

## Optimum Design of Solar Power Plant in Off-Grid Mode in Order to Reduce Construction Costs and the Amount of Unsupplied Load by ALPSO Algorithm

Layth Khudhair Abbas Halae<sup>1</sup>, *MSC Student*, Mohammad Mahdi Rezaei<sup>2</sup>, *Assistant Professor*

<sup>1</sup> *Department of Electrical Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Khorasgan, Isfahan, Iran*

<sup>2</sup> *Department of Electrical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr, Isfahan, Iran*

### Abstract:

Solar energy is the world's most unique and affordable renewable energy source and can be converted into many other forms. In this article, it will be discussed in a long-term perspective the technical and economic feasibility of installing stand-alone solar power plant units with battery support to supply part of Baghdad's electricity. The objective function of this problem includes the cost of installation and maintenance of solar panels, batteries and inverter, which is solved with a certain interest rate in a 20-year perspective using IPSO and ALPSO methods. Furthermore, the load loss supplied and the charging/discharging limit are among the constraints. This article is unique in that it is implemented in the context of Baghdad city, and it also investigates the possible profit from selling power to main grid. Other features and innovations include the implementation of the new ALPSO algorithm. In this algorithm, the constraints of the problem are respected through a three-step adaptive search process. The results show that the proposed methods significantly reduce the lost load (especially in the ALPSO method), reduce the cost of maintenance and installation, and generally improve the performance of the system.

**Keywords:** Photovoltaic, Optimization, Meta-heuristic algorithm, Inverter, Battery, Solar energy

**Received:** 09 November 2022

**Revised:** 15 December 2022

**Accepted:** 02 January 2023

**Corresponding Author:** Dr. Mohammad Mahdi Rezaei, mm.rezaei@iaukhsh.ac.ir

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teeges.2023.1972393.1049>



## طراحی بهینه یک نیروگاه خورشیدی جدا از شبکه به منظور کاهش هزینه های احداث و میزان بار تأمین نشده با استفاده از الگوریتم ALPSO

لیث خضیر عباس هلائی<sup>۱</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد، محمدمهدی رضایی<sup>۲</sup>، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، خوراسگان، اصفهان، ایران

۲- دانشکده مهندسی برق، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، اصفهان، ایران

**چکیده:** انرژی خورشیدی منحصربه فردترین و مقرون به صرفه منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و می تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد. لذا در این مقاله قرار است تا به صورت کلان و در چشم انداز دراز مدت به امکان سنجی فنی و اقتصادی نصب یک واحد نیروگاه خورشیدی از نوع منفصل از شبکه با پشتیبانی باتری برای تأمین بخشی از برق شهر بغداد در کشور عراق پرداخته شود. تابع هدف این مسئله شامل هزینه نصب و تعمیر و نگهداری صفحات خورشیدی، باتری‌ها و اینورتر است که با نرخ بهره مشخص در چشم انداز ۲۰ ساله با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری IPSO و ALPSO برای حل شده است، همچنین فاکتور میزان بار از دست رفته، حد مجاز شارژ و دشار باتری‌ها از جمله قیود اصلی مسئله هستند. یکی از ویژگی‌هایی که این مقاله را از سایر مقالات متمایز می کند اجرای آن برای مورد عملی شهر بغداد است، همچنین بررسی سود احتمالی حاصل از فروش برق به شبکه بالادست و استفاده از الگوریتم جدید ALPSO هم از دیگر ویژگی‌ها و نوآوری‌های این مقاله به شمار می‌روند. این الگوریتم از یک فرآیند جستجوی تطبیقی سه مرحله‌ای استفاده می‌کند و باعث می‌شود تا قیود مسئله به خوبی رعایت شوند. نتایج نشان می‌دهند که روش‌های پیشنهادی باعث کاهش قابل توجه بار از دست رفته (به خصوص در روش ALPSO)، کاهش هزینه تعمیر نگهداری و نصب می‌شوند و در کل باعث بهبود عملکرد سیستم می‌شوند.

**واژه های کلیدی:** فتوولتائیک، بهینه‌سازی، الگوریتم فرا ابتکاری، اینورتر، باتری، انرژی خورشیدی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲

نویسنده‌ی مسئول: دکتر محمدمهدی رضایی، mm.rezaei@iaukhsh.ac.ir

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teeges.2022.1885851.1173>





خورشید بزرگترین منبع انرژی کره زمین است که می‌تواند بیشتر توان مورد نیاز برای مصارف زمین را تأمین نماید. مهمترین استفاده از انرژی خورشیدی، تولید الکتریسیته می‌باشد، که این تولید الکتریسیته می‌تواند به صورت تبدیل مستقیم نور به برق باشد (فتوولتائیک) یا از طریق گرم کردن یک بویلر در نیروگاه‌های خورشیدی و به چرخش در آوردن توربین‌ها مانند نیروگاه‌های مرسوم باشد. در راستای توسعه استفاده از این منبع نامحدود اقدامات مهمی انجام شده، از جمله این اقدامات می‌توان به توسعه فناوری‌های وابسته به انرژی‌های تجدیدپذیر و شکل‌گیری توافق‌های بین‌المللی مانند توافق پاریس اشاره کرد. از این رو کشورهای مختلف برنامه‌های سوختی خود را به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر سوق دادند، به عنوان مثال بیش از ۵۰ درصد از ظرفیت نیروگاه‌های نصب شده برق در آلمان تجدیدپذیر است و با وجود پیشرفتی که این کشور در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر داشته، قصد دارد تا سال ۲۰۳۰، ظرفیت نیروگاهی تجدیدپذیر خود را به بیش از ۶۵ درصد برساند [۱،۲].

در این میان کشور عراق هم به لحاظ جغرافیایی موقعیت خوبی برای تولید و استفاده از برق خورشیدی دارد این در حالی است که عراق دومین تولیدکننده بزرگ نفت در اوپک است ولی برق خود را از ایران وارد می‌کند. از طرفی وزیر نفت عراق اعلام کرد کشورش تا ۲۰۲۵ پروژه‌های برق خورشیدی برای تولید ۱۰۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ مگاوات راه‌اندازی می‌کند. این مقدار ۲۵ درصد از کل نیاز عراق به برق است [۳]. کشور عراق و خصوصاً شهر بغداد در سال‌های اخیر و بعد از سقوط رژیم بعث با مشکل شدید در زمینه تأمین برق مواجه بوده است و شهروندان خصوصاً در فصول گرم سال بی‌برقی‌های طولانی مدتی را تجربه کرده‌اند، همچنین با توجه به مطالعات جغرافیایی انجام شده و پشتیبانی دولت عراق در راستای گسترش انرژی‌های پاک می‌توان گفت که کشور عراق و در کنار آن شهر بغداد مستعد اجرا و پیاده‌سازی یک نیروگاه خورشیدی است که بتواند هم انرژی مصرفی خود را در ساعاتی از روز تأمین کرده و هم مازاد آن را ذخیره و در ساعات دیگر استفاده و یا به شبکه توزیع فروخته و از محل آن کسب منافع اقتصادی داشته باشد. اما مهم‌ترین مسأله در این راستا نحوه طراحی ساختار نیروگاه خورشیدی است، در این زمینه پژوهش‌های مختلفی در کشورهای مختلف انجام شده است. در اکثر این پژوهش‌ها بیشتر به جنبه‌های اقتصادی مانند هزینه نصب و راه‌اندازی پرداخته شده‌اند حال آنکه علاوه بر این هزینه‌ها باید هزینه‌های تعمیر و نگهداری که از جمله هزینه‌های جاری هستند هم مورد توجه قرار گیرند. یکی دیگر از مسائلی که در طراحی نیروگاه‌های خورشیدی حائز اهمیت است، در دسترس بودن این منابع است به صورتی که ظرفیت آن‌ها به گونه‌ای تعیین شود که با پشتیبانی باتری بتوانند قسمت اعظمی از بار مصرف‌کننده را مستقل از شبکه اصلی تأمین نمایند. این مسئله در اکثر پژوهش‌ها مورد بررسی قرار نگرفته است، از طرفی روش تعیین ساختار بهینه هم یکی دیگر از چالش‌های حل مسائلی از این دست است. لذا در این مقاله سعی می‌شود تا ساختار بهینه یک نیروگاه خورشیدی در حالت مستقل از شبکه برای مصرف خانگی شهر بغداد با هدف کاهش هزینه‌های نصب و تعمیر نگهداری و کاهش میزان بار از دست رفته توسط الگوریتم ALPSO و IPSO بهینه شود. از این رو در ادامه مطالعات اخیری که در این زمینه تا کنون انجام شده است شرح داده خواهد شد.

روش‌های مختلفی برای انجام بهینه‌سازی ساختار نیروگاه خورشیدی در مقالات مختلف بررسی شده است. برخی از مقالات از روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر گرادین استفاده می‌کنند در حالی که برخی دیگر از روش‌های فراابتکاری استفاده می‌کنند. تا کنون روش‌های فراابتکاری مختلفی برای بهینه‌سازی ساختار نیروگاه‌های خورشیدی و سیستم‌های انرژی ارائه شده است، از جمله بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، در [۴] یک چهارچوب کارآمد مبتنی بر روش شبیه‌سازی تبرید به منظور یافتن ظرفیت و مکان مناسب برای نیروگاه ترکیبی شامل منابع فتوولتائیک و باتری پیشنهاد شده است. این طرح پیشنهادی، مساحت کل پانل‌های فتوولتائیک و اندازه بانک باتری سیستم را با استفاده از روش ترکیبی اصلاح شده تعیین می‌کند. در این طرح برای یافتن مکان مناسب نصب نیروگاه از پارامترهای مختلفی مانند شرایط اجتماعی، فنی، اقتصادی و محیطی استفاده شده است. نهایتاً روش پیشنهادی نتایج مطلوبی را برای ساختار بهینه ارائه کرده است به طوری که توانسته برق تولیدی را با بهترین کیفیت توان به مناطق دور افتاده برساند. مقاله [۵] یک سیستم انرژی هیبریدی را بررسی می‌کند که شامل مازول فتوولتائیک، توربین بادی، ژنراتور بیوگاز و باتری جریان ردوکس وانادیوم برای تأمین برق پایدار جزیره‌ای دورافتاده در سنت مارتین بنگلادش است. در این مقاله از روش الگوریتم ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب برای بهینه‌سازی چند هدفه به منظور کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، میزان آلاینده زیست‌محیطی و بهبود قابلیت اطمینان سیستم استفاده شده است. در [۶] از الگوریتم پروانه سلطنتی به منظور بهینه‌سازی ساختاری برخی نیروگاه‌های هیبریدی به صورت محدود با توابع هدف کاهش



