}}\hat{r}\times \left(\hat{n}(\acute{r})\times\hat{h}_i\right)d\acute{s} \quad (۵)$$

که $\hat{h}_i$ بردار یکه معرف قطبش میدان مغناطیسی تابشی، $\acute{\mathbf{r}}$ فاصله و $\hat{k}$ جهت انتشار موج تابشی است. با استفاده از اتحاد برداری $\mathbf{A}\times(\mathbf{B}\times\mathbf{C})=(\mathbf{A}.\mathbf{C})\mathbf{B}-(\mathbf{A}.\mathbf{B})\mathbf{C}$ و همچنین تعریف بردار f به‌صورت $\mathbf{f}=\int_{s_i}\hat{n}(\acute{\mathbf{r}})e^{-jk(\hat{r}-\hat{k}).\acute{\mathbf{r}}}\,d\acute{s}$ خواهیم داشت:

$$\mathbf{H^s(r)}=-\frac{jkH_0}{2\pi r}e^{-jkr}\left((\hat{r}.\hat{h}_i)\mathbf{f}-(\hat{r}.\mathbf{f})\hat{h}_i\right) \quad (۶)$$

لذا سطح مقطع راداری با توجه به رابطه (۳) به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\sigma=\frac{4\pi}{\lambda^2}|(\hat{r}.\hat{h}_i)\mathbf{f}-(\hat{r}.\mathbf{f})\hat{h}_i|^2 \quad (۷)$$

که در حالت تک‌پایه به فرم زیر است:

$$\sigma=\frac{4\pi}{\lambda^2}|(\hat{r}.\mathbf{f})|^2 \quad (۸)$$

۵- تعیین ناحیه روشن و آزمون برخورد

قبل از استفاده از انتگرال نور فیزیکی ابتدا باید نواحی روشن‌شده ناشی از برخورد پرتو نور به سطح هدف مشخص شود. لذا جهت تعیین این ناحیه باید مدل‌سازی مناسبی از ساختار جسم ارائه شود، به‌گونه‌ای که داده‌های خروجی ناشی از آن، کم‌ترین بار محاسباتی برای تعیین ناحیه روشن و محاسبه انتگرال نور فیزیکی را ایجاد نماید. نمایش‌های صریح و پارامتری دو صورت مرسوم برای توصیف هندسی سطوح هستند، که در ادامه تنها سطوح پارامتری معرفی خواهند شد.

۵-۱- نمایش پارامتری

در توصیف پارامتری، مش بندی روی صفحه توصیف‌کننده پارامتر نظیر نربز[۱۴] و بی اسپلاین[۱۵] و به‌صورت مستطیلی انجام می‌گیرد و نقاط روی سطح به‌صورت تابعی از دو متغیر بیان می‌شود.

رویه‌های نربز ارائه‌دهنده شکل ریاضی یکپارچه برای اشکال هندسی استاندارد (مخروط، سطوح دوار و ...) و پیچیده است. این رویه‌ها با استفاده از نقاط کنترلی و ضرایب وزن قادر به طراحی و شکل‌دهی اشکال متنوعی هستند و این قابلیت‌ها به شکل قابل قبولی قابل پیاده‌سازی توسط کامپیوتر است.

۵-۲- آزمون برخورد

پس از تعیین ساختار جسم، توسط منبع راه دوری که در ابتدا در نظر گرفته می‌شود پرتوهایی را به‌صورت هدفمند به مرکز هرکدام از مش‌ها تابانیده و آزمون برخورد برای مش‌هایی که در شرط $\hat{n}.\hat{s}_i<0$ صدق می‌کنند انجام می‌شود. سپس با جایگذاری معادله پارامتری سطح در معادله پرتو، نقطه برخورد به دست می‌آید. سپس در صورتی که نقطه برخورد در محدوده مش موردنظر بود، آن مش به‌عنوان مش روشن ذخیره می‌شود.

۶- انتگرال نور فیزیکی

پس از تعیین مش‌های روشن، باید به محاسبه انتگرال نور فیزیکی پرداخت که با توجه به نوع توصیف سطح یک جسم، روش انتخابی جهت اعمال انتگرال نور فیزیکی متفاوت خواهد بود. که در این مقاله با توجه به اینکه از سطوح پارامتری استفاده‌شده است برای حل انتگرال از روش لودویگ استفاده خواهد شد. این روش باعث کاهش قابل‌توجه تعداد نقاط لازم برای محاسبه عددی انتگرال‌های دوگانه در مسائل پراکندگی است که شامل انتگرالی به فرم زیر است:

$$E=\iint_S F(u,v)e^{ik\gamma(u,v)}dudv \quad (۹)$$

در این رابطه F و γ به ترتیب تغییرات دامنه و فاز بر روی سطح S را توصیف می‌کنند. در یک مسئله سطح مقطع راداری جهت محاسبه عددی میدان‌های پراکندگی راه دور یا الگوهای تفرق به رابطه انتگرال نور فیزیکی $\mathbf{f}=\iint_{s_i}\hat{n}(\acute{\mathbf{r}})e^{-jk(\hat{r}-\hat{k}).\acute{\mathbf{r}}}\,d\acute{s}$ خواهیم رسید؛ که با مقایسه آن با رابطه (۳۸-۱) درمی یابیم که توابع F و γ به ترتیب معادل $(\hat{r}-\hat{k}).\acute{\mathbf{r}}$ و $\hat{n}(\acute{\mathbf{r}})$ است که برای هر مش مقداری ثابت است [۴].

۷- برنامه‌نویسی بر روی GPU [۵]

واحد پردازش گرافیکی (GPU)، همانند CPU، یک پردازنده چندهسته است. با این تفاوت که GPU دارای صدها هسته بر روی یک واحد سخت‌افزار هستند. قدرت محاسباتی و پهنای باند حافظه منحصربه‌فرد GPU آن را به یک ابزار محاسباتی جذاب برای اجرای الگوریتم‌هایی با بار محاسباتی زیاد، تبدیل کرده است.

در ابتدا از GPU برای محاسبه توابع سه‌بعدی استفاده می-شد زیرا این محاسبات بر روی CPU بار محاسباتی زیادی داشته است. اما هم‌اکنون الگوریتم‌هایی که به‌شدت موازی هستند نیز به‌طور کارآمدی بر روی GPU اجرا می‌شوند. بااین‌حال، GPU همواره بهتر از CPU نیست. طراحی CPU به‌گونه‌ای است برای اجرای کدهای سری بهینه است، و در مقابل، GPU برای محاسبات عددی حجیم به کار می‌رود. بنابراین، در بیشتر برنامه‌ها از هردوی این پردازنده‌ها استفاده می‌شود؛ بدین معنی که، بخش متوالی برنامه بر روی CPU و بخش زمان‌بر آن بر روی GPU اجرا می‌شود.

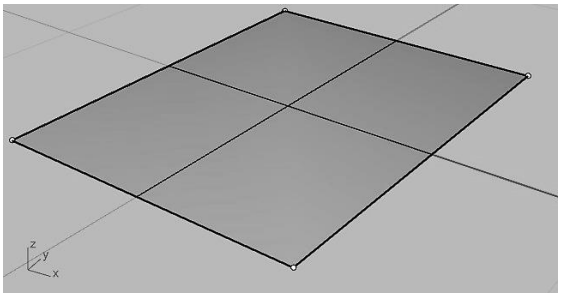
۸- سطح مقطع راداری چند ساختار

در این بخش، سطح مقطع راداری ساختارهای پایه مانند صفحه مسطح مستطیلی و مخروط و ساختارهای پیچیده مانند دو اُگیو مماسی با انحنای غیریکسان و موشک ساده موردبررسی قرارگرفته است.

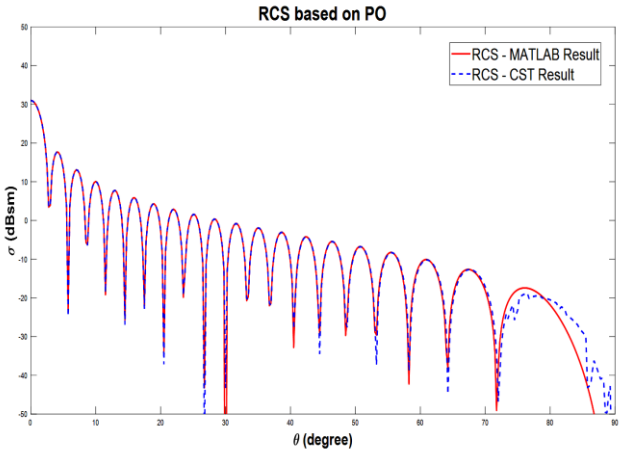
مدل‌سازی ساختارها توسط توصیف پارامتری و رویه‌های NURBS در نرم‌افزار Rhinoceros و محاسبه انتگرال نور فیزیکی به روش لودویگ انجام می‌شود. هم‌چنین برای کاهش زمان شبیه‌سازی، انتگرال نورفیزیکی و آزمون برخورد بر روی GPU در MATLAB پیاده شده است.

۸-۱- صفحه مستطیلی

مطابق شکل ۱، یک صفحه مربعی به طول ضلع ۱ متر طراحی‌شده است. سطح مقطع راداری تک‌پایه این جسم در صفحه $\varphi = ۰^\circ$ به ازای زوایای $\theta = ۰^\circ - ۹۰^\circ$ با رزولوشن زاویه‌ای یک‌چهارم در فرکانس ۳GHz محاسبه‌شده است. با توجه به اینکه سطح جسم کاملاً تخت و فاقد هرگونه انحنایی است، تمامی سطح توسط پرتوهای تابشی به‌طور کامل روشن می‌شود. لذا، آزمون برخورد برای آن در MATLAB بررسی نمی‌شود. در شکل ۲ نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج حاصل از CST مقایسه شده است.



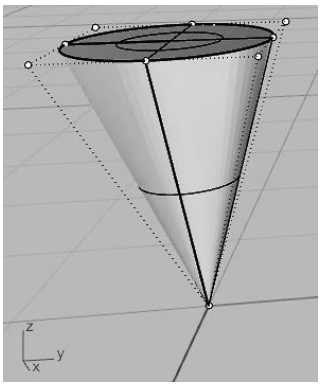
شکل ۱: صفحه مستطیلی همراه با نقاط کنترلی



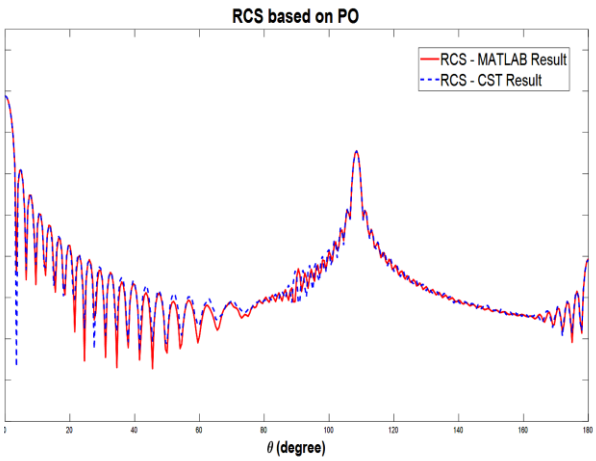
شکل ۲: سطح مقطع راداری صفحه مستطیلی به ازای ۱۰۰۰۰ مش در فرکانس ۳GHZ

۸-۲- مخروط

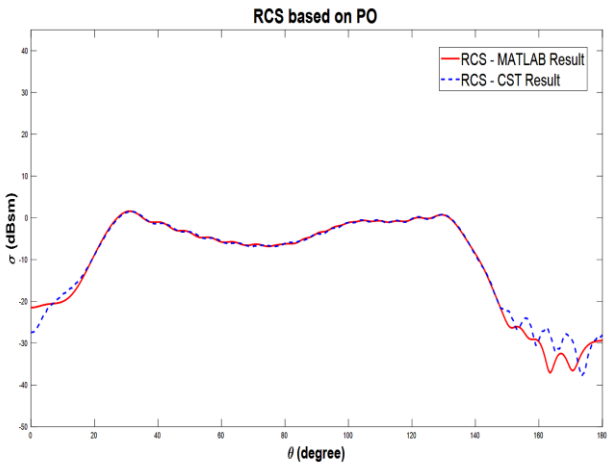
مطابق شکل ۳، یک مخروط به قطر ۱ متر و ارتفاع ۱/۵ متر طراحی‌شده است. پس از اجرای آزمون برخورد، سطح مقطع راداری تک‌پایه این جسم در صفحه $\varphi = ۰^\circ$ به ازای زوایای $\theta = ۰^\circ - ۱۸۰^\circ$ با رزولوشن زاویه‌ای یک‌دوم در فرکانس ۳GHz محاسبه و درنهایت نتایج آن با نتایج CST در شکل ۴ مقایسه شده است.



