

Reliability modeling of solar power plant equipped with linear parabolic reflectors

Mohammad Bagher Rezaian zadeh, *MSc*

Department of Electrical Engineering, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran
rezaeianzadehbagher@gmail.com

Received: 01 June 2024

Revised: 15 June 2024

Accepted: 02 September 2024

Abstract:

In recent years, renewable power plants such as wind, solar, tidal, wave and biomass power plants have been greatly developed to produce clean and sustainable electricity in the power grids of different countries. One of the types of these power plants is the solar power plant equipped with linear parabolic reflectors. In these power plants, with the help of parabolic mirrors, the sun's rays are concentrated in tubes containing fluid, and the heat generated causes the fluid to evaporate. The generated steam passes through the turbine connected to the generator and produces electricity. The production power of these power plants depends on the intensity of solar radiation. Due to changes in the intensity of solar radiation, the production power of these power plants has also changed, which affects various aspects of the power system including these power plants. One of the important studies that is carried out in the power system today is the study of reliability. Accordingly, in this article, the reliability model of these power plants is obtained. In the proposed reliability model of these power plants, both component failures and production power changes due to changes in the intensity of solar radiation are considered. In order to check the proposed reliability model, a solar power plant equipped with linear parabolic collectors is modeled using MATLAB software.

Keywords: solar power plant equipped with linear parabolic reflectors, reliability model, variation of sun irradiance, failure of composed components.

Corresponding Author: Mohammad Bagher Rezaian zadeh

Corresponding Author Address: Department of Electrical Engineering- Kazerun Branch -Islamic Azad University- Kazerun, Iran

مدل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی حرارتی مجهز به رفلکتور سهموی خطی

محمدباقر رضاییان زاده، کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی برق، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران
rezaeianzadehbagher@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۶

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۲

چکیده: در سال‌های اخیر نیروگاه‌های تجدیدپذیر به مانند نیروگاه‌های بادی، سیستم‌های خورشیدی، نیروگاه‌های جزرومدی، مبدل‌های انرژی امواج و نیروگاه زیست توده برای تولید برق پاک و پایدار در شبکه‌های قدرت کشورهای مختلف توسعه زیادی یافته‌اند. یکی از انواع این نیروگاه‌ها، نیروگاه خورشیدی مجهز به رفلکتورهای سهموی خطی می‌باشد. در این نیروگاه‌ها به کمک آینه‌های سهموی شکل، اشعه خورشید در لوله‌های حاوی سیال متمرکز شده و گرمای ایجاد شده سبب تبخیر سیال می‌گردد. بخار ایجاد شده با عبور از توربین متصل به ژنراتور برق تولید می‌کند. توان تولیدی این نیروگاه‌ها به شدت تابش خورشید وابسته است. بدلیل تغییرات شدت تابش خورشید، توان تولیدی این نیروگاه‌ها نیز تغییر کرده که بر جنبه‌های مختلف سیستم قدرت شامل این نیروگاه‌ها تاثیر می‌گذارد. یکی از مطالعات مهم که امروزه در سیستم قدرت انجام می‌شود مطالعه قابلیت اطمینان است که باید مورد بررسی قرار بگیرد. بر همین اساس در این مقاله مدل قابلیت اطمینان این نیروگاه‌ها به دست آورده می‌شود. در مدل قابلیت اطمینان پیشنهادی این نیروگاه‌ها، هم خرابی اجزای تشکیل دهنده و هم تغییرات توان تولیدی ناشی از تغییرات شدت تابش خورشید در نظر گرفته می‌شود. به منظور بررسی مدل قابلیت اطمینان پیشنهادی، مدلسازی یک نیروگاه خورشیدی مجهز به رفلکتورهای سهموی خطی با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام می‌شود.

کلمات کلیدی: نیروگاه خورشیدی مجهز به رفلکتورهای سهموی خطی، مدل قابلیت اطمینان، تغییرات شدت تابش خورشید، خرابی اجزای تشکیل دهنده.