آلایندگی و میزان انرژی از دست رفته استفاده شده است و نتایج آن به صورت مروری با سایر مقالات مقایسه شده اما نتایج در چشم انداز بلند مدت مورد بررسی قرار نگرفته است. مثلاً، لیو و همکاران در [۷] از الگوریتم جستجوی هارمونی برای طراحی ساختار بهینه یک نیروگاه خورشیدی/باتری برای تأمین بار در مناطق دورافتاده استفاده کردند، نتایج در این طرح نشان می‌دهد که با افزایش قابلیت اطمینان، کل هزینه‌های طرح افزایش می‌یابد. در مرجع [۸] از الگوریتم کپک مخاطی برای بهینه‌سازی تجاری ساختار نیروگاه خورشیدی استفاده شده است، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر این الگوریتم می‌تواند به دقت پارامترهای ناشناخته سلول‌های خورشیدی مورد نظر را استخراج کند و به سرعت همگرایی و عملکرد پایداری عالی دست یابد. در جای دیگری مثلاً در مرجع [۹] یک استراتژی مدیریت انرژی بر اساس روش بهینه‌سازی جستجوی عقاب برای بهینه‌سازی طرح ترکیبی فتوولتائیک/پیل سوختی/باتری پیشنهاد کردند که برای یک افق زمانی یک روزه طراحی شده است. همچنین در مرجع [۱۰] از روش جستجوی بازی‌های گرسنگی برای تخمین پارامترهای کنترلی یک صفحه خورشیدی ثابت استفاده شده است در این مقاله نتایج با سایر الگوریتم‌های تخمین حالت مقایسه شده و کارایی الگوریتم مورد نظر اثبات شده است. نتایج بررسی این الگوریتم برای تخمین حالت سلول خورشیدی نشان می‌دهند که روش پیشنهادی در شرایط نوری و دمایی مختلف عملکرد مطلوبی دارد. بنابراین، یک جایگزین مناسب برای روش‌هایی چون روش فازی و امثال آن است. در [۱۱] الگوریتم شاهین هریس بهبود یافته با ضرایب سینوسی و کسینوسی برای بهبود پارامترهای مدل دیودی صفحات خورشیدی استفاده شده است. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که روش پیشنهادی در این مقاله می‌تواند عملکرد خروجی سلول‌های خورشیدی را به طور واقعی شبیه‌سازی کند و می‌تواند به عنوان یک روش قابل اعتماد برای استخراج پارامترهای ناشناخته سیستم‌های خورشیدی استفاده شود. در [۱۲] از الگوریتم جدید شکار مستعمرات برای بهینه‌سازی ساختار یک نیروگاه خورشیدی استفاده شده است، شبیه‌سازی با هدف کاهش هزینه نصب صفحات خورشیدی انجام شده است همچنین در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از یک روش دو مرحله‌ای ابتدا مکان مناسب و پارامترهای ساختاری صفحه خورشیدی بهینه شود و بعد ساختار بهینه نیروگاه تعیین گردد، نتایج این الگوریتم با چند الگوریتم دیگر مقایسه شده و کارایی آن اثبات شده است. در [۱۳] یک چهارچوب نیروگاهی بهینه برای ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی با استفاده از باتری، در ریزشکبه‌ای در منطقه روستایی کشور چین پیشنهاد شده است. در این مقاله سعی شده است تا اندازه بهینه سیستم بر اساس داده‌های هواشناسی ساعتی و تقاضای بار در طول یک سال با کمترین هزینه و حداکثر قابلیت اطمینان در چشم انداز میان مدت توسط الگوریتم جستجوی تابو تعیین شود. به عنوان مثال، بلودا و همکاران در مرجع [۱۴] از مدلی دو هدفه برای تعیین اندازه بهینه یک طرح نیروگاهی ترکیبی فتوولتائیک/بادی/باتری برای کاربرد در حالت off-grid واقع در شمال تونس استفاده کردند. همچنین یو و همکاران در [۱۵] از الگوریتم شکار چپان دریایی برای بهینه‌سازی ساختار یک نیروگاه شامل منابع فتوولتائیک، دیزل ژنراتور و باتری برای تأمین تقاضای بار یک منطقه دورافتاده از شبکه در چین استفاده کردند و نهایتاً نتایج به دست آمده با نرم افزار HOMER هم مقایسه شده است. آلتون و کیلیک در [۱۶] یک طرح نیروگاهی هیبریدی مستقل از شبکه مبتنی بر باتری، PV، توربین بادی و دیزل برای تأمین نیاز برق یک ساختمان مسکونی در ترکیه طراحی کردند. ال ستار و همکاران [۱۷] از دو الگوریتم بهینه‌سازی کپک مخاطی و مرغ دریایی برای بهینه‌سازی و به حداقل رساندن هزینه انرژی نیروگاه هیبریدی شامل منابع فتوولتائیک، بادی، زیست توده و باتری برای تأمین تقاضای بار یک منطقه دور افتاده در مصر استفاده کردند. نهایتاً در این مطالعه مشخص شد که الگوریتم کپک مخاطی بهتر از الگوریتم‌های دیگر است. همچنین در [۱۸] از الگوریتم ژنتیک برای طراحی با هدف بهبود پارامترهای فنی و اقتصادی یک نیروگاه هیبریدی شامل منابع فتوولتائیک، بادی و باتری برای تأمین بار در مناطق دور از شبکه استفاده کردند. عماد و همکاران در [۱۹] از الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری برای یافتن اندازه‌های بهینه نیروگاهی شامل منابع فتوولتائیک، بادی و باتری برای برآوردن بار برای مناطق دور افتاده در صحرای سینا در مصر با هدف کاهش میزان انرژی از دست رفته شبکه استفاده کردند که در این طرح نتایج به دست آمده را با الگوریتم ژنتیک مقایسه کرده‌اند. همچنین جیانگ و همکاران در [۲۰] طراحی بهینه یک نیروگاه ترکیبی فتوولتائیک و باتری را با صفحات خورشیدی و باتری‌های مختلف تحت سناریوی مختلفی بررسی کردند. در تحقیقی دیگر محمد و همکاران در [۲۱] الگوریتم PSO را برای بهینه‌سازی توان تولید شده توسط نیروگاه تجدید پذیر هیبریدی شامل منابع بادی، خورشیدی و باتری به منظور برآوردن نیازهای انرژی یک منطقه دورافتاده در بریتانی، فرانسه با هدف بهبود کیفیت توان شبکه پیشنهاد کردند.

همانطور که در بخش قبل آورده شده دانشمندان مختلف مسئله طراحی بهینه ساختار نیروگاه‌های تجدیدپذیر را از زوایای مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند، اما در این میان به برخی مسائل پرداخته نشده که به صورت خلاصه در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.



- بیشتر مراجع مسئله را به صورت کوتاه مدت و یا میان مدت مورد بررسی قرار داده اند حال آنکه این مسأله باید به صورت بلند مدت و با در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم سالانه حل شود.
  - بیشتر مراجع فقط بحث هزینه ساخت و اجرا را مورد بررسی قرار داده اند و سود احتمالی ناشی از اتصال به شبکه را مورد بررسی قرار نداده‌اند.
  - اکثر مراجع از روش‌های قدیمی برای حل مسئله استفاده کرده‌اند حال آنکه روش‌های جدیدتری هم برای حل این مسئله وجود دارد که ممکن است کارآمدتر باشند.
- با توجه به شکاف‌های تحقیقاتی که در قسمت قبل بیان شد به صورت خلاصه می‌توان تفاوت‌های مطالعات قبلی و کار این مقاله را در قالب جدول (۱) بیان کرد.

جدول (۱): مقایسه مراجع

شماره مرجع	هزینه ساخت	باتری	صفحه خورشیدی	سود احتمالی	چشم انداز بلند مدت	مورد مطالعه کشور عراق	روش ALPSO
۱۴	✓	✓	✓	×	×	×	×
۱۵	✓	✓	✓	×	×	×	×
۱۶	✓	✓	✓	×	×	×	×
۱۷	✓	✓	✓	×	×	×	×
۱۸	✓	✓	✓	×	×	×	×
۱۹	✓	✓	✓	×	×	×	×
۲۰	✓	✓	✓	×	×	×	×
۲۱	✓	✓	✓	×	×	×	×
مقاله	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

همانطور که جدول (۱) نشان می‌دهد مطالعات اخیر دارای کاستی‌هایی هستند که این کاستی‌ها در مقاله حاضر پوشش داده می‌شود. به صورت خلاصه نوآوری‌های این مقاله به شرح زیر هستند:

- مطالعه امکان‌سنجی نصب نیروگاه خورشیدی برای تأمین بخشی از برق مورد نیاز شبکه برق بغداد در کشور عراق
  - بررسی و محاسبه سود احتمالی حاصل از فروش برق به شبکه بالادست
  - بررسی و محاسبه هزینه‌های جاری و اولیه در چشم‌انداز بلند مدت
  - استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ALPSO و IPSO برای بهینه‌سازی ساختار نیروگاه
- حال که به صورت مبسوط مسأله شرح داده شد، در ادامه در بخش ۲ به بیان روابط و روش‌های حل مسئله طراحی بهینه نیروگاه خورشیدی خواهیم پرداخت، در بخش ۳ نتایج را مورد بررسی قرار داده و نهایتاً در بخش ۴ نتیجه‌گیری کلی بیان خواهد شد.

## ۲- روابط و روش‌های حل مسئله طراحی بهینه نیروگاه خورشیدی

### ۲-۱- مدل صفحه خورشیدی

معمولاً توان خروجی یک صفحه خورشیدی در ساعت  $t$  از رابطه (۱) و (۲) پیروی می‌کند.

$$P_{PV}(t) = P_{R,PV} \times \frac{SR}{SR_{ref}} \times [1 + N_T(T_C - T_{ref})] \quad (1)$$

$$T_C = T_{air} + \left[ \frac{T_{NO} - 20}{800} \times SR \right] \quad (2)$$



که در آن  $P_{R,PV}$  توان نامی صفحه خورشیدی،  $SR$  شدت تابش خورشید در ساعت  $t$ ،  $SR_{ref}$  شدت تابش مرجع (۱۰۰۰ وات بر متر مربع)،  $N_T$  ضریب حرارتی صفحه،  $T_C$  دمای صفحه،  $T_{ref}$  دمای مرجع،  $T_{air}$  دمای هوا در ساعت  $t$ ،  $T_{NO}$  دمای کاری عملکرد بهینه هستند. که توان تولیدی کل پنل‌ها برابر با رابطه (۳) خواهد بود و  $N_{PV}$  تعداد کل پنل‌های خورشیدی است [۲۲،۲۳].

$$P_{PV}(t) = p_{PV}(t) \times N_{PV} \quad (۳)$$

## ۲-۲- مدل باتری

نحوه عملکرد باتری‌ها در زمان شارژ و دشارژ معمولاً از رابطه‌های (۴) و (۵) پیروی می‌کنند.

$$ESL_{Ch}(t) = ESL(t-1) \times (1-\sigma) + [(P_{PV}(t) \times \eta_{INV}) - \frac{P_{Load}(t)}{\eta_{INV}}] \times \eta_{BCh} \quad (۴)$$

$$ESL_{DCh}(t) = ESL(t-1) \times (1-\sigma) + (\frac{P_{Load}(t)}{\eta_{INV}} - [(P_{PV}(t) \times \eta_{INV})]) \div \eta_{BDCh} \quad (۵)$$

که در این روابط  $P_{Load}(t)$  توان بار در ساعت  $t$ ،  $\eta_{INV}$  بازدهی مبدل AC/DC متصل به باتری،  $\eta_{BCh}$  بازدهی شارژ باتری،  $\eta_{BDCh}$  بازدهی دشارژ باتری،  $\sigma$  نرخ دشارژ خودی،  $ESL$  سطح انرژی باتری و  $P_{Load}(t)$  توان بار در زمان  $t$  هستند [۲۴].