شکل ۳: مخروط همراه با نقاط کنترلی



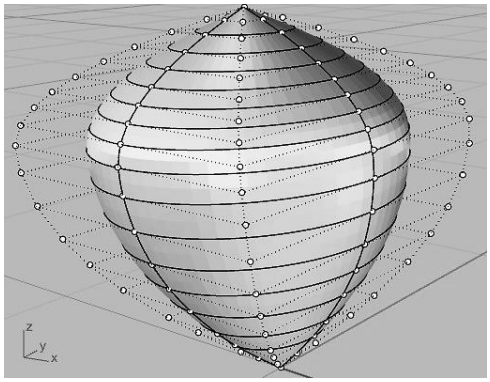
شکل ۴: سطح مقطع راداری مخروط به ازای ۱۲۲۴۶ مش در فرکانس ۳GHZ



شکل ۶: سطح مقطع راداری دو اُگیو با انحنای غیریکسان به ازای ۱۲۱۰۰ مش در فرکانس ۳GHZ

۸-۳- دو اُگیو با انحنای غیریکسان

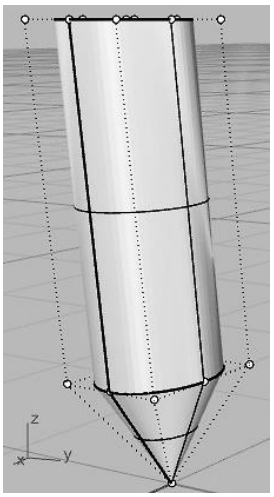
مطابق شکل ۵، دو اُگیو با قطر یکسان ۰/۷۸۴ متر و با نسبت ارتفاع ۱ به ۳ (ارتفاع کل ساختار ۱ متر است) طراحی‌شده که روند آن مشابه اُگیو مماسی است. پس از اجرای آزمون برخورد، سطح مقطع راداری تک‌پایه این جسم در صفحه $\varphi = ۰^\circ$ به ازای زوایای $\theta = ۰^\circ - ۱۸۰^\circ$ با رزولوشن زاویه‌ای یک‌دوم در فرکانس ۳GHz محاسبه‌شده است. در شکل ۶ نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج حاصل از CST مقایسه شده است.



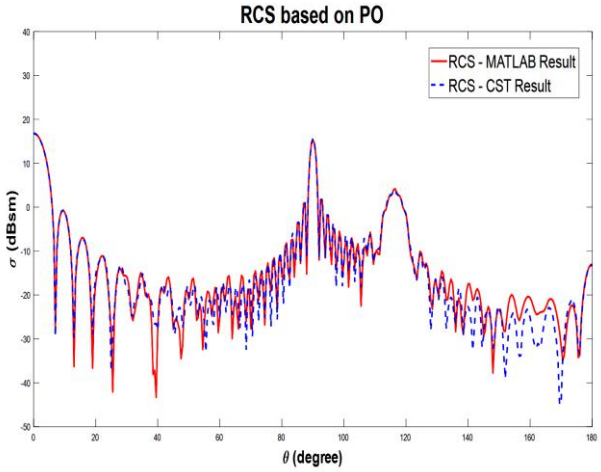
شکل ۵: دو اُگیو با انحنای غیریکسان همراه با نقاط کنترلی

۸-۴- موشک ساده

مطابق شکل ۷، یک موشک ساده با دماغه مخروطی به قطر ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۵ متر و بدنه استوانه‌ای به قطر ۰/۵ متر و ارتفاع ۱/۵ متر طراحی‌شده است. پس از اجرای آزمون برخورد، سطح مقطع راداری تک‌پایه این جسم در صفحه $\varphi = ۰^\circ$ به ازای زوایای $\theta = ۰^\circ - ۱۸۰^\circ$ با رزولوشن زاویه‌ای یک‌دوم در فرکانس ۳GHz محاسبه‌شده است. در شکل ۸ نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج حاصل از CST مقایسه شده است.



شکل ۷: موشک ساده همراه با نقاط کنترلی



شکل ۸: سطح مقطع راداری موشک ساده به ازای ۶۰۲۰۰ مش در فرکانس ۳GHZ

در ادامه زمان شبیه‌سازی ساختارهای فوق در محیط GPU به ازای تعداد مش‌های مختلف در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

جدول ۱: زمان شبیه‌سازی در GPU برحسب ثانیه

	GPU در GTX 1080 Ti
صفحه مسطح ۱۰۰۰۰ مش	۱/۵۶
مخروط ۱۲۲۴۶ مش	۷۱۴/۶۹
دو اگیو با انحنای غیریکسان ۱۲۱۰۰ مش	۷۷۸/۰۴
موشک ساده ۶۰۲۰۰ مش	۹۰۷/۲۸

با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود منحنی سطح مقطع راداری محاسبه‌شده در متلب با دقتی نسبتاً یکسان با منحنی حاصل از شبیه‌سازی CST حاصل‌شده است. همچنین محاسبه انتگرال نورفیزیکی و آزمون برخورد بر روی GPU سبب کاهش محسوس زمان شبیه‌سازی‌شده است.

۹- جمع‌بندی

هدف این مقاله محاسبه سطح مقطع راداری اجسام الکتریکی بزرگ با استفاده از روش نورفیزیکی و به روش لودویگ بوده است. ازاین‌رو، چهار ساختار پایه در نظر گرفته‌شده و پس از مدل کردن آن‌ها با رویه‌های نربز به محاسبه سطح مقطع راداری آن در متلب پرداخته‌شده است. با توجه به اینکه تعیین ناحیه روشن، انجام آزمون برخورد و محاسبه انتگرال نورفیزیکی بر روی CPU بسیار زمانبر است، برنامه موردنظر به‌صورت موازی بر روی GPU و در متلب نوشته شده است که سبب کاهش چشم‌گیر زمان محاسبات شده است.

1-Radar Cross Section
2- Monostatic
3-Bistatic
4- Rayleigh
5- resonance
6- Optical
7- Moment Method(MOM)
8- Finite Difference Time-Domain Method
9- finite Element Method(FEM)
10- Geometric optics
11- Physical Optics
12- Uniform Theory of Diffraction
13- Physical Theory of Diffraction
14- Non-Uniform Rational B-Spline(NURBS)
15- B-Spline

منابع

[1] M. I. Skolnik, “Introduction to radar”, Radar Handbook, vol 2, 1962.

[2] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, 1999.

[3] E. F. Knott, "A progression of high-frequency RCS prediction techniques," *IEEE*, vol. 73, no. 2, pp. 252-264, 1985.

[4] A. Ludwig, "Computation of radiation patterns involving numerical double integration," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 16, no. 6, pp. 767-769, 1968.

[5] N. Ploskas and N. Samaras, *GPU Programming in MATLAB*, Todd Green, 2016.

راه اندازی موتورهای الکتریکی سه فاز سه ضرب

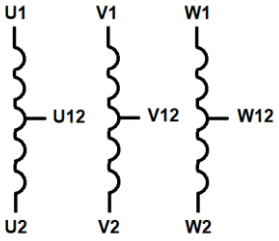
نویسندگان: سیدپرویز موسوی- ip.adrapana2@gmail.com
مریم فریور- farivar.maryam@yahoo.com

چکیده: موتورهای الکتریکی مدرن در انواع و اشکال مختلف در دسترس می باشند. از قبیل موتورهای تک فاز، موتورهای سه فاز، موتورهای ترمزی، موتورهای سنکرون، موتورهای آسنکرون، موتورهای مخصوص، موتورهای دو سرعته، موتورهای سه سرعته و غیره که هر یک کارایی و ویژگی های خود را دارند و به روش های متفاوتی راه اندازی می شوند. در این میان یکی از انواع موتورهایی که کمتر به آن ها پرداخته شده، موتورهای سه ضرب و چهار ضرب می باشد. این موتورها مانند موتورهای معمولی سه فاز دارای سه دسته سیم پیچ به نام های U1-U2، V1-V2 و W1-W2 است. با این تفاوت که هر سیم پیچ به دو قسمت مساوی تقسیم شده است. سر وسط این سیم پیچ ها به نام های U12، V12 و W12 نام گذاری شده است.

کلید واژه: موتور، سه ضرب، سه فاز

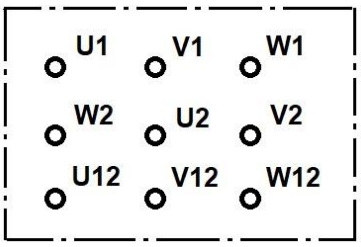
۱-مقدمه

این موتورها مانند موتورهای معمولی سه فاز دارای سه دسته سیم‌پیچ به نام‌های U1-U2، V1-V2 و W1-W2 است. با این تفاوت که هر سیم‌پیچ به دو قسمت مساوی تقسیم شده‌است. سر وسط این سیم‌پیچ‌ها به نام‌های U12، V12 و W12 نام‌گذاری شده‌است.



شکل ۱: سیم‌پیچ موتور

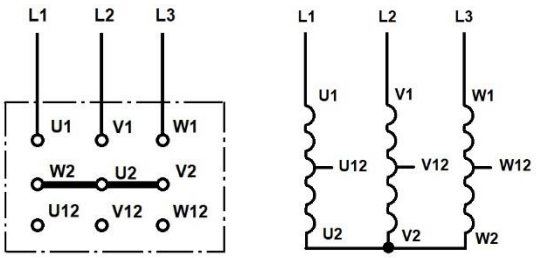
تخته کلم این موتورها حداقل دارای ۹ پیچ اتصال است. که می‌توان به‌صورت سه‌ضرب آن را راه‌اندازی کرد.



۲- راه‌اندازی موتور

۲-۱- ضرب اول: ستاره

بااتصال سه فاز L1، L2 و L3 به ورودی‌های U1 ، V1 و W1 و اتصال کور انتهای سیم‌پیچ‌ها U2، V2 و W2 به یکدیگر، راه‌اندازی به‌صورت ستاره می‌شود.