## ۲-۳- توابع هدف

یکی از مهم‌ترین بخش‌های مطالعات نیروگاه‌های خورشیدی بحث مطالعات اقتصادی و مسائل مربوط به سود و زیان‌های اقتصادی است که برای طرح‌های این چنینی ضروری بوده و برای توجیح اقتصادی طرح حتماً باید انجام شود. در این طرح، مطالعات با هدف کاهش هزینه‌های نصب و بهره‌برداری در چشم انداز بلند مدت و برای یک مورد مستقل از شبکه انجام می‌شود چراکه هزینه اینورترهای متصل به شبکه در این سطح برای کارفرما مقرون به صرف نیست، که توابع و قیود آن به شرح زیر خواهد بود. تابع هدف در این طرح کاهش هزینه بهره‌برداری و نصب و تعمیر و نگهداری است که به صورت توابع (۶) تا (۱۱) بیان می‌شود.

$$\min. Total Cost = \sum C\&R + O\&M \quad (۶)$$

$$C\&R = CRF \times [N_{PV} \cdot C\&R_{PV} + N_{BATT} \cdot C\&R_{BATT} + N_{INV} \cdot C\&R_{INV}] \quad (۷)$$

$$O\&M = N_{PV} \cdot O\&M_{PV} + N_{BATT} \cdot O\&M_{BATT} + N_{INV} \cdot O\&M_{INV} \quad (۸)$$

$$CRF = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (۹)$$

$$C\&R_{BATT} = Price_{BATT} \times \left[ 1 + \frac{1}{(1+i)^5} + \frac{1}{(1+i)^{10}} + \frac{1}{(1+i)^{15}} \right] \quad (۱۰)$$

$$C\&R_{INV} = Price_{INV} \times \left[ 1 + \frac{1}{(1+i)^{10}} \right] \quad (۱۱)$$

که در این روابط:

$C\&R$ : هزینه نصب و تعویض تجهیزات در چشم انداز دراز مدت

$O\&M$ : هزینه تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری سالانه

$CRF$ : ضریب بازگشت سرمایه

$C\&R_{PV}$ : هزینه نصب هر واحد صفحه خورشیدی به همراه متعلقات

$C\&R_{BATT}$ : هزینه نصب و تعویض هر واحد باتری به همراه متعلقات در سه بازه ۵، ۱۰ و ۱۵ سال

$C\&R_{INV}$ : هزینه نصب و تعویض هر واحد اینورتر به همراه متعلقات در بازه ۱۰ سال

$O\&M_{PV}$ : هزینه تعمیر نگهداری سالانه هر واحد صفحه خورشیدی



$O\&M_{BATT}$ : هزینه تعمیر نگهداری سالانه هر واحد باتری

$O\&M_{INV}$ : هزینه تعمیر نگهداری سالانه هر واحد اینورتر

$n$ : طول عمر کل سیستم

$i$ : نرخ بهره

$Price_{BATT}$ : قیمت هر واحد باتری

$Price_{INV}$ : قیمت هر دستگاه اینورتر

$NPV$ : تعداد صفحات مورد استفاده

$N_{BATT}$ : تعداد باتری ها

$N_{INV}$ : تعداد اینورترها

## ۴-۲- شاخص قابلیت اطمینان بار تأمین نشده

در سیستم خورشیدی چون انرژی خورشیدی در تمام ساعات شبانه روز در دسترس نبود و همچنین چون ظرفیت باتری‌های موجود محدود است، لذا ناخواسته در ساعاتی بسته به ابعاد نیروگاه درصدی از بار سیستم قابل تأمین نیست. از این رو، مقداری از بار سیستم باید از شبکه بالا دست تغذیه شود، که هرچه ظرفیت نیروگاه بیشتر باشد این میزان کمتر است. اصطلاحاً آن را شاخص بار تأمین نشده ( $LLS$ )<sup>۲</sup> می‌نامند، که در روابط (۱۲) و (۱۳) به معرفی آن پرداخته‌ایم.

$$LLSP = \frac{\sum_{t=1}^T LLS(t)}{\sum_{t=1}^T P_{Load}(t)} \quad (12)$$

$$LLS(t) = P_{Load}(t) - P_{Gen}(t) \quad (13)$$

که در این روابط  $LLS(t)$  بار تأمین نشده در ساعت  $t$  است و از تفاضل توان بار  $P_{Load}(t)$  در ساعت  $t$  و توان تولیدی  $P_{Gen}(t)$  در زمان  $t$  به دست می‌آید. همچنین  $LLS$  فقط مقدار مثبت به خود می‌گیرد اگر توان تولیدی بزرگتر از مقدار بار بود  $LLS(t)$  صفر خواهد بود و مازاد تولید در باتری‌ها ذخیره می‌شود.

## ۵-۲- قیود طراحی

یکی دیگر از مسائلی که در طرح‌های بهینه باید مورد توجه قرار گیرد محدودیت‌های فنی و اقتصادی است در این طرح محدودیت سطح بار تأمین نشده، تعداد باتری‌ها، اینورترها و صفحات خورشیدی از جمله مهم‌ترین قیودی هستند که باید در نظر گرفته شوند. همچنین سطح شارژ و دشارژ باتری‌ها نیز از جمله این قیود هستند که باید برای افزایش طول عمر باتری‌ها و کل سیستم مورد توجه قرار گیرد که در روابط (۱۴) تا (۱۸) به شرح آن‌ها پرداخته ایم [۲۴].

$$LLSP \leq RI \quad (14)$$

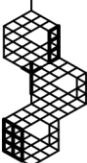
$$0 \leq NPV \leq NPV_{Max} \quad (15)$$

$$0 \leq N_{BATT} \leq N_{BATT_{Max}} \quad (16)$$

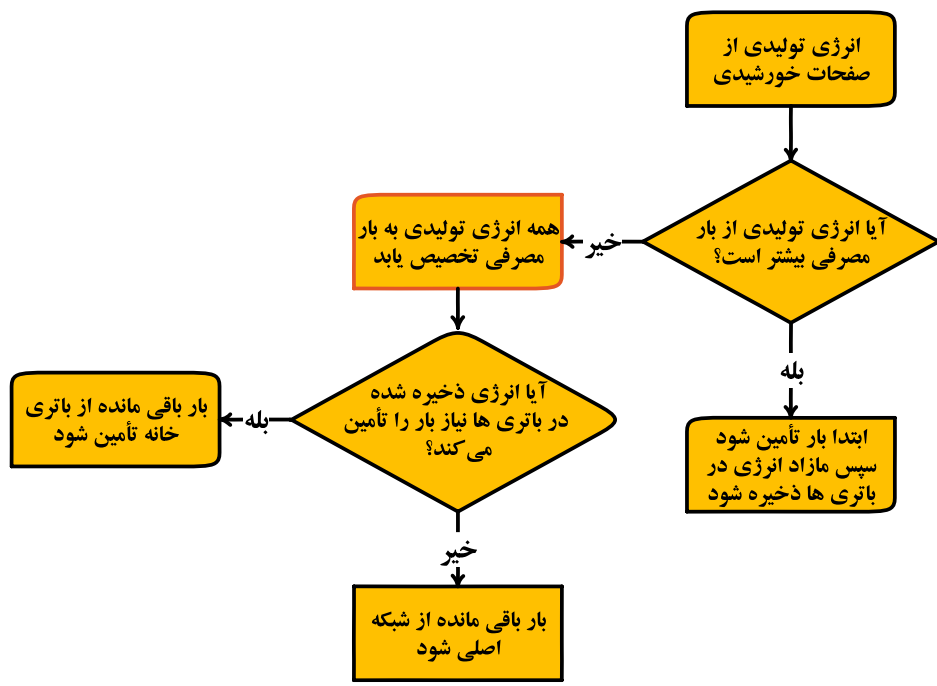
$$ESL_{Min} \leq ESL \leq ESL_{Max} \quad (17)$$

$$ESL_{Min} = (1 - DOD) \times S_{BATT} \quad (18)$$

که در روابط بالا  $RI$  مقدار حداکثر بار از دست رفته به عنوان شاخص قابلیت اطمینان،  $NPV_{Max}$  و  $N_{BATT_{Max}}$  حداکثر تعداد صفحه خورشیدی و حداکثر تعداد باتری مورد استفاده،  $ESL_{Min}$  و  $ESL_{Max}$  حداقل و حداکثر انرژی ذخیره شده در باتری،  $DOD$  عمق سطح شارژ باتری‌ها و  $S_{BATT}$  ظرفیت نامی بانک باتری هستند. در نهایت ساختار طرح پیشنهادی به صورت کلی می‌تواند به صورت روندنمای شکل (۱) تبیین گردد.







شکل (۱): ساختار طرح پیشنهادی

## ۲-۶- روش بهینه سازی

## ۲-۶-۱- الگوریتم PSO

جیمز کندی، روانشناس اجتماعی و راسل سی ابرهارت، مهندس برق صاحبان اصلی ایده الگوریتم PSO می باشند. آن ها در ابتدا قصد داشتند که با بهره گیری از مدل های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی، نوعی از هوش محاسباتی را به وجود بیاورند که به توانایی های فردی ویژه نیازی نداشته باشد. اولین شبیه سازی آن ها که در سال ۱۹۹۵ انجام گردید، آن ها را به سمت شبیه سازی رفتار پرندگان برای یافتن دانه رهنمون کرد. کار کندی و ابرهارت، منجر به ایجاد الگوریتمی قوی برای بهینه سازی، به نام الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات شد [۲۵]. در الگوریتم PSO تعدادی از موجودات وجود دارند که آن ها را ذره می نامیم و در فضای جستجوی تابعی که قصد کمینه کردن و یا بهینه کردن مقدار آن را داریم، پخش شده اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می کند. سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلی اش و بهترین محلی که قبلاً در آن بوده است و همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهت را برای حرکت انتخاب می کند. همه ذرات جهت برای حرکت انتخاب می کنند و پس از انجام حرکت، یک مرحله از الگوریتم به پایان می رسد. این مراحل چندین بار تکرار می شوند تا وقتی که جواب مورد نظر به دست بیاید. در واقع انبوه ذرات که کمینه یک تابع را جستجو می کنند، همانند دست هایی از پرندگان عمل می کنند که به دنبال غذا می گردند. هر ذره در الگوریتم PSO از سه بردار  $d$  بعدی تشکیل شده است که  $d$  بعد، فضای جستجو است. برای ذره  $i$  ام این سه بردار عبارتند از  $X^i$  موقعیت فعلی ذره،  $V^i$  سرعت حرکت ذره و  $X^{i,best}$  بهترین موقعیتی که ذره تا به حال تجربه کرده است.  $X^i$  مجموعه ای از مختصات است که موقعیت فعلی ذره را نمایش می دهد. در هر مرحله ای که الگوریتم تکرار می شود  $X^i$  به عنوان یک جواب برای مسئله محاسبه می شود. اگر این موقعیت بهتر از جواب های پیشین باشد در  $X^{i,best}$  ذخیره می شود،  $f^i$  مقدار تابع هدف در  $X^i$  و  $f^{i,best}$  مقدار تابع هدف در  $X^{i,best}$  است که هر دو از عناصر تشکیل دهنده هر ذره به حساب می آیند. ذخیره کردن مقدار  $f^{i,best}$  برای انجام مقایسه های بعدی ضروری است اما ذخیره کردن مقدار  $f^i$  ضروری نیست. در هر تکرار  $X^i$  و  $V^i$  جدیدی به دست می آیند. طبعاً منظور از اجرای الگوریتم، بهتر کردن  $X^{i,best}$  و احتمالاً  $X^i$  است.