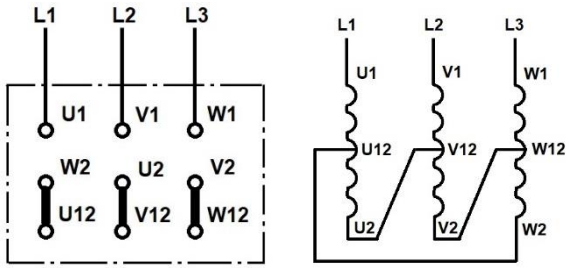


شکل ۲: سیم بندی سیم‌پیچ‌ها به‌صورت ستاره

۲-۲- ضرب دوم: ستاره مثلث ترکیبی

بااتصال سه فاز L1، L2 و L3 به ورودی‌های U1 ، V1 و W1 و اتصال انتهای سیم‌پیچ اول U2 به وسط سیم‌پیچ دوم V12 سپس انتهای سیم‌پیچ دوم V2 به وسط سیم‌پیچ سوم W12 و در آخر بااتصال انتهای سیم‌پیچ

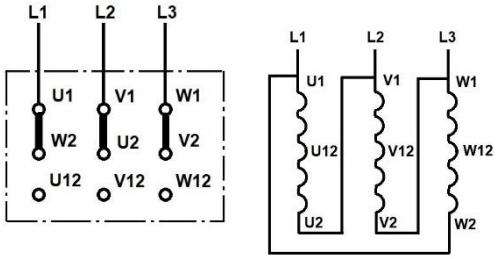
سوم W2 به وسط سیم‌پیچ اول U12 راه‌اندازی به صورت ستاره مثلث ترکیبی می‌شود.



شکل۳: سیم بندی سیم‌پیچ‌ها به‌صورت ستاره مثلث

۲-۳- ضرب سوم: مثلث

بااتصال سه فاز L1، L2 و L3 به ورودی‌های U1 ، V1 و W1 و اتصال انتهای سیم‌پیچ اول U2 به ابتدای سیم‌پیچ دوم V1 سپس اتصال انتهای سیم‌پیچ دوم V2 به ابتدای سیم‌پیچ سوم W1 و در آخر بااتصال انتهای سیم‌پیچ سوم W2 به ابتدای سیم‌پیچ اول U1 راه‌اندازی به‌صورت مثلث می‌شود.



شکل۴: سیم بندی سیم‌پیچ‌ها به‌صورت مثلث

۳- مقایسه قدرت در اتصال‌های مختلف موتورهای سه فاز سه‌ضرب

قدرت در حالت اتصال مثلث ۳ برابر قدرت در حالت اتصال ستاره است.

$$P_{\Delta}=3P_{\lambda}$$

قدرت در حالت اتصال مثلث ۲ برابر قدرت در حالت اتصال ستاره مثلث ترکیبی است.

$$P_{\Delta}=2P_{\lambda}$$

قدرت در حالت اتصال ستاره مثلث ترکیبی ۱/۵ برابر قدرت در حالت اتصال ستاره است.

$$P_{\lambda}=\frac{3}{2}P_{\lambda}$$

کاربرد این موتورها در مواردی است که برای اجرای مراحل کار نیاز به قدرت‌های مختلفی باشد به‌طور مثال در یک همزن اگر مواد رقیق باشد با ضرب اول موتور شروع به‌کار می‌کند اگر سختی مواد داخل میکسر بیشتر شد ضرب دوم موتور استفاده می‌شود و اگر مواد از حالت قبلی سخت‌تر شد موتور با ضرب سوم کار کند. در کشورهایی که هزینه برق بالا باشد این موتورها قابل‌استفاده است.

روی پلاک این موتورها مشخصات زیر ثبت‌شده است.

$$\lambda/\lambda/\Delta/690/490/400V$$

۴- مدار فرمان و مدار قدرت راه‌اندازی موتورهای سه فاز سه‌ضرب

برای راه‌اندازی موتورهای سه فاز سه‌ضرب، نیاز به ۴ کنتاکتور و حداقل ۱ بی‌متال است.

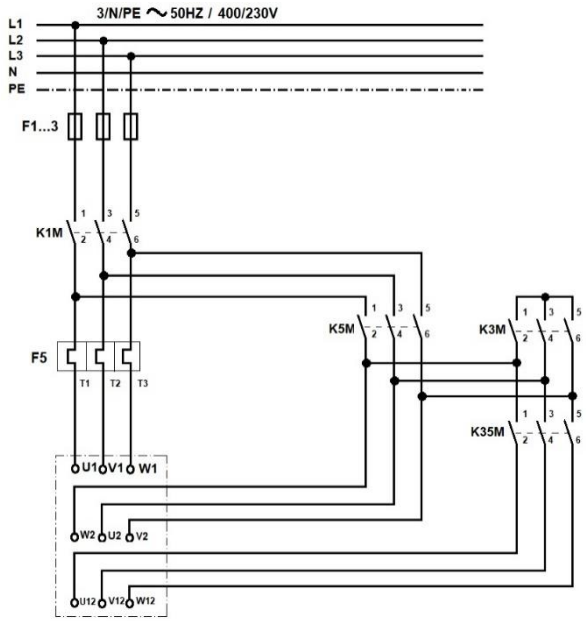
برچسب کنتاکتوری اتصال راستگرد K1M

برچسب کنتاکتوری اتصال ستاره K3M

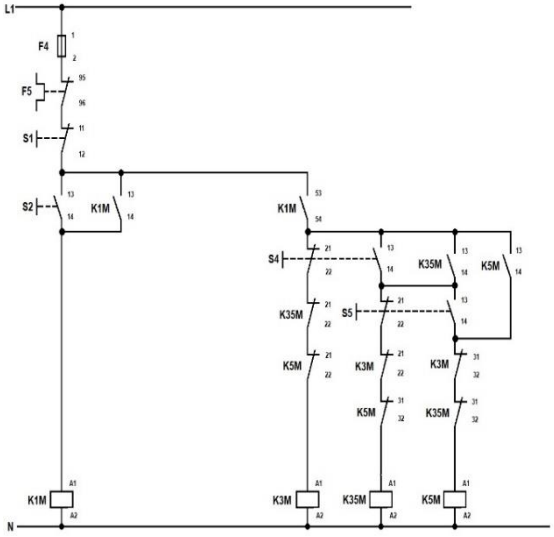
برچسب کنتاکتوری اتصال ستاره مثلث ترکیبی K35M

برچسب کنتاکتوری اتصال مثلث K5M

در طراحی مدار فرمان با فشار شستی استارت S2 کنتاکتور K1M و کنتاکتور K3M وارد مدار شده و موتور بااتصال ستاره شروع به کار می‌کند. با فشار شستی S4 کنتاکتور K3M از مدار خارج‌شده و کنتاکتور K35M جایگزین آن می‌شود در این حالت موتور بااتصال ستاره مثلث ترکیبی کار می‌کند که همان‌طور که گفته شد قدرت در این حالت ۱/۵ برابر قدرت در حالت اتصال ستاره است. با فشار شستی S5 کنتاکتور K35M از مدار خارج و کنتاکتور K5M جایگزین آن می‌شود. در این حالت موتور بااتصال مثلث بیشترین قدرت خود را دارد.



شکل۵: مدارقدرت راه‌اندازی موتور سه فاز سه ضرب



شکل۶: مدار فرمان راه‌اندازی موتور سه فاز سه ضرب

برای تغییر جهت چرخش در این موتورها مانند موتورهای سه فاز دیگر کافی است جای دو فاز عوض شود.

۵- مدار فرمان و مدار قدرت راه‌اندازی موتورهای سه فاز سه‌ضرب به‌صورت چپ‌گرد راست‌گرد

برای راه‌اندازی موتورهای سه فاز سه‌ضرب به‌صورت چپ‌گرد راست‌گرد ، نیاز به ۵ کنتاکتور و حداقل ۱ بی‌متال است.

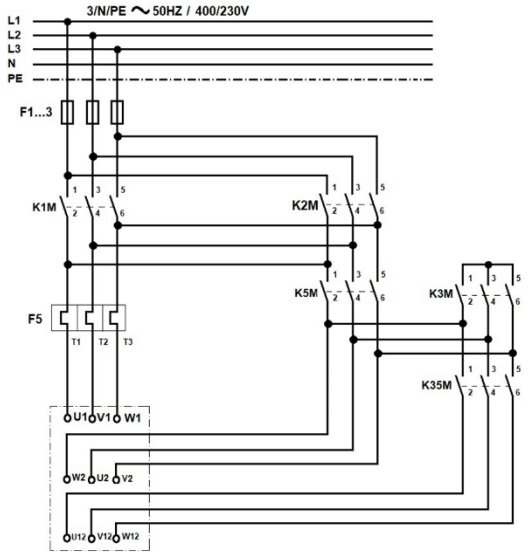
برچسب کنتاکتوری اتصال راست‌گرد K1M

برچسب کنتاکتوری اتصال چپ‌گرد K2M

برچسب کنتاکتوری اتصال ستاره K3M

برچسب کنتاکتوری اتصال ستاره مثلث ترکیبی K35M

برچسب کنتاکتوری اتصال مثلث K5M

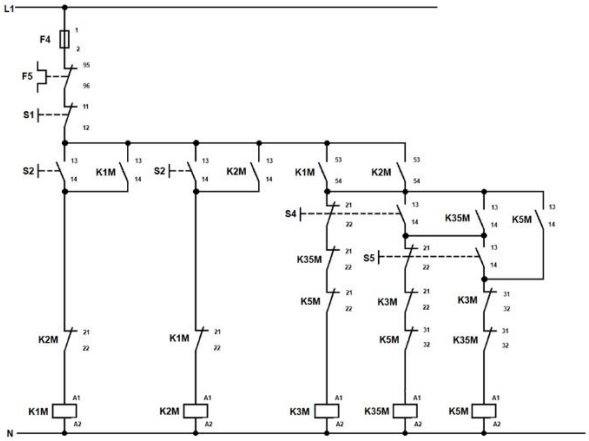


شکل۷: مدار قدرت راه‌اندازی موتور سه فاز سه ضرب به‌صورت چپگرد راستگرد

در طراحی مدار فرمان با فشار شستی استارت راست‌گرد S2 کنتاکتور K1M و کنتاکتور K3M وارد مدار شده و موتور بااتصال ستاره به‌صورت راست‌گرد شروع به کار می-کند. با فشار شستی S4 کنتاکتور K3M از مدار خارج‌شده و کنتاکتور K35M جایگزین آن می‌شود در این حالت موتور بااتصال ستاره مثلث ترکیبی به‌صورت راست‌گرد کار می‌کند که همان‌طور که گفته شد قدرت در این حالت ۱/۵ برابر قدرت در حالت اتصال ستاره است. با فشار شستی S5 کنتاکتور K35M از مدار خارج و کنتاکتور K5M جایگزین آن می‌شود. در این حالت موتور بااتصال مثلث به‌صورت راست‌گرد بیشترین قدرت خود را دارد. با فشار شستی استپ S1 مدار متوقف می‌گردد. در حالت STOP مدار، موتور را می‌توان درجهت راست یا چپ چرخاند.

با فشار شستی استارت چپ‌گرد S3 کنتاکتور K2M و کنتاکتور K3M وارد مدار شده و موتور بااتصال ستاره به-صورت چپ‌گرد شروع به کار می‌کند. با فشار شستی S4 کنتاکتور K3M از مدار خارج‌شده و کنتاکتور K35M جایگزین آن می‌شود در این حالت موتور بااتصال ستاره

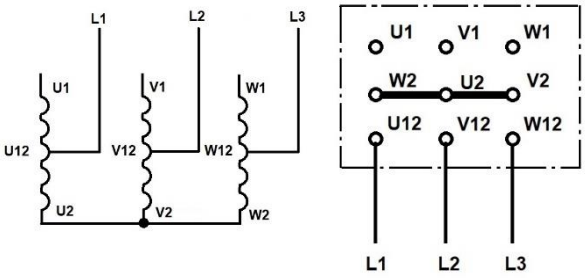
مثلث ترکیبی به‌صورت چپ‌گرد کار می‌کند که همان‌طور که گفته شد قدرت در این حالت ۱/۵ برابر قدرت در حالت اتصال ستاره است. با فشار شستی S5 کنتاکتور K35M از مدار خارج و کنتاکتور K5M جایگزین آن می‌شود. در این حالت موتور بااتصال مثلث به‌صورت چپ‌گرد بیشترین قدرت خود را دارد.



شکل۸: مدار فرمان راه‌اندازی موتور سه فاز سه ضرب به‌صورت چپگرد راستگرد

۶- اتصال موتورهای سه‌ضرب در دو ولتاژ مختلف

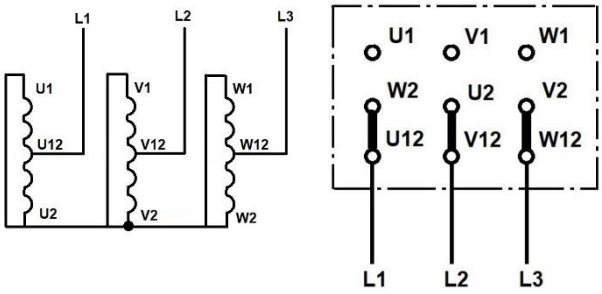
۶-۱- اتصال ستاره با نصف سیم‌پیچ‌ها



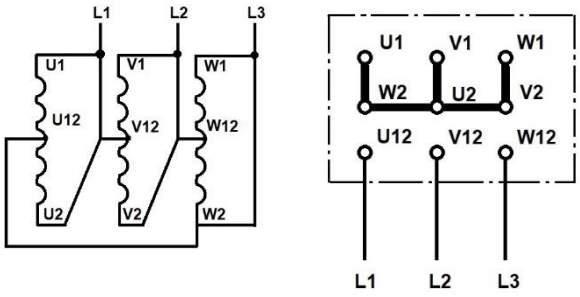
در این حالت می‌توان نصف ولتاژ حالت ستاره (ضرب اول) را متصل کرد.

۶-۲- اتصال ستاره با موازی‌کردن سیم‌پیچ‌ها

در این حالت نیز می‌توان نصف ولتاژ حالت ستاره (ضرب اول) را متصل کرد.

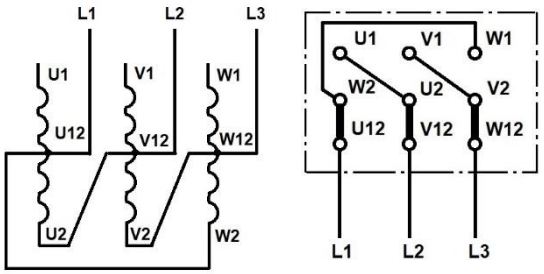


۶-۳- اتصال مثلث با نصف سیم‌پیچ‌ها



در این حالت می‌توان نصف ولتاژ حالت مثلث (ضرب سوم) را متصل کرد.

۶-۴- اتصال مثلث با موازی‌کردن سیم‌پیچ‌ها



در این حالت نیز می‌توان نصف ولتاژ حالت مثلث (ضرب سوم) را متصل کرد.

نکته: اگر در راه‌اندازی موتورهای سه‌ضرب به‌جای ۹ پیچ بر روی تخته کلم ۱۲ پیچ داشته باشیم می‌توان چند اتصال به‌صورت اتصال دالاندر ایجاد کرد. به عبارتی می‌توان به‌عنوان یک موتور دو سرعته ۲ سیم‌پیچ مشترک استفاده کرد. در مقاله بعدی ۱۶ حالت اتصال موتور دالاندر بیان می‌شود

مهندسین برق / ابزار دقیق

با یادگیری ۲۲ ساعت فیلم و انیمیشن آموزشی

ایده پردازان شریف، جذب بازار کار شوید و

در کارتان حرفه ای باشید.



www.isec.ir

WWW.ISEC.IR

استفاده از یک الگوریتم خوشه بندی توسعه یافته به منظور بهبود عملکرد شبکه های حسگر بی سیم

نویسندگان: ابوالقاسم خوشنود- khoshnood.abolghasem@gmail.com
موسی مجرد- m.mojarad@iauf.ac.ir
حسن ارفعی نیا- msc.harfaeinia@gmail.com

چکیده: پیشرفت فناوری باعث رشد چشمگیر شبکه‌های حسگر بی سیم و توسعه قابل‌توجه آن‌ها شده است. این شبکه‌ها از گره‌های کوچک باقابلیت‌های حس کردن، پردازش و محاسبه تشکیل‌شده تا بر شرایط فیزیکی یا محیطی نظارت داشته باشد. یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در شبکه‌های حسگر بی سیم، حداقل سازی مصرف انرژی است. امروزه از الگوهای هوش محاسباتی نظیر خوشه‌بندی و مسیریابی انرژی آگاه به‌طور گسترده در این شبکه‌ها استفاده می‌شود. اگرچه بسیاری از روش‌های خوشه‌بندی و مسیریابی مبتنی بر فازی قبلاً ارائه‌شده است، اما بسیاری از آن‌ها نمی‌تواند هم‌زمان اهداف طول عمر شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی را در جهت کاهش مصرف انرژی در نظر بگیرند. در این تحقیق از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته مبتنی بر FCM و همچنین یک روش مسیریابی مبتنی بر منطق فازی به‌منظور بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم و کاهش مصرف انرژی استفاده می‌کنیم. هدف اصلی این روش افزایش طول عمر شبکه از طریق توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره‌ها می‌باشد. آزمایش‌های انجام‌شده برتری روش پیشنهادی را نسبت به روش‌های DirectTransmission، SH-MEER و MH-FEER اثبات کرده است. بهترین نتایج روش پیشنهادی در معیارهای طول عمر شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی باانرژی اولیه ۰,۲ ژول به ترتیب ۴۳۹ و ۷۹۶ گزارش‌شده است.

کلید واژه: شبکه‌های حسگر بی سیم، بهبود مصرف انرژی، خوشه‌بندی توسعه‌یافته، مسیریابی سلسله مراتبی

۱-مقدمه

امروزه زندگی بدون ارتباطات بی‌سیم قابل‌تصور نیست. پیشرفت‌های اخیر در فناوری ساخت مدارهای مجتمع در اندازه‌های کوچک از یکسو و توسعه فناوری ارتباطات بی‌سیم از سوی دیگر زمینه‌ساز طراحی شبکه‌های حسگر بی‌سیم شده است. شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) متشکل از تعداد زیادی گره کوچک است که در هر گره تعدادی حسگر وجود دارد. مهم‌ترین دلیل پیدایش و توسعه شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کاربردهای پایش مداوم محیط‌هایی بوده است که دستیابی و حضور دائمی انسان در آن‌ها سخت یا ناممکن می‌باشد [۱]. کاربردهایی نظیر پایش فوران یک کوه آتش‌فشان فعال، پایش مناطق مرزی صعب‌العبور و غیره. درنتیجه معمولاً شارژ مجدد یا تعویض گره‌های مرده (ازکارافتاده به دلیل اتمام منبع انرژی) به‌راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌شدت با محیط فیزیکی تعامل دارند. از طریق حسگرها می‌توان اطلاعات محیط را گرفت و از طریق کاراندازها واکنش نشان داد. هر گره به‌طور مستقل و بدون دخالت انسان به‌صورت بی‌سیم کار می‌کند و دارای محدودیت‌هایی در قدرت پردازش، ظرفیت حافظه، منبع تغذیه و غیره است. این محدودیت‌ها مشکلاتی را به وجود می‌آورد که منشأ بسیاری از مباحث پژوهشی مطرح در این زمینه است [۲].

ازآنجاکه طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم به‌شدت به مصرف انرژی گره‌ها وابسته است، ارائه الگوریتم‌های کاهش مصرف انرژی به یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این شبکه‌ها تبدیل‌شده است [۳]. اغلب این روش‌ها بر پایه خوشه‌بندی

هستند که باعث توزیع یکنواخت مصرف انرژی در کل شبکه می‌شوند. خوشه‌بندی گره‌ها و تنها استفاده از یک گره برای انتقال اطلاعات باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. در این راستا تعیین صحیح تعداد خوشه‌ها با توجه به محدودیت-های موجود یک چالش اساسی در این زمینه است. به این دلیل که گره‌ها از برد رادیویی محدودی برای ارسال اطلاعات برخوردار هستند و قرار گرفتن گره‌ها در خوشه-هایی با اندازه بزرگ، امکان ارسال اطلاعات بین گره‌ها را فراهم نمی‌کند. خوشه‌های بزرگ اغلب زمانی حاصل می‌شود که تعداد خوشه‌های در نظر گرفته‌شده به نسبت تعداد گره‌ها و ناحیه جغرافیایی کم باشد. از طرفی زیاد بودن تعداد خوشه‌ها باعث افزایش تعداد سرخوشه‌ها و مسیرهای ارتباطی می‌شود و این امر درنهایت منجر به پردازش بیشتر اطلاعات و افزایش مصرف انرژی خواهد شد [۴].

پروتکل‌های مسیریابی سلسله‌مراتبی که به پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی نیز معروف هستند، یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای افزایش طول عمر در شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند [۵-۷]. در این پروتکل‌ها ابتدا گره‌ها در تعدادی گروه خوشه‌بندی‌شده به‌نحوی‌که از هر خوشه تنها یک گره وظیفه ارسال اطلاعات به ایستگاه مرکزی (سینک) را بر عهده دارد. در این ساختار گره‌هایی باانرژی نسبی بالا به‌عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند و سایر گره‌ها مسئولیت حس محیط را بر عهده‌دارند. به گره‌هایی که اطلاعات را ارسال می‌کنند، گره‌های سرخوشه و به گره‌هایی که داده‌های محیط را استخراج می‌کنند، گره‌های معمولی می‌گویند [۸]. در این مقاله از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته به‌منظور بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده‌شده است. هدف الگوریتم پیشنهادی تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها، کاهش مصرف انرژی از طریق توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. به‌طورکلی از آنجائی که سرخوشه‌ها انرژی بیشتری نسبت به دیگر گره‌ها برای ارسال اطلاعات مصرف می‌کنند، هدف الگوریتم خوشه‌بندی کاهش تعداد سرخوشه‌ها و تغییر سرخوشه‌ها به‌منظور ایجاد توازن بیشتر در مصرف انرژی بین گره‌ها می‌باشد.

در ادامه این تحقیق؛ در بخش دوم به بررسی برخی از جدیدترین کارهای انجام‌شده در این زمینه کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌پردازیم. روش پیشنهادی در بخش سوم مطرح‌شده و نتایج حاصل از آن در بخش چهارم ارائه می‌گردد. درنهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات مطرح می‌شود.

۲-کارهای مرتبط

درزمینهٔ مسئله کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم از طریق الگوریتم‌های ترکیبی و ابتکاری نظیر منطق فازی، تحقیقات متعددی صورت گرفته است [۹-۱۱]. بصیری، طرح جدیدی برای خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از تلفیق الگوریتم‌های K-Means و مدل برنامه‌نویسی MapReduce ارائه داد [۱۲]. این روش به دو فاز Mapping و Reducing تقسیم می‌شود که پروتکل Map تخصیص گره‌های حسگر به خوشه‌ها را بر عهده دارد و پروتکل Reduce این خوشه‌ها را با ایجاد چندین تغییر، بهینه می‌کند. فاطمی و همکاران، یک الگوریتم جدید بر اساس منطق فازی جهت کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد دادند [۱۳]. پارامترهای استفاده‌شده در خوشه‌بندی انرژی باقیمانده گره‌ها، مرکزیت، فاصله تا سینک و تراکم گره‌های است و سرخوشه‌های متناسب با این پارامترها انتخاب می‌شوند. علمداری و همکاران، بهبود مسیریابی چندگانه بر پایه خوشه‌بندی فازی و الگوریتم ازدحام ذرات بهینه را در شبکه‌های حسگر بی‌سیم جهت کاهش مصرف انرژی پیشنهاد دادند [۱۴]. در این روش برای کار خوشه‌بندی از قابلیت پروتکل LEACH استفاده‌شده است.