الگوریتم PSO چیزی فراتر از یک مجموعه ذرات است. هیچ کدام از ذرات قدرت حل هیچ مسئله ای را ندارند، بلکه هنگامی می توان به حل مسئله امیدوار شد که آن ها با همدیگر ارتباط و تعامل داشته باشند. در واقع برای اجتماع ذرات، حل مسئله یک مفهوم اجتماعی است که از رفتار تک تک ذرات و تعامل میان آن ها به وجود می آید. بهترین موقعیتی که توسط همه ذرات پیداشده است، به صورت





$x^{g,best}$  نشان داده می‌شود که با مقایسه مقادیر  $f^{i,best}$  به ازای همه ذرات و از میان  $x^{i,best}$  ها انتخاب می‌شود. مقدار تابع هدف در  $x^{g,best}$  به صورت  $f^{g,best}$  نشان داده می‌شود.

در مرحله ابتدایی الگوریتم، ذرات با موقعیت‌ها و سرعت‌های تصادفی ایجاد می‌شوند. در طی اجرای الگوریتم موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله  $t+1$  ام از الگوریتم از روی اطلاعات مرحله‌ی قبلی ساخته می‌شوند. اگر منظور از  $x_j$  مؤلفه  $j$  ام از بردار  $x$  باشد که  $x$  بردار موقعیت ذرات در مجموعه جمعیت است. آنگاه روابطی که سرعت موقعیت ذرات را تغییر می‌دهند، عبارت‌اند از:

$$v_j^i[t+1] = w^{t+1}v_j^i[t] + c_1r_1(x_j^{i,best}[t] - x_j^i[t]) + c_2r_2(x_j^{g,best}[t] - x_j^i[t]) \quad (19)$$

$$x_j^i[t+1] = x_j^i[t] + v_j^i[t+1] \quad (20)$$

در الگوریتم PSO معمولی  $w^{t+1}$  عددی تجربی بین ۰/۹ تا ۱/۱ است اما این عدد به صورت تجربی هرچه به ۱ یا ۱/۱ نزدیک تر باشد بهتر است و هر چه از ۱ بزرگتر باشد بدتر است. لذا اگر  $w$  یک روند کاهشی داشته باشد معمولاً باعث بهبود روند جستجوی محلی و سراسری خواهد شد و الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته IPSO را خواهیم داشت، در واقع مرز بین PSO و IPSO ثابت یا کاهشی در نظر گرفتن ضریب  $w$  است، که در ادامه ساز و کار آن آورده شده است.

## ۲-۶-۲- الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته IPSO

در این روابط  $w$  ضریب اینرسی که مطابق رابطه (۲۱) است

$$w^{t+1} = \alpha \cdot w_0^t \quad (21)$$

که  $w_0$  یک مقدار اولیه مثبت (مانند ۲) و  $\alpha$  نسبت میرایی وزنی است (در اینجا ۰/۹۹، که با آزمون و خطا تنظیم می‌شود).  $\Gamma_1, \Gamma_2$  اعدادی تصادفی در بازه‌ی  $[0, 1]$  با توزیع یکنواخت و همچنین  $C_1, C_2$  ضرایب یادگیری هستند.  $\Gamma_2, \Gamma_1$  باعث می‌شوند که نوعی گوناگونی در جواب‌ها به وجود بیاید و به این نحوه‌ی جستجوی کامل‌تری روی فضا انجام پذیرد.  $C_1$  ضریب یادگیری مربوط تجارب شخصی هر ذره است و در مقابل  $C_2$  ضریب یادگیری مربوط به تجارب کل جمع است. از معادله‌ی (۱۹) می‌توان به این نتیجه رسید که هر ذره به هنگام حرکت جهت حرکت قبلی خود و بهترین موقعیتی را که در آن قرار داشته است و بهترین موقعیتی را که توسط کل جمع تجربه شده است، در نظر می‌گیرد. شبه کد این الگوریتم مطابق زیر است:

### Start

#### Initialization

for each iteration  $t$  do

for each particle  $i$  do

calculate  $v^{t+1}$  according to (14)

update  $x^{t+1}$  according to (15)

calculate  $f(x^{t+1})$

if  $f(x^{t+1}) < f(p_i)$  then

update  $p_i$

end

if  $f(x^{t+1}) < f(g)$  then

update  $g$

end

end

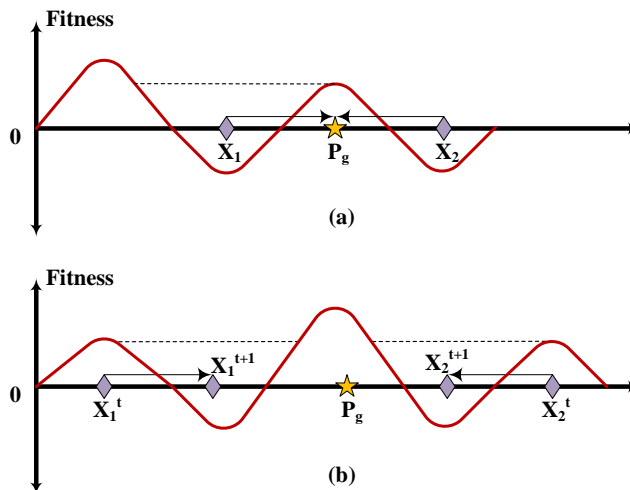
end



این الگوریتم به منظور جلوگیری از به دام افتادن در بهینه محلی فرآیند جستجو را در سه مرحله باز خوانی و بهبود می‌دهد تا بتواند به بهترین جواب برسد. در ALPSO از روش تنظیم جهت جستجو مبتنی بر تغییرات (TSDM)<sup>۵</sup> استفاده شده است. در این روش، الگوریتم مسیر حرکت جستجو را تنظیم می‌کند تا به طور تطبیقی از به دام افتادن در بهینه محلی جلوگیری شود و فضای جستجو را کاهش دهد. علاوه بر این، از یک استراتژی تولید ذرات کاندید مبتنی بر خود یادگیری جهت تولید ذره کاندید به عنوان هدف یادگیری از گروه استفاده می‌شود. این مرحله روند جستجو در فضای پاسخ را بهبود می‌بخشد. سپس به منظور اطمینان از عملکرد و دقت الگوریتم، از یک استراتژی پیش بینی بالقوه برای پیش بینی قابلیت بالقوه ذرات کاندید برای هدایت گروه استفاده شده است تا بهترین ذره انتخاب شده و به عنوان بهترین ذره گروه توسط سایر ذرات دنبال شود [۲۶].

▪ مکانیسم تنظیم جهت جستجو مبتنی بر تغییرات (TSDM)

معمولاً در الگوریتم PSO گروه ذرات هنگام جستجو در فضای مسأله ممکن است در بهینه محلی به دام افتند. برای یک بعد مشخص، حالت تکاملی را می‌توان توسط شکل (۲) (الف) شرح داد، که ذرات حداکثر در یک بعد جستجو می‌کنند و منحنی قرمز نشان دهنده روند تغییر مقدار شایستگی در این بعد است.



شکل (۲): حالت ذرات در فضای جستجوی

در شکل (۲) الف،  $P_g$  بهینه محلی است. هر ذره، مانند  $X_1$  و  $X_2$ ، در امتداد جهت  $P_g$  جستجو می‌کنند و پس از چندین تکرار، گروه به بهینه محلی می‌رسد. فرض کنید  $f(P_i)^t$  نشان دهنده مقدار شایستگی بهترین موقعیت ذره  $i$  در تکرار  $t$  است. موقعیت فعلی ذره  $i$ ، یعنی  $X_i$  برابر  $P_i$  است و  $f(P_i)^t$  در هر تکرار به روز رسانی می‌شوند. وضعیتی که بهترین موقعیت ذرات در یک تکرار بهبود نمی‌یابد می‌تواند مطابق رابطه (۲۲) توضیح داده شود،

$$\sum_{i=1}^n f(P_i)^t - f(P_i)^{t-1} = 0 \quad (22)$$

که  $n$  اندازه جمعیت است و  $t$  تعداد تکرار است. بدیهی است اگر رابطه (۱۶) برقرار باشد یعنی الگوریتم در بهینه محلی به دام افتاده است. همانطور که شکل (۲) (ب) نشان می‌دهد،  $P_g$  بهترین ذره گروه بوده و نزدیک به بهینه سراسری است. ذرات  $X_1^t$  و  $X_2^t$  در تکرار  $t$  ام، ممکن است در امتداد جهت  $P_g$  جستجو کنند. اما بهترین موقعیت این ذرات در تکرار  $t+1$  بهبود نیابد، در این حالت نیز معادله (۲۲) برقرار است.

بنابراین، به منظور جلوگیری از آن که ذرات در بهینه محلی به دام افتاده باشد در هر تکرار یک مکانیسم تنظیم جهت مسیر جستجو مبتنی بر تغییر (TSDM) در الگوریتم اجرا می‌شود. در این روش می‌توان مسیر جستجوی گروه ذرات را هنگامی که رابطه (۲۲) برقرار است تنظیم کرد. برای این کار یک شمارنده مثل  $T$  در نظر گرفته می‌شود که مقدار اولیه آن صفر است و به ازای هر مرتبه ای که معادله (۲۲) برقرار شود مقدار آن به اندازه یک واحد زیاد می‌شود. هرچه مقدار  $T$  برای یک گروه بیشتر شود یعنی احتمال اینکه گروه ذرات در بهینه محلی گیر کرده باشد بیشتر است که مقدار این احتمال به صورت نمایی از رابطه (۲۳) محاسبه می‌شود [۲۶].



$$Prob_{adjust} = \frac{\exp(T) - 1}{\exp(10) - 1} \quad (23)$$

در اینجا  $Prob_{adjust}$  بعد از هر تکرار به روز رسانی می‌شود. اگر  $Prob_{adjust}$  بزرگتر از یک عدد تصادفی در بازه ۰ تا ۱ باشد، الگوریتم یادگیری را از  $P_g$  فعلی متوقف می‌کند و مسیر جستجوی آن را به یک ذره جدید تنظیم می‌کند. شبه کد مکانیسم (TSDM) به صورت زیر است.

```

Initialize T = 0
if  $\sum_{i=1}^n f(P_i)^t - f(P_i)^{t-1} = 0$  then
    T = T + 1
end
Generate a random number rand () between [0,1]
if  $Prob_{adjust} > rand ()$  then
    Stop the swarm from learning the current  $P_g$ 
End

```

اگر همه ذرات همچنان در چند تکرار بعدی بهبود نیافته باشند، مقدار T به طور پیوسته افزایش می‌یابد و گروه به احتمال زیاد در یک بهینه محلی است و گروه مسیر جستجوی خود را با یادگیری از یک ذره جدید تنظیم می‌کند که این ذره جدید، کاندید نامیده می‌شود و جزئیات تولید آن در بخش استراتژی تولید کاندید مبتنی بر خودآموزی (SCGS) ارائه می‌شود.