در [۱۵] یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر خوشه انرژی آگاه تطبیقی (AECR) برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه داده‌شده است. در AECR خوشه‌هایی با اندازه متعادل بر اساس توزیع گره‌ها تولیدشده و از ایجاد خوشه‌های تصادفی جلوگیری می‌شود. یک الگوریتم توزیع انرژی آگاه به‌منظور تحمل شکست شبکه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در [۱۶] معرفی‌شده است. در این روش ابتدا یک الگوریتم خوشه-بندی ناهمگن انرژی آگاه توزیع‌شده (DEEHC) ارائه‌شده

که سرخوشه‌ها را با توجه به انرژی باقیمانده گره‌ها و با استفاده از تایمر ثانویه انتخاب می‌کند. سپس الگوریتم kVDPR به‌منظور کشف مسیرهای غیر متصل از هر سرخوشه به سینک و جمع‌آوری اطلاعات ارائه می‌گردد. در [۱۷] توازن انتشار پیام‌های اضطراری و طول عمر در شبکه‌های حسگر بدنی (WBAN) با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه و تئوری بازی بیزین مطرح شد. در [۱۸] یک رویکرد مسیریابی انرژی آگاه برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم بانام DREG مطرح شد. در DREG چگونگی زمان‌بندی خواب‌وبیدار گره‌های حسگر به‌منظور کاهش مصرف انرژی در حالت بیکاری بر اساس تئوری بازی و یک رویکرد مسیریابی منطق فازی بررسی‌شده است.

در [۱۹] یک الگوریتم مسیریابی انرژی آگاه بر پایه خوشه‌بندی درختی برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه یافت. هدف این الگوریتم افزایش سرعت انتقال داده‌ها بر اساس پارامترهای اندازه بافر، فاصله تا سینک و کارایی انرژی فرموله شده است. در [۲۰] خوشه‌بندی c-means برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه داده شد. این روش از قابلیت ارتقاء بازه حیاتی شبکه به‌واسطه ایجاد خوشه‌های متقارن برخوردار است که فرایند تصادفی انتخاب گره‌های سرخوشه را بهبود بخشیده و با ایجاد خوشه‌های متقارن فواصل کلی ارتباطات بین خوشه‌ها را کم می‌کند. در [۲۱] یک الگوریتم مسیریابی موردی باانرژی آگاه برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم توسعه داده شد که در آن، روش ارسال داده‌ها به مسیریاب موردبررسی می‌گیرد. در این الگوریتم با محدود کردن تعداد گام‌های ارسالی، سعی در کم کردن مصرف انرژی حاصل از انتقال داده توسط حسگرهای میانی دارد.

کائوشیک، ترکیب روش‌های خوشه‌بندی C-MEANS و شبکه عصبی را برای ایجاد یک شبکه حسگر بی‌سیم با مصرف انرژی کارا پیشنهاد داد[۲۲]. در این روش از یک شبکه ناهمگن استفاده‌شده که دارای چهار نوع نود (normal، advanced، super و supadvanced) می‌باشد. خان و همکاران، نسخه بهبودیافته‌ای از الگوریتم معروف DEEC بانام H-DEEC را ارائه دادند[۲۳]. الگوریتم H-DEEC ترکیبی از دو سناریو خوشه‌بندی و زنجیره‌ای می‌باشد. در H-DEEC، سرخوشه‌ها از طریق بهترین گره‌های انتخابی با استفاده از چندین پرش با سینک ارتباط برقرار می‌کنند. خان و همکاران، از روش فازی TOPSIS برای انتخاب سرخوشه‌ها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با سینک متحرک استفاده کردند [۲۴]. در این روش، یک تکنیک Fuzzy-TOPSIS، بر اساس تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب سرخوشه‌ها و به‌منظور به حداکثر رساندن طول عمر شبکه پیشنهادشده است. علاوه بر این، برای کاهش مصرف انرژی در مسیریابی، یک آستانه مبتنی بر مکانیسم ارتباطی چندمنظوره برون خوشه‌ای و بین خوشه‌ای استفاده می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

در این پژوهش از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته مبتنی بر FCM برای بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده می‌شود. در این الگوریتم برای کار مسیریابی نیز از یک روش مبتنی بر منطق فازی بهره گرفته‌شده است. هدف الگوریتم پیشنهادی تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها، کاهش مصرف انرژی از طریق توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره‌ها و افزایش طول عمر شبکه می‌باشد. در ادامه فرضیات روش تحقیق و ساختار روش پیشنهادی تشریح می‌گردد.

۳-۱- فرضیات روش تحقیق

ساختار شبکه‌های حسگر بی‌سیم ازنظر منابع و توپولوژی باعث ایجاد محدودیت‌هایی در الگوریتم‌های خوشه‌بندی و مسیریابی مبتنی بر آن‌ها شده است. ازاین‌رو الگوریتم‌های ارائه‌شده در این زمینه باید بر مبنای یکسری فرضیات ارائه شوند. در ادامه فرضیات مرتبط با روش تحقیق ارائه‌شده است.

- گره سینک در شبکه حسگر بی‌سیم محدودیت منابع و انرژی ندارد.
- همه کارهای محاسباتی در گره سینک شبکه انجام می‌شود و سایر گره‌های شبکه به‌منظور

حس داده‌های محیط و ارسال اطلاعات بکار گرفته می‌شوند.

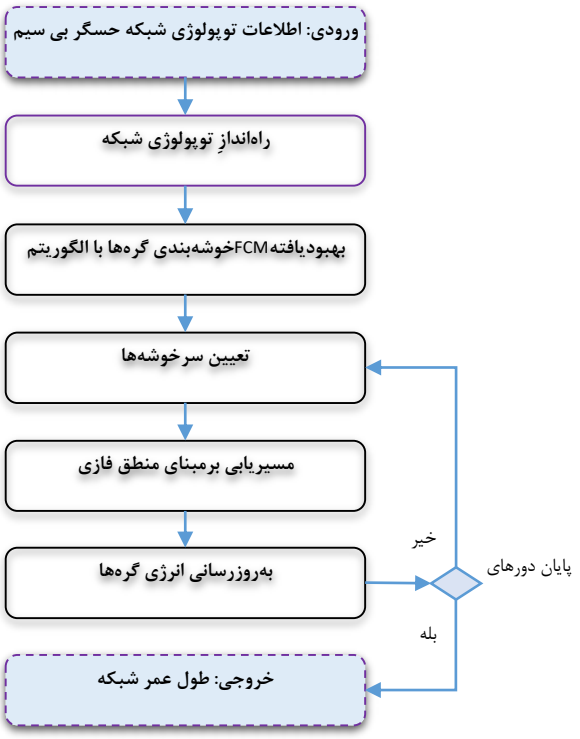
- همه گره‌ها غیر از سینک، محدوده ارسال اطلاعات (برد رادیویی) ثابتی دارند.
- موقعیت گره‌های حسگر و گره سینک در تمام طول عمر شبکه ثابت است.
- موقعیت اولیه گره‌های حسگر تصادفی انتخاب‌شده و گره سینک در مرکز ناحیه فرض می‌شود.
- حجم تمام بسته‌های ارسالی در شبکه ثابت است.
- گره سینک در مورد سطح انرژی و موقعیت گره‌های شبکه از دانش کافی برخوردار است.
- همه گره‌ها انرژی اولیه یکسانی دارند.
- در فرایند مسیریابی همه گره‌های حسگر در حالت خواب هستند و بر اساس جدول زمان‌بندی TDMA، گره‌ها از حالت خواب به حالت بیدار می‌روند و اطلاعات محیط را ارسال می‌کنند.
- زمان‌بندی TDMA مشخص می‌کند که چه گره‌ای و در چه زمانی اطلاعات را ارسال کند که در این تحقیق زمان‌بندی به‌صورت تصادفی مقداردهی می‌شود.

۳-۲- بلوک‌دیاگرام روش پیشنهادی

در این تحقیق از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته مبتنی بر FCM و همچنین یک روش مسیریابی مبتنی بر منطق فازی برای کاهش مصرف انرژی استفاده می‌شود. در این روش ابتدا توپولوژی شبکه با توجه به فرضیات تحقیق ایجاد می‌شود و سپس خوشه‌بندی با الگوریتم FCM انجام می‌شود. پس‌ازآن سرخوشه‌ها بر اساس انرژی باقیمانده و فواصل ارتباطی تعیین می‌گردند. با توجه به اینکه انتقال اطلاعات بر عهده سرخوشه‌ها است و تکرار متوالی مسیریابی باعث کاهش سریع انرژی آن‌ها می‌شود، گره‌های سرخوشه-ها با توجه به یک حد آستانه در طول دورهای مسیریابی به‌روزرسانی می‌شوند. درنهایت بسته‌های اطلاعاتی توسط یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر منطق فازی از گره‌های سرخوشه به سینک ارسال می‌گردد. پس از مسیریابی انرژی باقیمانده گره‌ها بر اساس یک مدل مصرف انرژی به‌روزرسانی می‌شود. بلوک‌دیاگرام روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

۳-۳- راه‌اندازی توپولوژی شبکه

در شبکه حسگر بی‌سیم مورد آزمایش N گره حسگر در یک محیط دوبعدی M×M متر فرض می‌شوند. موقعیت هر گره حسگر به‌صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت تعیین می‌گردد.



شکل ۱: بلوک‌دیاگرام روش پیشنهادی

پس از تعیین ساختار توپولوژی، شبکه راه‌اندازی می‌شود. هنگام راه‌اندازی گره سینک یک بسته کنترلی در شبکه پخش می‌کند و همه گره‌های موجود در ناحیه تحت پوشش با دریافت این بسته موقعیت خود را گزارش می‌کنند. سینک با آگاهی از موقعیت گره‌ها ماتریس فاصله‌های

درون‌شبکه‌ای ($\boldsymbol{D}$) را ایجاد می‌کند. ساختار این ماتریس به‌صورت رابطه (۱) است.

$$D=\begin{bmatrix} 0 & \dots & d_{1,j} & \dots & d_{1,N} & d_{1,sink} \\ \dots & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{i,1} & \dots & 0 & \dots & d_{i,N} & d_{i,sink} \\ \dots & \dots & \dots & 0 & \dots & \dots \\ d_{N,1} & \dots & d_{N,j} & \dots & 0 & d_{N,sink} \\ d_{sink,1} & \dots & d_{sink,j} & \dots & d_{sink,N} & 0 \end{bmatrix} \quad (۱)$$

در اینجا $\boldsymbol{d_{i,j}}$ فاصله بین گره‌های i و j را نشان می‌دهد که با رابطه اقلیدسی محاسبه‌شده است.

با توجه به حداکثر شعاع حسگری، پارامتر $\boldsymbol{d_0}$ برد رادیویی گره‌های شبکه را برحسب متر نشان می‌دهد. به‌طورکلی امکان تبادل اطلاعات بین گره‌هایی بافاصله بیشتر از $\boldsymbol{d_0}$ وجود ندارد؛ بنابراین ماتریس $\boldsymbol{D}$ به‌صورت $\boldsymbol{d_{i,j}=0}$, $\boldsymbol{if\ d_{i,j}>d_0}$ به‌روزرسانی می‌شود.

۳-۴- خوشه‌بندی گره‌ها با الگوریتم FCM بهبودیافته

ازآنجاکه کاهش تعداد خوشه‌ها منجر به کاهش تعداد سرخوشه‌ها و درنهایت باعث کاهش تعداد مسیرهای انتقال اطلاعات می‌شود، خوشه‌بندی و تعیین بهینه تعداد خوشه‌ها امری ضروری است. در این مقاله از الگوریتم FCM برای کار خوشه‌بندی استفاده‌شده است.

دو مسئله مهم در اینجا تعداد خوشه‌های بهینه ($\boldsymbol{K_{opt}}$) و حداکثر شعاع حسگری گره‌ها می‌باشد. در الگوریتم خوشه-بندی پیشنهادی سعی شده با بررسی تعداد خوشه‌های مختلف، $\boldsymbol{K_{opt}}$ به‌صورت خودکار تعیین شود. سرخوشه‌ها باید داده‌های محیط را از همه گره‌های عضو دریافت کند، ازاین‌رو حداکثر شعاع حسگری نیز اهمیت دارد. بنابراین همه گره‌های عضو یک خوشه باید در شعاع حسگری گره سرخوشه قرار داشته باشند. به‌طورکلی، هر چه تعداد گره-های کاندید سرخوشه در یک خوشه بیشتر باشد، توزیع مصرف انرژی مناسب‌تری در شبکه وجود خواهد داشت. گره کاندید سرخوشه، گره‌ای است که همه اعضاء خوشه در حداکثر شعاع حسگری آن باشند. بنابراین دو معیار «حداکثر سازی تعداد گره‌های کاندید سرخوشه» و «حداقل سازی تعداد خوشه‌ها» در خوشه‌بندی حائز اهمیت هستند.

با توجه به تضاد بین این دو معیار، در اینجا از یک حد آستانه برای ایجاد تعادل بین این دو پارامتر استفاده می‌شود. ازاین‌رو تعداد خوشه‌های بهینه زمانی حاصل می‌شود که $\boldsymbol{\psi}$ درصد از گره‌های یک خوشه دارای فاصله کمتر یا مساوی $\boldsymbol{d_0}$ با سایر اعضاء باشند. حد آستانه $\boldsymbol{\psi} \in [\mathbf{0},\mathbf{1}]$ است و تعداد گره‌های سرخوشه را در هر خوشه کنترل می‌کند. مقدار $\boldsymbol{\psi}$ وقتی نزدیک به ۱ است باعث می‌شود تعداد خوشه‌های بهینه به سمت تعداد گره‌ها برود ($\boldsymbol{K_{opt}=N}$) و مقدار نزدیک به صفر برای $\boldsymbol{\psi}$ باعث می‌شود که تعداد خوشه‌های بهینه به سمت ۱ نگاشت کند ($\boldsymbol{K_{opt}=1}$). شکل ۲ مراحل الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر FCM

۱. شروع
۲. تعداد خوشه‌های اولیه را برابر ۱ قرار بده ($K=1$).
۳. خوشه‌بندی گره‌ها با روش FCM به K خوشه.
۴. مقدار k را برابر ۱ قرار بده.
۵. پارامتر χ را برابر تعداد گره‌های کاندید خوشه k-ام قرار بده.
۶. اگر $\chi \le \psi \times N_k$ است؛ یک واحد به k اضافه کن. در غیر این صورت یک واحد به K اضافه کن و به مرحله ۳ برو.
۷. اگر $k \le K$ است؛ یک واحد به k اضافه کن و به مرحله ۴ برو. در غیر این صورت تعداد خوشه‌های بهینه K است ($K_{opt}=K$).
۸. پایان

شکل ۲: الگوریتم خوشه‌بندی پیشنهادی

در این الگوریتم $\boldsymbol{N_k}$ تعداد گره‌های خوشه k-ام‌است. تعداد خوشه‌های اولیه برابر ۱ فرض شده و این مقدار تا زمانی که محدودیت تعداد گره‌های کاندید سرخوشه برطرف نشده اضافه می‌گردد. در نظر گرفتن پیش‌فرض ۱ برای تعداد خوشه‌ها تضمین‌کننده حداقل سازی $\boldsymbol{K_{opt}}$ توسط الگوریتم است.

۳-۵- تعیین سرخوشه‌ها

در طی فرایند مسیریابی انرژی سرخوشه‌ها به دلیل ارسال متوالی بسته‌های اطلاعاتی کم شده و درنهایت تمام می‌شود. به‌منظور جلوگیری از اتمام سریع انرژی سرخوشه-ها، گره‌های یک خوشه را با چرخش سرخوشه تغییر می‌دهد. در این مقاله، سرخوشه‌ها از میان گره‌های کاندید یک خوشه انتخاب می‌شوند.

انتخاب یا به‌روزرسانی سرخوشه‌ها بر اساس معیارهای «انرژی بیشتر»، «حداقل فاصله تا دیگر اعضا خوشه» و «حداقل فاصله تا سینک» انجام می‌شود. رابطه (۲) احتمال سرخوشه شدن c-مین گره کاندید از خوشه k-ام را نشان می‌دهد.

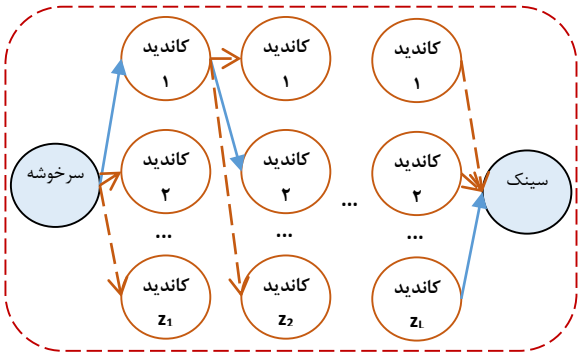
$$p_c = \frac{e_c}{d_c(k) + d_{c,sink}} \qquad (۲)$$

در این رابطه، e_c انرژی گره c، $d_c(k)$ مجموع فاصله گره c با سایر اعضا خوشه k-ام و $d_{c,sink}$ فاصله گره c تا سینک است. با این تعریف گره‌ای که برای سرخوشه انتخاب می‌شود دارای حداکثر انرژی باقیمانده، حداقل مجموع فواصل ارتباطی با سایر اعضا و همچنین حداقل فاصله تا سینک می‌باشد. برای کاهش پیچیدگی حاصل از راه‌اندازی شبکه، از حد آستانه η با توجه به دورهای مسیریابی برای به‌روزرسانی گره‌های سرخوشه استفاده می‌شود.

۳-۶- الگوریتم مسیریابی بر مبنای منطق فازی

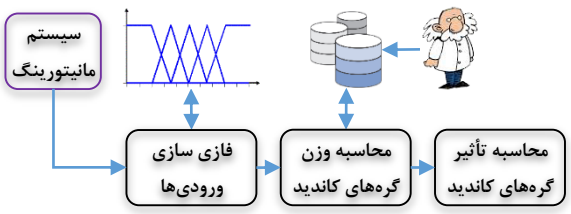
در این تحقیق با توجه به محدودیت حداکثر شعاع حسگری، نمی‌توان مستقیماً و تنها با یک پرش اطلاعات را به سینک ارسال کرد؛ بنابراین نیاز به یک الگوریتم چند-پرشه برای ارسال اطلاعات می‌باشد. در این مقاله مسیریابی با استفاده از یک روش مبتنی بر منطق فازی انجام می‌شود. در همه مسیریابی‌ها گره مبدأ سرخوشه و گره مقصد سینک است. در هر گام از فرایند مسیریابی، گره بعدی در مسیر از بین گره‌های کاندید مسیر انتخاب می‌شود. گره‌های کاندید مسیر در هر گام، گره‌هایی هستند که در شعاع حسگری گره جاری از مسیر قرار داشته باشند. شکل ۳ مفهوم گره-های کاندید مسیر و ایجاد مسیر را نشان می‌دهد.

در هر گام از مسیر با استفاده از منطق فازی، میزان تأثیر انتخاب هر گره کاندید به‌عنوان گره بعدی مسیر محاسبه‌شده و سپس با معیار چرخ رولت گره بعدی در مسیر انتخاب می‌شود. خاصیت تصادف در انتخاب گره بعدی مسیر از ایجاد مسیرهای تکراری جلوگیری کرده و توزیع مصرف انرژی بهتری را ارائه می‌دهد.



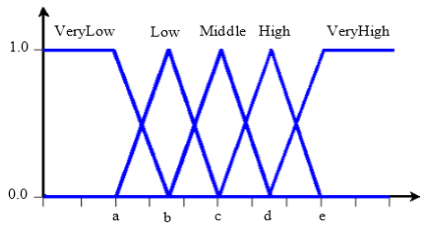
شکل ۳: مفهوم گره‌های کاندید مسیر

شکل ۴ ساختار الگوریتم مسیریابی پیشنهادی را نشان می‌دهد. مؤلفه مانیتورینگ ویژگی‌های «انرژی باقیمانده (er)»، «فاصله تا گره جاری (dc)» و «میزان کاهش فاصله تا سینک (ds)» را از گره‌های کاندید استخراج کرده و به ورودی مدل فازی می‌دهد. سیستم فازی بر مبنای این ویژگی‌ها و همچنین پایگاه قوانین، وزن هر گره را محاسبه می‌کند. به‌طورکلی، وزن هر گره نشان‌دهنده اهمیت انتخاب آن گره به‌عنوان گره بعدی است. در اینجا فرض شده پایگاه قوانین توسط شخص خبره ایجادشده است.



شکل ۴: ساختار الگوریتم مسیریابی پیشنهادی

فازی سازی ورودی‌ها با استفاده از مجموعه فازی مطابق شکل ۵ انجام می‌شود. این مجموعه فازی ۵ حالته به‌صورت مثلثی با حد آستانه‌های a، b، c، d و e تعریف‌شده است.



شکل ۵: مجموعه فازی برای فازی سازی ورودی‌ها

درجه عضویت پارامترهای ورودی به هر مجموعه فازی بر اساس استدلال ضرب ممانی محاسبه می‌شوند. با توجه به مقادیر درجه عضویت و پایگاه قوانین فازی، وزن گره کاندید تعیین می‌گردد. مثالی از قوانین در نظر گرفته‌شده به‌صورت رابطه (۳) است.

$$if\ (er\ is\ Low)\ and\ (dc\ is\ VerHigh)\ and\ (ds\ is\ Middle\ or\ High)\ then\ w = 0.1 \qquad (۳)$$

درنهایت میزان تأثیر انتخاب گره کاندید ($\boldsymbol{w}$) به‌عنوان گره بعدی در مسیر برمبنای وزن تعیین‌شده از قوانین فازی محاسبه می‌شود. رابطه (۴) میزان تأثیر c-مین گره کاندید ($\mathbf{F_c}$) را نشان می‌دهد.

$$\mathrm{F}_c = w_c \times \frac{e_c + \left(d_{cur,sink} - d_{c,sink}\right)}{d_{cur,c}} \qquad (۴)$$

در این رابطه، $\boldsymbol{w_c}$ و $\boldsymbol{e_c}$ به ترتیب وزن و انرژی گره کاندید c-ام، $\boldsymbol{d_{cur,c}}$ فاصله گره جاری مسیر تا گره کاندید c-ام، $\boldsymbol{d_{c,sink}}$ فاصله گره جاری مسیر تا سینک و $\boldsymbol{d_{cur,sink}}$ فاصله کاندید c-ام تا سینک می‌باشد. با توجه به تفاوت در محدوده پارامترهای انرژی و فاصله، مقادیر این پارامترها قبل از محاسبه $\mathbf{F_c}$ بین [0 , 1] نرمال می‌شود.

درنهایت با محاسبه میزان تأثیر همه گره‌های کاندید، گره بعدی مسیر بر مبنای معیار چرخ رولت انتخاب می‌شود. در هنگام مسیریابی در صورت وجود بن‌بست در مسیر، الگوریتم مسیریابی مجدداً برای جستجوی یک مسیر جدید بین سرخوشه و سینک راه‌اندازی می‌شود. بن‌بست زمانی رخ می‌دهد که هیچ گره کاندیدی برای گره جاری در مسیر وجود نداشته باشد. در هر مرحله از مسیریابی در صورت قرار گرفتن سینک در شعاع حسگری گره جاری، مسیر با انتخاب گره سینک پایان می‌یابد.