▪ استراتژی تولید کاندید مبتنی بر خودآموزی (SCGS)

برای ایجاد کاندیدی که الگوریتم را از بهینه محلی نجات دهد، یک استراتژی تولید کاندید مبتنی بر خود یادگیری پیشنهاد می‌شود. این استراتژی با استفاده از بهترین ذرات در تمام تکرارها یاد می‌گیرد تا خود را به سمت بهینه سراسری هدایت کند. بدیهی است که مقدار شایستگی فعلی  $P_g$  همچنان بهترین است و  $P_g$  همچنان راه حل خوب را در بیشتر ابعاد D حفظ می‌کند؛ بنابراین راه حل  $P_g$  در هنگام تولید کاندید ارزش یادگیری دارد. علاوه بر این، به این دلیل که مقدار شایستگی یک ذره توسط ساختار ذرات در همه ابعاد تعیین شده است، بنابراین ذره‌ای که مقدار شایستگی آن کمی بدتر است ممکن است ساختار راه حل خوبی در برخی از ابعاد خاص داشته باشد و همچنین ارزش یادگیری در این وضعیت را دارد که به صورت رابطه (۲۴) بیان شده است.

$$f(Particle_i) = f(x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^D) \quad (24)$$

شبه کد مکانیسم (SCGS) به صورت زیر است.

```

for each dimension d from 1 to D do
    Generate a random number rand () between [0, 1]
if  $Prob_{Candidate} > rand ()$  then
     $Candidate^d = P_g^d$ 
else
    randomly select two  $P_k$  and  $P_m$  from the swarm
    if  $f(P_i(k)) < f(P_i(m))$  then
         $Candidate^d = P_k^d + Gaussian(\sigma^d)$ 
    else
         $Candidate^d = P_m^d + Gaussian(\sigma^d)$ 
    end
end
end
end

```

در شبه کد بالا  $Gaussian(\sigma^d)$  مطابق روابط (۲۵) و (۲۶) تعیین می‌شود. همچنین  $Prob_{Candidate}$  مطابق رابطه (۲۷) بیان می‌شود.



$$Average^d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i^d \quad (25)$$

$$Gaussian(\sigma^d) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i^d - Average^d)^2} \quad (26)$$

$$Prob_{candidate} = \frac{\exp(iter) - 1}{\exp(10) - 1} \quad (27)$$

مسیر جستجو برای کاندید و بهینه سراسری ممکن است پس از یک دوره تکرار پیدا شود. در نتیجه، این استراتژی توانایی الگوریتم را با استفاده از بهترین ساختار راه حل همه ذرات تضمین می‌کند و اثرات روی نرخ همگرایی را همزمان کاهش می‌دهد.

▪ استراتژی پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری رقابتی (CLPS)<sup>۷</sup>

همانطور که در قسمت قبل بررسی شد، روند تولید کاندید تقریباً تصادفی است لذا به روز رسانی  $P_g$  بدون در نظر گرفتن یک معیار اعتبار سنجی کاری غیر منطقی است. از این رو برای بالا بردن کارایی الگوریتم و استفاده از  $P_g$  و کاندید فعلی، راهبرد یادگیری رقابتی را برای پیش‌بینی توانایی هدایت بالقوه ذره کاندید در ALPSO پیشنهاد می‌کنیم. سرعت این دو ذره با توجه به قوانین زیر به روز رسانی می‌شود.

هنگامی که ذرات از  $P_g$  فعلی یاد می‌گیرد، سرعت با رابطه (۲۸) در زیر به روز رسانی خواهد شد:

$$v_i^d = \omega v_i^d + c_1 R_1^d (P_i^d - x_i^d) + c_2 R_2^d (P_g^d - x_i^d) \quad (28)$$

و اگر ذرات از کاندید یاد بگیرند، سرعت با معادله (۲۹) در زیر به روز رسانی خواهد شد:

$$v_i^d = \omega v_i^d + c_1 R_1^d (P_i^d - x_i^d) + c_2 R_2^d (Candidate^d - x_i^d) \quad (29)$$

پس از یک بار تکرار، یک رابطه رقابتی بین  $P_g$  فعلی و کاندید به وجود می‌آید و الگوریتم ذره بهتر را به عنوان  $P_g$  جدید در چند تکرار بعدی انتخاب می‌کند. به منظور اندازه‌گیری توانایی هدایت ذرات توسط  $P_g$  و کاندید، معادله (۳۰) به صورت زیر توصیف می‌شود،

$$Competitiveness_L = \sum_{i=i}^n f(x_i)^{t+1} - f(x_i)^t \quad (30)$$

که در آن  $L$  نشان دهنده ذره یادگیری ازدحام است. اگر  $Competitiveness_{P_g}$  بزرگتر از  $Competitiveness_{Candidate}$  باشد، این بدان معنی است که بهینگی زمانی که ذرات از  $P_g$  فعلی یاد می‌گیرند بهتر می‌شود، و بالعکس. شبه کد این استراتژی در زیر آورده شده است.

```

for iteration from  $t$  to  $t + 1$  do
  for each particle  $i$  and  $i$  from 1 to  $n$  do
     $Competitiveness_{Candidate} = \sum_{i=i}^n f(x_i)^{t+1} - f(x_i)^t$ 
  end
end
for iteration from  $t$  to  $t + 1$  do
  for each particle  $i$  and  $i$  from 1 to  $n$  do
     $Competitiveness_{P_g} = \sum_{i=i}^n f(x_i)^{t+1} - f(x_i)^t$ 
  end
end
if  $Competitiveness_{Candidate} > Competitiveness_{P_g}$  then
  Update  $P_g$ :  $P_g = Candidate$ 
   $T = 0$ 

```



else

$P_g$  doesn't change

$T = T-1$

end

اکنون می توانیم چارچوب الگوریتم ALPSO را به صورت زیر خلاصه کنیم [۲۶].

**Initialize** all particles' positions and velocities within the search space

**Initialize**  $T = 0, Prob_{adjust} = 0$

**Evaluate** the fitness value of every particle

**Update**  $P_i^t$  and  $P_g^t$

**while** (stop condition in not reached) **do**

Update all particles'  $X_i^t$  and  $V_i^t$

Evaluate the fitness value of every particle

Update  $P_i^t$  and  $P_g^t$

**if**  $Prob_{adjust} > rand()$  **then**

stop the swarm learning from the current  $P_g$

Use the SCGS to generate a Candidate particle

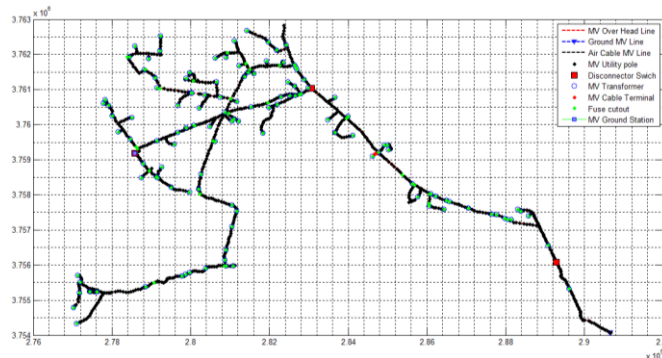
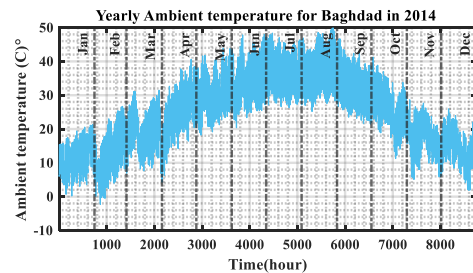
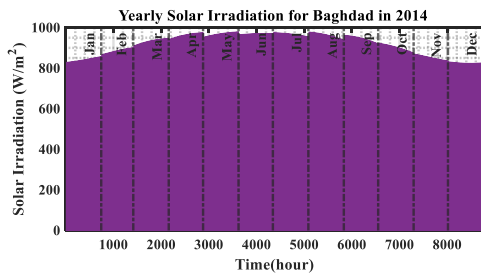
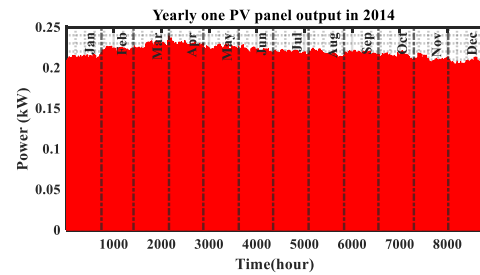
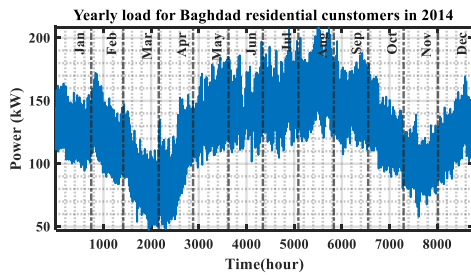
Use the CLPS to choose a better particle as new  $P_g$  from the

current  $P_g$  and the *Candidate*

Use the TSDM to update  $T$  and  $Prob_{adjust}$

**end**

**end**



شکل (۳): بار، دما، تابش و توان خورشیدی و دیاگرام تک خطی برای شهر بغداد



### ۳- نتایج سیستم مورد مطالعه

شبیه سازی ها برای بهینه یابی ساختار نیروگاه خورشیدی در این مقاله روی شبکه برق شهر بغداد از کشور عراق انجام شده است. برای انجام شبیه سازی بخشی از بار سالانه سال ۲۰۱۴ میلادی شبکه بغداد در نظر گرفته شده است. این بار ۰/۰۰۰۰۸ بار کل شبکه است چرا که تامین کل بار توسط نیروگاه خورشیدی با میزان بودجه فعلی عملاً غیر ممکن است همچنین سطح قابلیت اطمینان آن پایین است. شکل (۳) دما، تابش بار مصرفی و توان تولیدی یک صفحه خورشیدی و همچنین دیاگرام تک خطی سیستم مورد مطالعه را نمایش می دهد.

این شبیه سازی در سه سناریو برای درصدهای مختلف بار تامین نشده (LLS) و توسط دو الگوریتم فرا ابتکاری IPSO و ALPSO انجام شده است. در اینجا شاخص LLS به عنوان شاخص قابلیت اطمینان (RI) در نظر گرفته شده است. در جدول (۲) شرح این سناریوها آورده شده است.

جدول (۲): معرفی سناریوها

روش سناریو	ALPSO	PSO
(RI=1%)	✓	✓
(RI=3%)	✓	✓
(RI=5%)	✓	✓

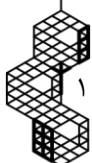
جدول (۳): مشخصات سیستم

صفحه خورشیدی	باتری	مبدل
توان نامی (وات)	ظرفیت نامی (کیلووات ساعت)	حداکثر توان نامی (کیلو وات)
۲۶۰	۲/۱	۲۶۰
قیمت هر صفحه (دلار)	بازدهی شارژ (درصد)	بازدهی (درصد)
۲۰۰	۸۵	۹۵
هزینه تعمیر و نگهداری (دلار بر سال)	بازدهی دشارژ (درصد)	قیمت هر مبدل (دلار)
۱۲	۱۰۰	۷۲۵۰
مساحت صفحه (متر مربع)	قیمت هر باتری (دلار)	هزینه تعمیر و نگهداری (دلار بر سال)
۱/۶۴	۳۱۰	۱۵
بازدهی (درصد)	هزینه تعمیر و نگهداری (دلار بر سال)	
۱۵/۸	۱۰	
تابش مرجع (وات بر متر مربع)	عمق دشارژ DOD	طول عمر (سال)
۱۰۰۰	۰/۸	۱۰
دمای مرجع (°C)	خود دشارژی ساعتی (درصد)	
۲۵	۰/۰۲	
دمای طبیعی (°C)	طول عمر (سال)	
۳۳	۵	
ضریب حرارتی صفحه (1/°C)		
-۳/۷×۳		
طول عمر (سال)		
۲۰		

مشخصات کل سیستم

نرخ بهره کل (درصد)	۱۰	طول عمر سیستم (سال)	۲۰	قیمت فروش برق به شبکه (دلار)	۰/۱۳۲
--------------------	----	---------------------	----	------------------------------	-------

همچنین مشخصات باتری ها و صفحات خورشیدی مورد استفاده برای بهینه یابی ساختار نیروگاه خورشیدی در جدول (۴-۲) آورده شده است. شایان ذکر است که چشم انداز مطالعه در اینجا ۲۰ ساله بوده و اطلاعات مطابق مراجع [۴،۲۳] است. جدول (۴) نتایج همگرایی برای دو الگوریتم مورد نظر را نمایش می دهد، همانطور که از نتایج این جدول مشخص است کمترین هزینه را برای طراحی ساختار نیروگاه خورشیدی الگوریتم IPSO به دست آورده است. این الگوریتم موفق شده است تا با هزینه ای بین ۱۸۴۹۵۰ دلار تا ۲۱۰۲۳۲ دلار ساختار بهینه ای با درصد مشخص LLS ارائه دهد. همچنین کمترین انحراف معیار پاسخ نیز مربوط به این الگوریتم بوده که این





خود نشان دهنده‌ی قدرت الگوریتم IPSO نسبت به ALPSO در یافتن پاسخ بهینه است. البته این تنها معیار برتری پاسخ در این مسأله نبوده و باید سایر شاخص‌ها نیز مورد بررسی قرار گیرند که در ادامه به آن‌ها خواهیم پرداخت.