۳-۷- به‌روزرسانی انرژی گره‌ها

در این پژوهش مطابق مرجع [۲۲] از الگوی مصرف انرژی برای گره‌های ارسال‌کننده اطلاعات ($\boldsymbol{E_{tx}}$) و دریافت‌کننده اطلاعات ($\boldsymbol{E_{rx}}$) به‌صورت روابط (۵) و (۶) استفاده می‌شود.

$$E_{tx} = \begin{cases} E_{elec} \times l + \varepsilon_{fs} \times l \times d^2 & , \quad d > d_0 \\ E_{elec} \times l + \varepsilon_{mp} \times l \times d^4 & , \quad d \le d_0 \end{cases} \qquad (۵)$$

$$E_{rx} = E_{elec} * l \qquad (۶)$$

جائی که $\boldsymbol{E_{elec}}$، انرژی لازم برای ارسال یا دریافت یک بیت، $\boldsymbol{\varepsilon_{mp}}$ و $\boldsymbol{\varepsilon_{fs}}$ انرژی لازم جهت تقویت سیگنال ارسالی در طول مسافت موردنظر است. $\boldsymbol{l}$ اندازه بسته ارسالی برحسب ·ایت و $\boldsymbol{d}$ فاصله تا گره دریافت‌کننده اطلاعات می‌باشد. $\boldsymbol{d_0}$ ک حد آستانه برای ارسال پیام (حداکثر شعاع حسگری) برحسب فاصله بوده و معمولاً $\boldsymbol{d_0} = \sqrt{\boldsymbol{\varepsilon_{fs}}/\boldsymbol{\varepsilon_{mp}}}$ در نظر گرفته می‌شود.

پس از هر دور مسیریابی، انرژی باقیمانده گره‌های حسگر با توجه به نوع فعالیت انجام داده به‌روزرسانی می‌شود. جدول میزان مصرف انرژی گره‌ها را در طول فرایند مسیریابی شان می‌دهد.

جدول ۱: انرژی مصرفی گره‌ها در فرایند مسیریابی

فرایند مسیریابی		میزان انرژی مصرفی
بیدار شدن گره‌های عضو خوشه		$E_{wake}(i)$
جمع‌آوری داده‌های محیط		$E_{sense}(i)$
ارسال داده‌های استخراج‌شده از گره‌های عضو خوشه به سرخوشه	ارسال	$E_{tx}(i, CH)$
	دریافت	$E_{rx}(CH)$
ترکیب داده‌ها توسط سرخوشه و ایجاد بسته اطلاعاتی		$N_{CH} \times l \times E_{DA}(CH)$
ارسال بسته از سرخوشه به سینک به ازای هر جفت گره (i,j) از مسیر	ارسال	$E_{tx}(i,j)$
	دریافت	$E_{rx}(j)$

در اینجا $(\boldsymbol{CH})\boldsymbol{E_{DA}}$، انرژی لازم برای ترکیب یک بیت داده در سرخوشه $\boldsymbol{CH}$ و $\boldsymbol{N_{CH}}$تعداد گره‌های عضو آن خوشه است.

۴- نتایج و بحث

در این بخش عملکرد الگوریتم پیشنهادی به‌منظور بهبود مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در تمام آزمایش‌ها به‌منظور حصول اطمینان از نتایج، میانگین ۱۵ بار اجرای متمایز الگوریتم‌ها گزارش می‌شود. برای ارزیابی و مقایسه از معیارهای طول عمر شبکه، گره‌های زنده، انرژی باقیمانده گره‌ها، میانگین و انحراف معیار انرژی باقیمانده کل شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی استفاده‌شده است.

شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB ورژن 2017a شده و برای کار مقایسه از الگوریتم‌های DirectTransmission، SH-MEER و MH-MEER استفاده‌شده است. الگوریتم DirectTransmission از خوشه‌بندی FCM و ارسال مستقیم اطلاعات از هر گره به سینک استفاده می‌کند. SH-MEER نیز از خوشه‌بندی FCM استفاده می‌کند اما مسیریابی به‌صورت تک-پرشه از سرخوشه‌ها به سینک انجام می‌شود. الگوریتم MH-MEER عملکردی مشابه SH-MEER دارد و فقط برای ارسال اطلاعات از یک مسیریابی چند-پرشه مبتنی بر ژنتیک استفاده می‌کند. مقدار پارامترهای استفاده در شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی به این صورت است؛

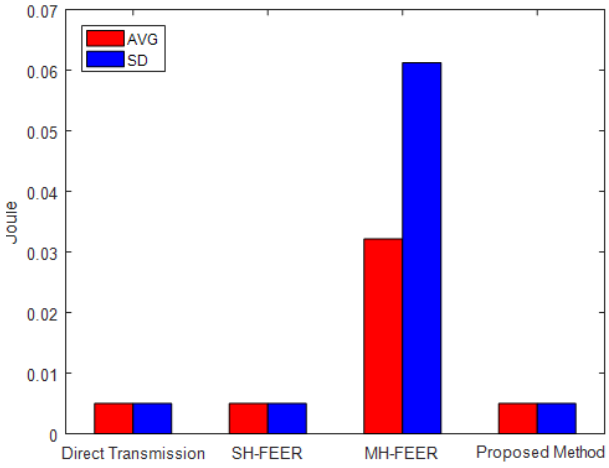
$$\boldsymbol{\psi = 0.4, \eta = 25, a = 0.1, b = 0.2, c = 0.5, d = 0.7, e = 0.9}$$

توپولوژی شبکه حسگر بی‌سیم مورد آزمایش مطابق مرجع [۲۲] و بر مبنای پارامترهای جدول ۲ در نظر گرفته‌شده است.

جدول ۲: پارامترهای توپولوژی شبکه حسگر بی‌سیم مورد آزمایش

پارامتر	مقدار
تعداد گره‌های حسگر	۱۰۰
محدوده جغرافیایی	۱۰۰×۱۰۰ متر
موقعیت گره سینک	۵۰×۵۰ متر
-ام شبکهiموقعیت گره	تصادفی
انرژی اولیه گره‌های حسگر	۰٫۲ ژول
تعداد دورهای مسیریابی	۱۵۰۰
اندازه بسته‌های ارسالی (l)	۴ کیلوبایت
انرژی ارسال/دریافت یک بیت داده (E_{elec})	ژول بر بیت 50×10^{-9}
انرژی تقویت سیگنال در مسافت کوتاه (ε_{mp})	ژول بر بیت100×10^{-12}
انرژی تقویت سیگنال در مسافت طولانی (ε_{fs})	ژول بر 1000×10^{-12} بیت
انرژی ترکیب یک بیت داده (E_{DA})	ژول بر بیت 2×10^{-9}
انرژی بیدار شدن یک گره از خواب (E_{wake})	ژول بر بیت 5×10^{-9}
انرژی جمع‌آوری داده‌های محیط (E_{sense})	ژول بر بیت 10×10^{-9}

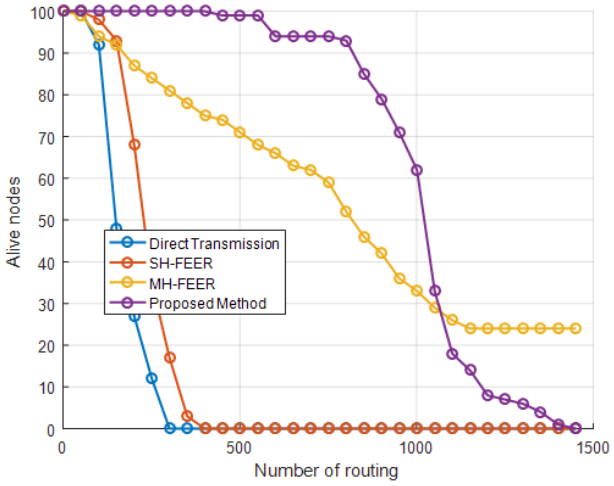
در اینجا روش پیشنهادی با روش‌های DirectTransmission، SH-MEER و MH-FEER با توجه به دو معیار میانگین و انحراف معیار انرژی باقیمانده کل شبکه مقایسه می‌شود. این معیارها پس از ۱۵۰۰ دور مسیریابی برای همه گره‌های شبکه محاسبه‌شده است. توپولوژی مورد آزمایش برای همه روش‌ها یکسان است و آزمایش در شرایط برابری انجام‌شده است. شکل ۶ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.



شکل ۶: مقایسه میانگین و انحراف معیار انرژی باقیمانده

نتایج نشان می‌دهد که در روش‌های DirectTransmission و SH-MEER مقدار میانگین انرژی باقیمانده تقریباً صفر است. دلیل این وضعیت استفاده از انتقال مستقیم و تک-پرشه اطلاعات برای هر گره است. ازاین‌رو در این دو روش مقدار انحراف معیار پایین است، چون انرژی همه گره‌ها تقریباً به میزان مشابهی کم شده می‌شود.

علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که بعد از ۱۵۰۰ دور مسیریابی، اغلب گره‌ها انرژی خود را ازدست‌داده و تنها گره‌هایی که امکان سرخوشه شدن را ندارند، زنده مانده و دارای انرژی می‌باشند. به‌هرحال، روش پیشنهادی انحراف معیار انرژی بهتری را گزارش می‌دهد که این امر نشان‌دهنده توزیع مناسب‌تر انرژی در شبکه است. به‌منظور بررسی میزان تفاوت در معیار میانگین انرژی باقیمانده باانرژی اولیه‌های متفاوت درروش پیشنهادی و MH-FEER آزمایش دیگری انجام‌شده است. در ادامه روش‌های مختلف ازلحاظ معیار تعداد گره‌های زنده نسبت به دورهای مسیریابی مقایسه می‌شوند. شکل ۷ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.

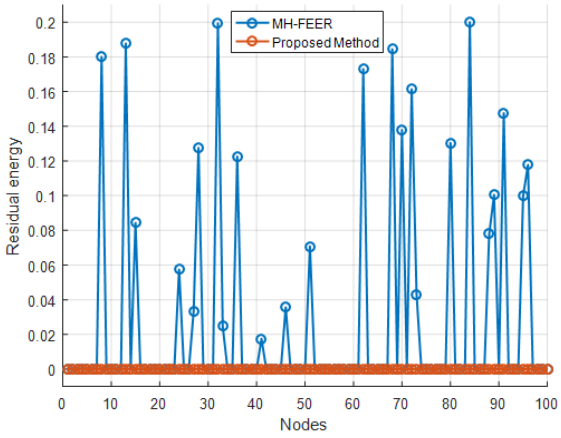


شکل ۷: مقایسه تعداد گره‌های زنده نسبت به مسیریابی

در این آزمایش روش‌های DirectTransmission و SH-MEER در دورهای مسیریابی ابتدایی، اولین گره‌هایی باانرژی صفر را تولید می‌کنند. این روند با سرعت زیادی ادامه می‌یابد تا درنهایت همه گره‌ها می‌میرند. نتایج این مقایسه برتری روش پیشنهادی را نسبت به روش MH-FEER نشان می‌دهد. به‌روزرسانی سرخوشه‌ها با حد آستانه مشخص باعث توزیع مناسب مصرف انرژی بین گره-ها شده و به همین دلیل روش پیشنهادی طول عمر شبکه بهتری را ارائه می‌دهد. یکی دیگر از دلایل افزایش طول عمر شبکه درروش پیشنهادی استفاده مسیریابی مبتنی بر منطق فازی است که اولویت بیشتری به گره‌هایی باانرژی بالا در مسیریابی می‌دهد.

مقایسه روش MH-FEER با روش پیشنهادی در معیار تعداد گره‌های زنده نشان می‌دهد که پس از پایان ۱۵۰۰ دور مسیریابی، روش پیشنهادی تعداد گره‌های مرده بیشتری را تولید کرده است. هرچند روش پیشنهادی طول عمر شبکه بهتری را گزارش داده است. روش پیشنهادی با طول عمر ۴۳۹ نسبت به روش MH-FEER با طول عمر ۴۴ برتری قابل‌توجهی دارد، این در حالی است که بعد از پایان دورهای مسیریابی روش MH-FEER تعداد ۲۳ گره زنده و روش پیشنهادی تنها ۴ گره زنده دارد. دلیل این امر، عدم ارسال بسته توسط روش MH-FEER است. درواقع این روش پس از مرگ چندین گره، امکان تعیین سرخوشه و ارسال اطلاعات را از دست می‌دهد.

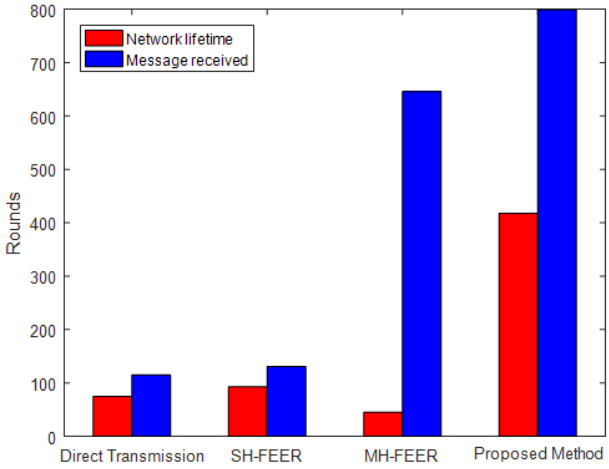
برای بررسی بیشتر روش‌های پیشنهادی و MH-FEER مقدار انرژی باقیمانده هر یک از گره‌ها به‌صورت مجزا پس از پایان ۱۵۰۰ دور مسیریابی نشان در شکل ۸ داده‌شده است.



شکل ۸: انرژی باقیمانده گره‌ها در روش‌های پیشنهادی و MH-FEER

نتایج این آزمایش با توجه به نزدیکی انرژی باقیمانده گره‌ها درروش پیشنهادی نشان‌دهنده توزیع مناسب مصرف انرژی کل شبکه است. انرژی باقیمانده اغلب گره‌ها برای روش پیشنهادی تقریباً صفر است. همان‌طور که مشخص است تعداد گره‌های زنده درروش MH-FEER و روش پیشنهادی به ترتیب ۲۴ و ۲ است که این تعداد گره زنده درروش MH-FEER پراکندگی انرژی گره‌ها را به‌وضوح نشان می‌دهد؛ بنابراین تراکم حضور گره‌ها با توجه به انرژی باقیمانده عملکرد خوب روش پیشنهادی در توزیع مناسب مصرف انرژی نشان می‌دهد.

در آخرین آزمایش روش‌های مختلف نسبت به دو معیار تعداد بسته‌های ارسالی و طول عمر شبکه ارزیابی می‌شوند. شکل ۹ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.



شکل ۹: مقایسه طول عمر شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی

طول عمر شبکه و تعداد بسته‌های ارسالی درروش پیشنهادی به ترتیب ۴۳۹ و ۷۹۶ می‌باشد که نسبت به سایر روش‌ها بهتر است. با توجه به آزمایش‌ها و مقایسه‌های انجام‌شده روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها در اغلب معیارها عملکرد بهتری داشته و در سایر موارد نیز نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. در رتبه دوم الگوریتم MH-FEER و پس‌ازآن SH-FEER قرار دارد. در حالت میانگین در معیار تعداد بسته‌های ارسالی روش پیشنهادی نسبت به روش MH-FEER حدود ۱۹ درصد برتری دارد.

۵-نتیجه‌گیری

افزایش طول عمر شبکه به‌عنوان چالشی اساسی در توسعه شبکه‌های حسگر بی‌سیم به شمار می‌آید. مسیریابی مبتنی بر خوشه‌بندی به‌عنوان یک راهکار مناسب به‌منظور حل این چالش است. در این تحقیق از یک الگوریتم خوشه‌بندی توسعه‌یافته مبتنی بر FCM و همچنین یک روش مسیریابی مبتنی بر منطق فازی به‌منظور بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم و کاهش مصرف انرژی استفاده شد. در اغلب تحقیقات گذشته، خوشه‌بندی گره‌ها حسگر تنها بر مبنای فاصله انجام می‌شود و این در حالی است که استفاده از معیار انرژی باقیمانده می‌تواند در کارایی الگوریتم خوشه‌بندی مؤثر باشد. ازاین‌رو الگوریتم خوشه‌بندی FCM پیشنهادی بر مبنای پارامترهای فاصله درون خوشه‌ای، فاصله تا سینک و همچنین انرژی باقیمانده سفارشی‌شده

است. الگوریتم مسیریابی پیشنهادی نیز بر اساس منطق فازی در هر مرحله سعی در انتخاب مناسب‌ترین گره در مسیر دارد. این الگوریتم با یک مسیریابی چند-پرشه و استفاده از پرش‌هایی با فواصل کوتاه‌تر، انرژی کمتری را از هر گره مصرف می‌کند؛ بنابراین الگوریتم پیشنهادی باعث توزیع صحیح مصرف انرژی از طریق یک مسیریابی انرژی آگاه می‌شود.

مراجع

[1] Rault, T., Bouabdallah, A., & Challal, Y. (2014). Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey. Computer Networks, 67, 104-122.

[2] Azharuddin, M., Kuila, P., & Jana, P. K. (2015). Energy efficient fault tolerant clustering and routing algorithms for wireless sensor networks. Computers & Electrical Engineering, 41, 177-190.

[3] Abidi, B., Jilbab, A., & Haziti, M. E. (2017). Wireless sensor networks in biomedical: Wireless body area networks. In Europe and MENA Cooperation Advances in Information and Communication Technologies (pp. 321-329). Springer, Cham.

[4] Tunca, C., Isik, S., Donmez, M. Y., & Ersoy, C. (2014). Distributed mobile sink routing for wireless sensor networks: A survey. IEEE communications surveys & tutorials, 16(2), 877-897.

[5] Younis, M., Senturk, I. F., Akkaya, K., Lee, S., & Senel, F. (2014). Topology management techniques for tolerating node failures in wireless sensor networks: A survey. Computer Networks, 58, 254-283.

[6] Singh, S. P., & Sharma, S. C. (2015). A survey on cluster based routing protocols in wireless sensor networks. Procedia computer science, 45, 687-695.

[7] Fu, C., Jiang, Z., Wei, W. E. I., & Wei, A. (2013). An energy balanced algorithm of LEACH protocol in WSN. International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 10(1), 354.

[8] Ahlawat, A., & Malik, V. (2013, April). An extended vice-cluster selection approach to improve v leach protocol in WSN. In Advanced Computing and Communication Technologies (ACCT), 2013 Third International Conference on (pp. 236-240). IEEE.

[9] Shah, R. C., & Rabaey, J. M. (2002, March). Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks. In Wireless Communications and Networking Conference, 2002. WCNC2002. 2002 IEEE (Vol. 1, pp. 350-355). IEEE.

[10] Akbar, M., Javaid, N., Khan, A. H., Imran, M., Shoaib, M., & Vasilakos, A. (2016). Efficient data gathering in 3D linear underwater wireless sensor networks using sink mobility. Sensors, 16(3), 404.

[11] Barzegari, S., & Masdari, M. (2016). A Novel Fuzzy CMeans-Based Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks. International Journal of Grid and Distributed Computing, 9(2), 193-202.

[۱۲] بصیری قایمی پسند، علی. (۱۳۹۷)، ارائه طرح جدیدی برای خوشه‌بندی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های تلفیقی، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حسابداری و مدیریت و هفتمین کنفرانس کارآفرینی و نوآوری‌های باز، تهران، شرکت همایشگران مهر اشراق.

[۱۳] فاطمی، میر پیمان، نقی پور، عوض، صمد زمینی، کریم. (۱۳۹۷)، ارائه الگوریتم جدید بر اساس منطق فازی جهت کاهش مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، دومین کنفرانس زیرساخت‌های انرژی، مهندسی برق و نانو فناوری، تهران، انجمن انرژی ایران.

[۱۴] علمداری، سروش، فراهانی، غلامرضا، فرشید فرزاد، مهدی. (۱۳۹۷)، بهبود مسیریابی چندگانه بر پایه خوشه‌بندی فازی و الگوریتم ازدحام ذرات بهینه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم جهت کاهش مصرف انرژی، کنگره ملی سالانه ایده‌های نوین پژوهشی در علوم مهندسی

و تکنولوژی، برق و کامپیوتر، ساری، موسسه آموزش عالی هدف ساری.

[۱۵] رحمانی، سارا، شاکری، مجتبی. (۱۳۹۷)، الگوریتم هوش کوهورت تطبیق‌پذیر برای مسئله خوشه‌بندی داده‌ها، هشتمین کنفرانس هوش مصنوعی و رباتیک و دهمین سمپوزیوم بین‌المللی روبوکاپ آزاد ایران ۲۰۱۸، قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین.

[۱۶] پور اصغر، بابک، ایزد خواه، حبیب. (۱۳۹۷)، یک الگوریتم خوشه‌بندی جدید مبتنی برافراز برای پیمانه بندی سیستم‌های نرم‌افزاری، چهارمین کنفرانس ملی محاسبات توزیعی و پردازش داده‌های بزرگ، تبریز، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان.

[۱۷] فرج‌پورتبریزی، امیرحسین، ایزد خواه، حبیب. (۱۳۹۷)، ارائه یک روش ترکیبی برای خوشه‌بندی نرم‌افزار با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم‌های سلسله‌مراتبی، چهارمین کنفرانس ملی محاسبات توزیعی و پردازش داده‌های بزرگ، تبریز، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان.

[18] Kumar, A., Kumar, D., & Jarial, S. K. (2017). A hybrid clustering method based on improved artificial bee colony and fuzzy C-Means algorithm. Int. J. Artif. Intell, 15(2), 24-44.

[19] Goel, N., & Aujl, G. (2013, April). Simulation and feasibility analysis: Hierarchical Energy Efficient Routing Protocol (HEERP) for Wireless Sensor Network. In Communications and Signal

Processing (ICCSP), 2013 International Conference on (pp. 1143-1148). IEEE.

[20] Bouyer, A., Hatamlou, A., & Masdari, M. (2015). A new approach for decreasing energy in wireless sensor networks with hybrid LEACH protocol and fuzzy C-means algorithm. International Journal of Communication Networks and Distributed Systems, 14(4), 400-412.

[21] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. Computer networks, 38(4), 393-422.

[22] Kaushik, A. K. (2016). A hybrid approach of fuzzy c-means clustering and neural network to make energy-efficient heterogeneous wireless sensor network. International Journal of Electrical and Computer Engineering, 6(2), 674.

[23] Khan, M. Y., Javaid, N., Khan, M. A., Javaid, A., Khan, Z. A., & Qasim, U. (2013). Hybrid DEEC: Towards efficient energy utilization in wireless sensor networks. arXiv preprint arXiv:1303.4679.

[24] Khan, B. M., Bilal, R., & Young, R. (2017). Fuzzy-TOPSIS based Cluster Head selection in mobile wireless sensor networks. Journal of Electrical Systems and Information Technology.



ابوالقاسم خوشنود دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خورموج و موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی-غیر دولتی لیان بوشهر دریافت کرده است. زمینه‌های علاقه‌مندی وی مسائل داده‌کاوی، پردازش تصویر، مسیریابی شبکه و بهینه‌سازی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

khoshnood.abolghasem@gmail.com

ارتباط با کهربا

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

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

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