جدول (۴): نتایج همگرایی الگوریتم‌ها در سه سناریو

RI (%)	روش	میانگین (\$)	بهترین (\$)	بدترین (\$)	انحراف معیار (\$)	زمان (ثانیه)
۱	PSO	۷۴۷۵۳۷۳۱۴۸.۸۹	۲۱۰۲۳۲.۴۶۳	۲۱۰۲۵۰۳۴۰۲۹۷.۸۲	۳۷۲۴۹۳۰۰۴۷۲.۸۷	۱۰۱.۹۶
	ALPSO	۲۰۲۶۴۴۲۹۳۴۱۴.۷۸	۲۱۰۹۰۹.۳۱۹	۵۴۷۲۹۸۳۸۳۴۷۶.۷۹	۱۷۶۱۷۶۶۸۵۷۱۹.۲۵	۱۱۲.۵۷
۳	PSO	۷۶۸۰۷۴۲۳۲۰۲.۶۵	۱۹۵۲۴۶.۲۵۵	۱۹۵۲۳۴۸۹۵۱۸۵.۰۴	۹۴۸۷۹۹۱۰۷۶۵.۰۰	۱۱۹.۰۰
	ALPSO	۳۱۴۴۳۲۵۱۳۹۲۵.۳۶	۱۹۷۱۲۵.۸۹۵	۶۳۸۶۶۲۸۰۹۷۷۴.۷۵	۱۵۴۰۴۸۲۸۲۷۶۷.۳۶	۱۲۸.۶۲
۵	PSO	۲۱۰۷۷۴۸۹۱۸۰.۳۰	۱۸۴۹۵۰.۷۲۱	۱۸۴۹۶۹۶۷۱۲۵۵.۷۲	۵۷۸۲۶۲۱۰۰۶۱.۷۴	۱۳۰.۹۹
	ALPSO	۲۷۳۲۱۵۳۶۴۱۳۳.۰۸	۱۸۵۶۶۷.۷۳۲	۶۲۲۸۶۵۳۱۱۰۶۷.۳۰	۱۸۸۳۷۵۴۴۵۸۹۹.۶۴	۱۲۵.۰۴

همچنین جدول (۵) ساختارهای بهینه هر الگوریتم را به خوبی توصیف می‌کند. در این جدول همانطور که مشخص است بازهم الگوریتم‌های IPSO توانسته کمینه مقدار هزینه‌های سرمایه‌گذاری (TNAC) که شامل هزینه نصب تجهیزات در چشم انداز ۲۰ ساله و هزینه تعمیر و نگهداری سالانه است را به دست آورد.

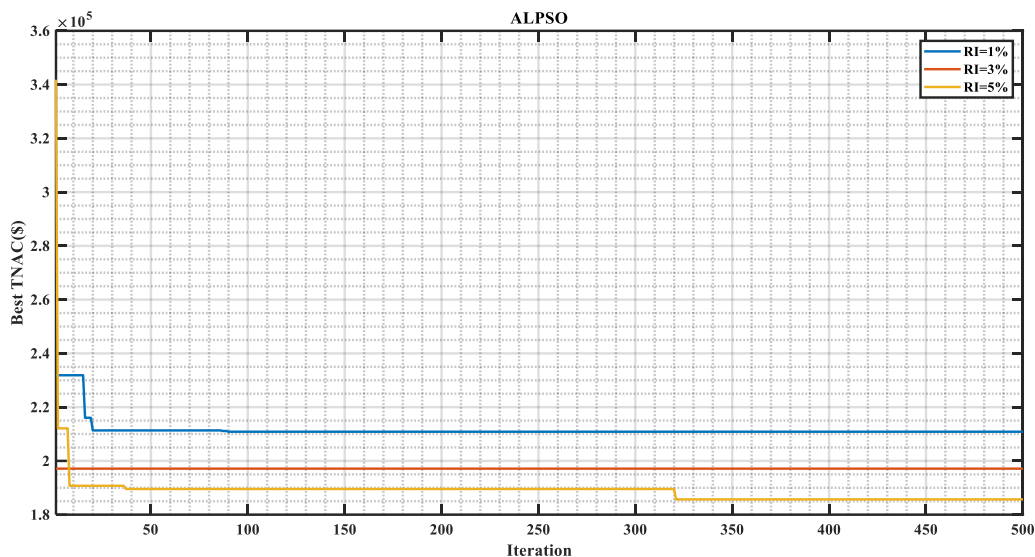
جدول (۵): ساختار و هزینه نهایی برای الگوریتم‌ها

RI	روش	LLSP	N_PV	N_BATT	N_INV	TNAC (\$)	سود (\$)
۱	PSO	۰۰۱۰۰۱۶۹	۲۷۸۴	۱۱۷۵	۳	۲۱۰۲۳۲.۴۶۳	۲۷۸۵۴.۲۰۷
	ALPSO	۰۰۰۹۶۲۹۱	۲۸۱۶	۱۱۷۰	۳	۲۱۰۹۰۹.۳۱۹	۲۹۷۷۶.۶۴۵
۲	PSO	۰۰۲۹۹۷۸۹	۲۶۱۰	۱۰۷۹	۳	۱۹۵۲۴۶.۲۵۵	۲۰۲۸۵.۹۳۷
	ALPSO	۰۰۲۶۹۲۷۰	۲۶۱۹	۱۰۹۶	۳	۱۹۷۱۲۵.۸۹۵	۲۰۳۵۴.۳۰۱
۳	PSO	۰۰۵۰۰۴۲۸	۲۴۸۸	۱۰۱۴	۳	۱۸۴۹۵۰.۷۲۱	۱۵۹۴۶.۰۲۵
	ALPSO	۰۰۴۹۰۵۷۴	۲۴۷۲	۱۰۲۸	۳	۱۸۵۶۶۷.۷۳۲	۱۴۷۷۶.۴۰۶

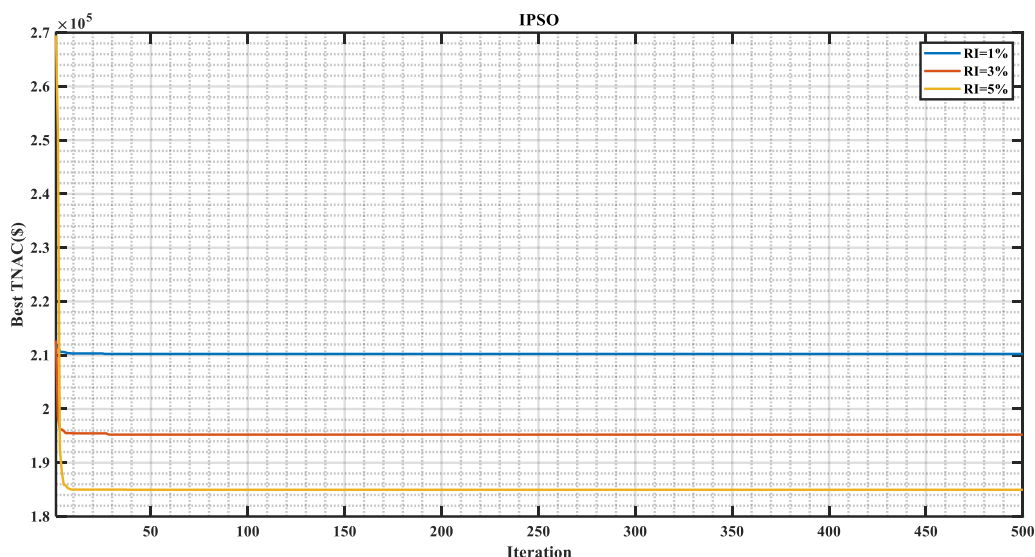
علاوه بر هزینه نصب و بهره برداری یکی دیگر از شاخص‌هایی که باید به آن توجه شود، شاخص LLS است همانطور که مشاهده می‌کنید در RI برابر ۱ درصد بهترین و کمینه ترین میزان بار تأمین نشده مربوط به الگوریتم ALPSO است که مقدار ۰/۰۰۹۶ است. همانطور که مشاهده می‌شود در RI‌های، ۳ و ۵ درصد هم باز الگوریتم ALPSO توانسته به ترتیب مقادیر ۰/۰۲۶۹۲ و ۰/۰۴۹۰۵ را به دست آورد. از طرفی پیاده سازی این نیروگاه خورشیدی علاوه بر اینکه سرمایه گذار را خودکفا می‌کند برای او سودآور نیز هست با توجه به جدول (۵) می‌توان دریافت که بیشترین میزان سودآوری در RI برابر ۱، ۵ و ۳ درصد مربوط به الگوریتم ALPSO است. در شکل‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود که الگوریتم IPSO تقریباً نتایج مقرون به صرفه تری را داشته اما در این میان فقط الگوریتم ALPSO ساختار بهینه‌ای با هزینه عملیاتی بیشتر ارائه داده است که به نسبت به الگوریتم IPSO زیاد بهینه نبوده اما ممکن است شاخص‌های فنی بهتری برای شبکه ایجاد کند که در ادامه بررسی خواهد شد. در ادامه شکل‌های (۴) و (۵) به صورت جزئی همگرایی هر الگوریتم در سه سطح مختلف از RI را نمایش داده است.







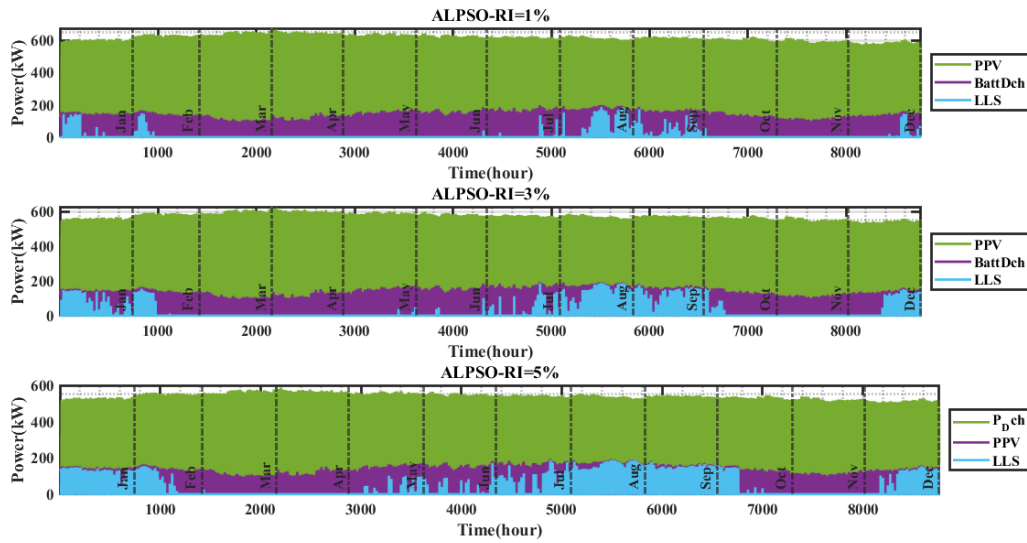
شکل (۴): منحنی همگرایی الگوریتم ALPSO در هر سه سطح



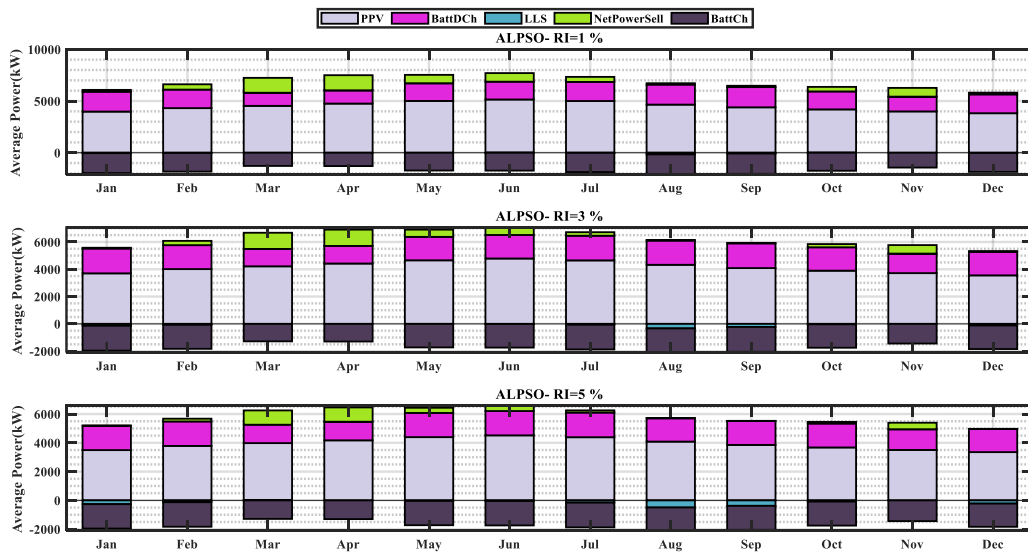
شکل (۵): منحنی همگرایی الگوریتم IPSO در هر سه سطح

شکل (۵) مربوط به الگوریتم IPSO است همانطور نشان داده شده این الگوریتم در هر سه سطح RI در کمتر از ۱۰ تکرار جواب بهینه خود را به دست آورده‌اند و در مقایسه با شکل (۴) که مربوط به الگوریتم ALPSO است سرعت بیشتری دارند. همانطور که در شکل (۵)، نشان داده شده الگوریتم ALPSO در هر سه حالت مقادیر بهینه‌ای بزرگتر از الگوریتم IPSO به دست آورده و در بهینه محلی به دام افتاده است اما میزان LLS و سودآوری آن برای شبکه از الگوریتم دیگر بهتر است همچنین همگرایی آن دیرتر رخ داده و در بهینه‌ی محلی متوقف شده است.

شکل‌های (۶) و (۷) مقادیر توان ساعتی و میانگین توان‌های ماهانه را برای الگوریتم ALPSO نمایش می‌دهند. با توجه به شکل (۶) می‌توان دریافت که مقدار LLS با افزایش تولید خورشیدی و ذخیره باتری در شبکه کم می‌شود اما همانطور که قبلاً هم در نتایج جدول (۵) اشاره شد مقدار LLS برای الگوریتم ALPSO از الگوریتم دیگر بهتر است همچنین مقدار توان قابل فروش به شبکه مطابق شکل (۷) برای الگوریتم ALPSO مقدار بیشتری را دارد.



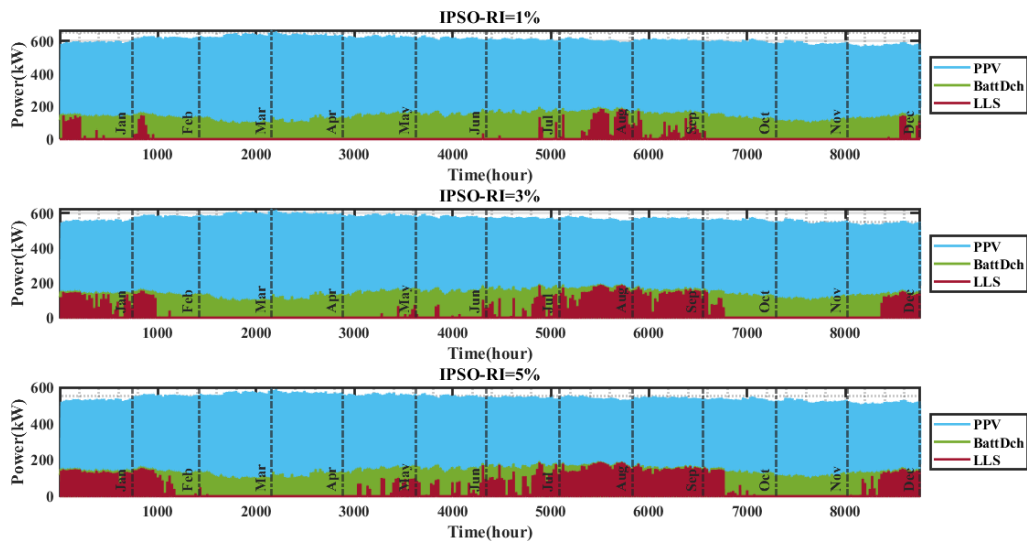
شکل (۶): متوسط سطح توان خورشیدی، باتری و بار تامین نشده سالانه برای الگوریتم ALPSO در سه سطح RI



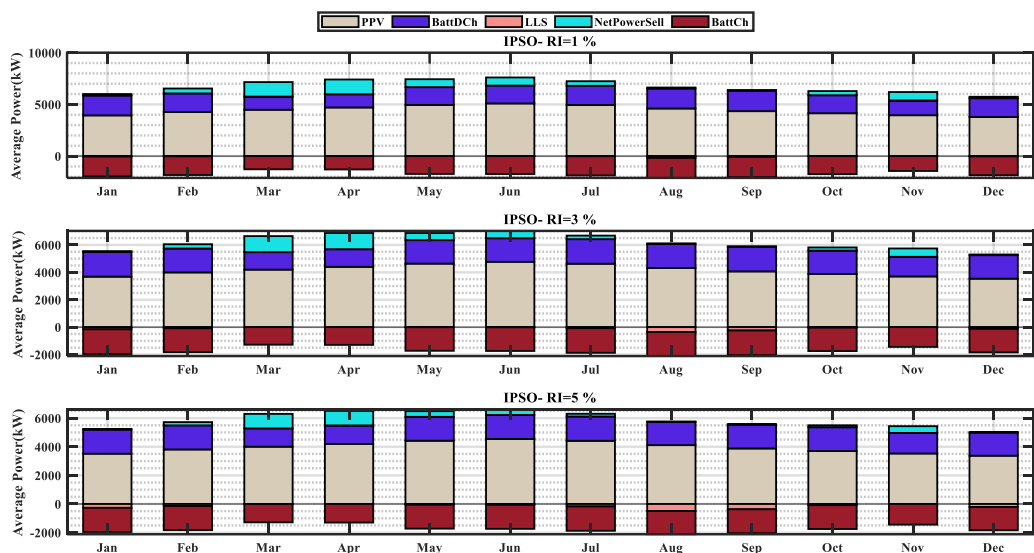
شکل (۷): متوسط سطح توان خورشیدی، شارژ و دشارژ باتری، مازاد توان فروخته شده به شبکه و بار تامین نشده سالانه برای الگوریتم ALPSO در سه سطح RI

همچنین شکل‌های (۸) و (۹) نتایج مشابه را برای الگوریتم IPSO نشان می‌دهند در این نتایج باز هم مشاهده می‌شود که مقدار بیشینه توان قابل فروش به شبکه در ماه‌های March تا Jun رخ داده است و میزان حداکثر LLS هم در ماه‌های Jul, Aug و Sep رخ می‌دهد.





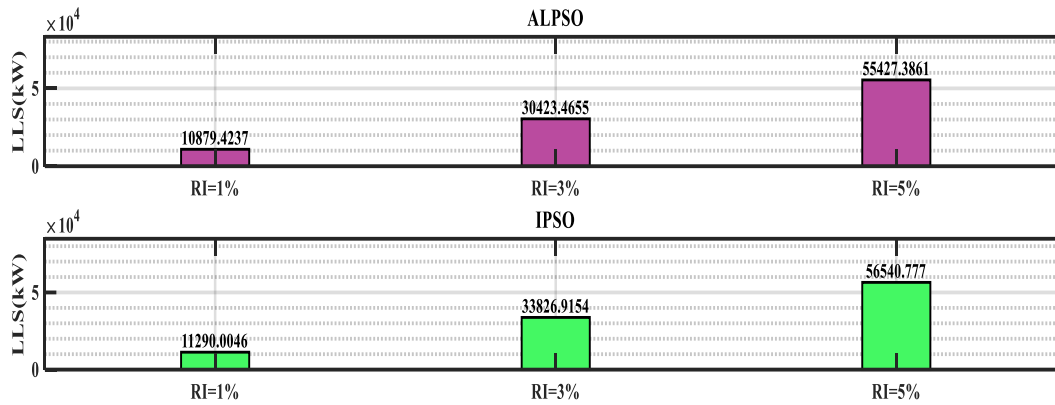
شکل (۸): متوسط سطح توان خورشیدی، باتری و بار تامین نشده سالانه برای الگوریتم IPSO در سه سطح RI



شکل (۹): متوسط سطح توان خورشیدی، شارژ و دشارژ باتری، مازاد توان فروخته شده به شبکه و بار تامین نشده سالانه برای الگوریتم IPSO در سه سطح RI

با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که ساختار بهینه ارائه شده توسط الگوریتم IPSO توانسته نسبتاً مقدار LLS را در محدوده مجاز نگهدارد، البته این میزان در ماه‌های March تا Jun تقریباً صفر است چرا که میزان تولید خورشیدی در این ماه‌ها افزایش داشته است. همچنین شکل (۹) مقدار میانگین ماهانه این توان‌ها را برای الگوریتم IPSO نشان داده است، همانطور که شکل (۹) نشان می‌دهد بیشترین مقدار میانگین توان فروخته شده به شبکه در ماه‌های April, March, May و Jun است. در این ماه‌ها به دلیل ورود به فصل گرم میزان تولید خورشیدی افزایش داشته که همین امر موجب افزایش میزان توان فروخته شده به شبکه می‌شود.

با توجه به شکل‌های (۶) تا (۹) می‌توان به خوبی دریافت که با افزایش نفوذ توان خورشیدی و تعداد باتری در شبکه به ازای سطوح مختلف RI میزان بار تامین نشده شبکه به شدت کاهش یافته و قابلیت اطمینان تغذیه بار توسط سیستم خورشیدی و باتری افزایش می‌یابد. اما اینکه کدام الگوریتم در این زمینه موفق‌تر عمل می‌کند را نمی‌توان به خوبی تشخیص داد از این رو شکل (۱۰) این مقایسه را بهتر نمایش می‌دهد.



شکل (۱۰): سطح بار تامین نشده سالانه برای هر دو الگوریتم در سه سطح RI

همانطور که از شکل (۱۰) مشخص است الگوریتم ALPSO به ترتیب برای RIهای ۱، ۳ و ۵ درصد میزان بار تامین نشده‌ی ۱۰۸۷۹، ۳۰۴۲۳ و ۵۵۴۲۷ کیلووات را ارائه کرده حال آنکه الگوریتم IPSO مقادیر ۱۱۲۹۰، ۳۳۸۲۶ و ۵۶۵۴۰ کیلووات را ارائه کرده است. این خود نشان می‌دهد که الگوریتم IPSO طرح‌های اقتصادی تر و روش ALPSO طرحی با قابلیت اطمینان بالاتر ولی گران تر را برای بهره‌بردار سیستم ارائه می‌دهد.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله هدف تعیین ساختار بهینه منابع تولید پراکنده از نوع صفحات خورشیدی در سیستم توزیع بود که سعی شده تا این مسئله با در نظر گرفتن قیود فنی شبکه و توابع هدف هزینه نصب، هزینه بهره برداری و تعمیرات و قید سطح بار از دست رفته LLS در سناریوهای مختلف توسط روش‌های ازدحام ذرات مبتنی بر یادگیری تطبیقی (ALPSO) و ازدحام ذرات بهبود یافته (IPSO) حل شود. بدین منظور پس از بیان مسئله و اهداف آن در بخش مقدمه، فرمول بندی مسئله با در نظر گرفتن توابع هدف انجام شد که این توابع شامل: تابع هدف کاهش هزینه نصب تجهیزات، تابع هدف کاهش هزینه تعمیر و نگهداری در چشم انداز و قیود مربوط به شارژ و دشارژ باتری و قید مربوط به LLS بودند.

روش‌های ارائه شده به وسیله الگوریتم‌های فرا ابتکاری و روند شارژ و دشارژ باتری‌ها و تولید توان صفحات خورشیدی در محیط نرم افزار MATLAB R2020b برنامه نویسی شده است و بر روی شبکه برق شهر بغداد از کشور عراق پیاده سازی شد. نتایج به دست آمده از روش‌های پیشنهادی بیان کننده کارایی و سرعت بالا و عملکرد نسبتاً خوب این روش‌ها برای حل مسئله بهینه سازی ساختار نیروگاه خورشیدی است. با بررسی و آنالیز نتایج به دست آمده در کل می توان دریافت که:

- روش‌های پیشنهادی بر روی سیستم های توزیع عملی به خوبی عمل می‌کند اما نیازمند داده‌های جغرافیایی دقیق است.
- روش‌های پیشنهادی باعث کاهش قابل توجه بار از دست رفته، کاهش هزینه بهره برداری، تعمیر نگهداری و نصب می‌شوند و در کل باعث بهبود عملکرد سیستم می‌شوند.
- همچنین نتایج نشان داده شد حاکی از آن بود که الگوریتم ازدحام ذرات مبتنی بر یادگیری تطبیقی (ALPSO) برای حل چنین مسائلی می‌تواند عملکرد فنی بهینه‌تری نسبت به الگوریتم IPSO داشته باشد.
- الگوریتم IPSO می‌تواند عملکرد اقتصادی بهینه‌تری نسبت به الگوریتم ALPSO داشته باشد و طراح و بهره بردار بین گزینه‌های مختلف آزادی عمل و حق انتخاب دارند. همچنین افزایش تعداد صفحات خورشیدی می‌تواند باعث افزایش میزان بار قابل فروش به شبکه اصلی گردد حال آنکه افزایش تعداد باتری‌ها در بهبود و کاهش میزان بار از دست رفته (LLS) در ماه‌های مختلف موثر است.

- [1] Y. Abou-Jieb and E. Hossain, *Photovoltaic Systems: Fundamentals and Applications*, Berlin/Heidelberg, Germany: Springer Cham, 2022, doi: 10.1007/978-3-030-89780-2
- [2] O.A. Al-Shahria, F.B. Ismaila, M. Hannanb, M. HossainLipuc, Q.A. Ali, R. Begumf, F.O.A. Nizar and E. Soujerih, "Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 284, no. 125465, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125465
- [3] H.H. Istepanian, *Iraq solar energy: from dawn to dusk*, Jordan: Friedrich-Ebert-Stiftung Jordan et Iraq, 2020.
- [4] Y. Xiaomo, W. Li, A. Maleki, M.A. Rosen, A.K. Birjandi and L. Tang, "Selection of optimal location and design of a stand-alone photovoltaic scheme using a modified hybrid methodology," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 45, no. 101071, doi: 10.1016/j.seta.2021.101071
- [5] B.K. Das, R. Hassan, M. Shahed, H.K. Tushar, Z. Forhad, M. Hasan and P. Das, "Techno-economic and environmental assessment of a hybrid renewable energy system using multi-objective genetic algorithm: A case study for remote Island in Bangladesh," *Energy Conversion and Management*, vol. 230, no. 113823, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113823
- [6] Y. Feng, S. Deb, G.-G. Wang and A. H.Alavi, "Monarch butterfly optimization: A comprehensive review," *Expert Systems with Applications*, vol. 168, no. 114418, 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2020.114418
- [7] H. Liu, B. Wu, A. Maleki, F. Pourfayaz and R. Ghasempour, "Effects of reliability index on optimal configuration of hybrid solar/battery energy system by optimization approach: a case study," *International Journal of Photoenergy*, no. Performance Enhancement of Solar Energy Systems, 2021, doi: 10.1155/2021/9779996
- [8] Y. Liu, A. Heidari, X. Ye, G. Liang, H. Chen and C. He, "Boosting slime mould algorithm for parameter identification of photovoltaic models," *Energy*, vol. 234, no. 121164, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121164
- [9] S.A. Ferahtia, H. Rezk, M.A. Abdelkareem and A.G. Olabi, "Optimal techno-economic energy management strategy for building's microgrids based bald eagle search optimization algorithm," *Applied Energy*, Vols. 306, Part B, no. 118069, 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.118069
- [10] S. Yu, A.A. Heidari, C. He, Z. Cai, M.M. Althobaiti, R.F. Mansour, G. Liang and H. Chen, "Parameter estimation of static solar photovoltaic models using Laplacian Nelder-Mead hunger games search," *Solar Energy*, vol. 242, no. August, pp. 79-104, 2022, doi: 10.1016/j.solener.2022.06.046
- [11] S. Song, P. Wang, A.A. Heidari, X. Zhao and H. Chen, "Adaptive Harris hawks optimization with persistent trigonometric differences for photovoltaic model parameter extraction," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 109, no. March, 2022, doi: 10.1016/j.engappai.2021.104608
- [12] B.A. Xu, S. Zhang, H. Chen and Q. Shao, "Extremal Nelder-Mead colony predation algorithm for parameter estimation of solar photovoltaic models," *Energy Science & Engineering*, 2022, doi: 10.1002/ese3.1273
- [13] Y. Xu, S. Huang, Z. Wang, Y. Ren, Z. Xie, J. Guo and Z. Zhu, "Optimization based on tabu search algorithm for optimal sizing of hybrid PV/energy storage system: Effects of tabu search parameters," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vols. 53, Part C, no. October, 2022, doi: 10.1016/j.seta.2022.102662
- [14] M. Belouda, M. Hajjaji, H. Sliti and A. Mami, "Bi-objective optimization of a standalone hybrid PV-Wind-battery system generation in a remote area in Tunisia," *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 16, no. December, pp. 315-326, 2018, doi: 10.1016/j.segan.2018.09.005
- [15] G. Yu, Z. Meng, H. Ma and L. Liu, "An adaptive Marine Predators Algorithm for optimizing a hybrid PV/DG/Battery System for a remote area in China," *Energy Reports*, vol. 7, no. November, pp. 398-412, 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.01.005
- [16] A.F. Altun and M. Kilic, "Design and performance evaluation based on economics and environmental impact of a PV-wind-diesel and battery standalone power system for various climates in Turkey," *Renewable Energy*, vol. 157, no. September, pp. 424-443, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.05.042



- [17] H.A. El-Sattar, H.M. Sultan, S. Kamel, T. Khurshaid and C. Rahmann, "Optimal design of stand-alone hybrid PV/wind/biomass/battery energy storage system in Abu-Monqar, Egypt," *Journal of Energy Storage*, Vols. 44, Part A, no. December, p. 103336, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.103336
- [18] K. Anoune, M. Ghazi, M. Bouya, A. Laknizi, M. Ghazouani, A.B. Abdellah and A. Astito, "Optimization and techno-economic analysis of photovoltaic-wind-battery based hybrid system," *Journal of Energy Storage*, vol. 32, no. December, p. 101878, 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101878
- [19] D. Emad, M. El-Hameed and A.A. El-Fergany, "Optimal techno-economic design of hybrid PV/wind system comprising battery energy storage: Case study for a remote area," *Energy Conversion and Management*, vol. 249, no. 1 December, p. 114847, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.114847
- [20] Y. Jiang, L. Kang and Y. Liu, "The coordinated optimal design of a PV-battery system with multiple types of PV arrays and batteries: A case study of power smoothing," *Journal of Cleaner Production*, vol. 310, no. 10 August, p. 127436, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127436
- [21] M. Hazem, Y. Amirat and M. Benbouzid, "Particle swarm optimization of a hybrid wind/tidal/PV/battery energy system. Application to a remote area in Bretagne, France," *Energy Procedia*, vol. 162, no. April, pp. 87-96, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.04.010
- [22] S.M. Mahmoudi, A. Maleki and D. Rezaei-Ochbelagh, "Optimization of a hybrid energy system with/without considering back-up system by a new technique based on fuzzy logic controller," *Energy Conversion and Management*, vol. 229, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113723
- [23] M. Ismail, M. Moghavvemi and T. Mahlia, "Techno-economic analysis of an optimized photovoltaic and diesel generator hybrid power system for remote houses in a tropical climate," *Energy Conversion and Management*, vol. 69, pp. 163-173, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2013.02.005
- [24] A.L. Bakar, C.W. Tan and K.Y. Lau, "Optimal sizing of an autonomous photovoltaic/wind/battery/diesel generator microgrid using grasshopper optimization algorithm," *Solar Energy*, vol. 188, pp. 685-696, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.06.050
- [25] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, Perth, WA, Australia, 1995, doi: 10.1109/ICNN.1995.488968
- [26] F. Wang, H. Zhang, K. Li, Z. Lin, J. Yang and X.-L. Shen, "A hybrid particle swarm optimization algorithm using adaptive learning strategy," *Information Sciences*, Vols. 436-437, pp. 162-177, 2018, doi: 10.1016/j.ins.2018.01.027

زیر نویس ها

- 
- 1 Capital recovery factor
  - 2 Loss Load Supply
  - 3 Reliability Index
  - 4 Deep Of Discharge
  - 5 Tolerance based Search Direction Adjustment Mechanism
  - 6 Self-learning-based Candidate Generation Strategy
  - 7 Competitive Learning based Prediction Strategy