نام نویسنده‌ی مسئول: مهندس محمدباقر رضاییان زاده

نشانی نویسنده‌ی مسئول: کازرون - دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون - دانشکده مهندسی برق

۱- مقدمه

در سیستم‌های قدرت امروزی، هدف تولید برق و تامین بار مورد نیاز شبکه می‌باشد. تفاوتی که در این سیستم‌ها نسبت به قبل ایجاد شده است این است که سعی می‌گردد نیروگاه‌های تجدیدپذیر که آلودگی محیط زیست را به دنبال ندارند استفاده شوند. اما به دلیل اینکه هزینه تولید برق از برخی از این نیروگاه‌ها نظیر نیروگاه‌های امواج و جزرومدی هنوز بالا است، این نیروگاه‌ها نتوانسته‌اند رشد زیادی داشته باشند. اما نیروگاه‌های بادی و خورشیدی که هزینه برق تولیدی آن‌ها کمتر است توانسته‌اند با نیروگاه‌های قدیمی رقابت کنند و امروزه شاهد این هستیم که نیروگاه‌های بادی و خورشیدی با ظرفیت زیاد در نقاط مختلف جهان داشته باشیم. یکی از انواع نیروگاه‌های خورشیدی، نیروگاه‌های مجهز به کلکتورهای سهموی خطی است. با توجه به اهمیت مطالعه این نیروگاه‌ها، کارهای تحقیقاتی زیادی در زمینه بررسی تاثیر آن‌ها بر سیستم قدرت انجام شده است. در [1] مروری بر روش‌های بهبود بازده نوری و گرمایی یک کلکتور سهموی خطی انجام شده است. در این مقاله مواد مختلفی که می‌توانند در ساختار نیروگاه نظیر آینه‌های سهموی خطی، لوله دریافت کننده گرما، سیال‌های انتقال حرارت و پوشش لوله جاذب حرارت استفاده شوند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مقاله [2] بر عملکرد و بازده نیروگاه‌های خورشیدی مجهز به رفلکتورهای سهموی خطی متمرکز شده است و کاربردهای جنبی این نیروگاه‌ها نظیر سیستم‌های گرمایش هوا، تولید آب آشامیدنی، کاربردهای گرمایش صنعتی و سرمایه‌گذاری را مورد بررسی قرار داده است. در [4] مروری جامع بر پارامترهای مختلفی که بر عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی مجهز به رفلکتورهای سهموی خطی تاثیر دارند صورت گرفته است. در این مقاله رفلکتورهای مختلفی که می‌توانند در دماهای مختلف استفاده شوند مطالعه شده و روش‌های مختلف طراحی جهت بهبود بازده حرارتی و نوری این رفلکتورها بررسی شده است. در [4] جزئیات مربوط به مدل حرارتی دریافت‌کننده کلکتورهای سهموی خطی بیان شده است. در این مقاله یک لوله سیاه فلزی که با یک لوله شیشه‌ای پوشش داده شده است به منظور استفاده به عنوان لوله جاذب حرارت در نیروگاه خورشیدی کلکتور سهموی پیشنهاد شده است تا تلفات حرارتی را کاهش دهد. در [5] مروری جامع بر پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی انجام شده است. در این مقاله ابتدا اساس کار نیروگاه‌های خورشیدی کلکتور سهموی بیان شده و سپس انواع مختلف سیال‌های انتقال حرارتی که می‌توانند در این نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار بگیرند مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در [6] بررسی بازده نوری و حرارتی نیروگاه‌های خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی صورت گرفته است. در این مقاله از نرم‌افزار سالیدورک که مسائل پیچیده را شبیه‌سازی می‌کند جهت تعیین بازده نوری و گرمایی این نیروگاه‌ها استفاده شده است. در [7] وضعیت سیال‌های مختلف انتقال حرارت که در نیروگاه‌های خورشیدی کلکتور سهموی خطی مورد استفاده قرار می‌گیرند بررسی شده است. در این مقاله سعی شده است سیال‌های انتقال حرارتی انتخاب گردد تا بتواند بازده گرمایی و ظرفیت ذخیره‌سازی نیروگاه‌های خورشیدی کلکتور سهموی را بهبود دهد. مقاله [8] مدلسازی نیروگاه‌های خورشیدی کلکتور سهموی را از نظر مشخصات حرارتی و مکانیکی انجام داده است. در این مقاله مدل پیشنهادی با نتایج تجربی مقایسه شده است تا کارایی مدل پیشنهادی مشخص گردد.

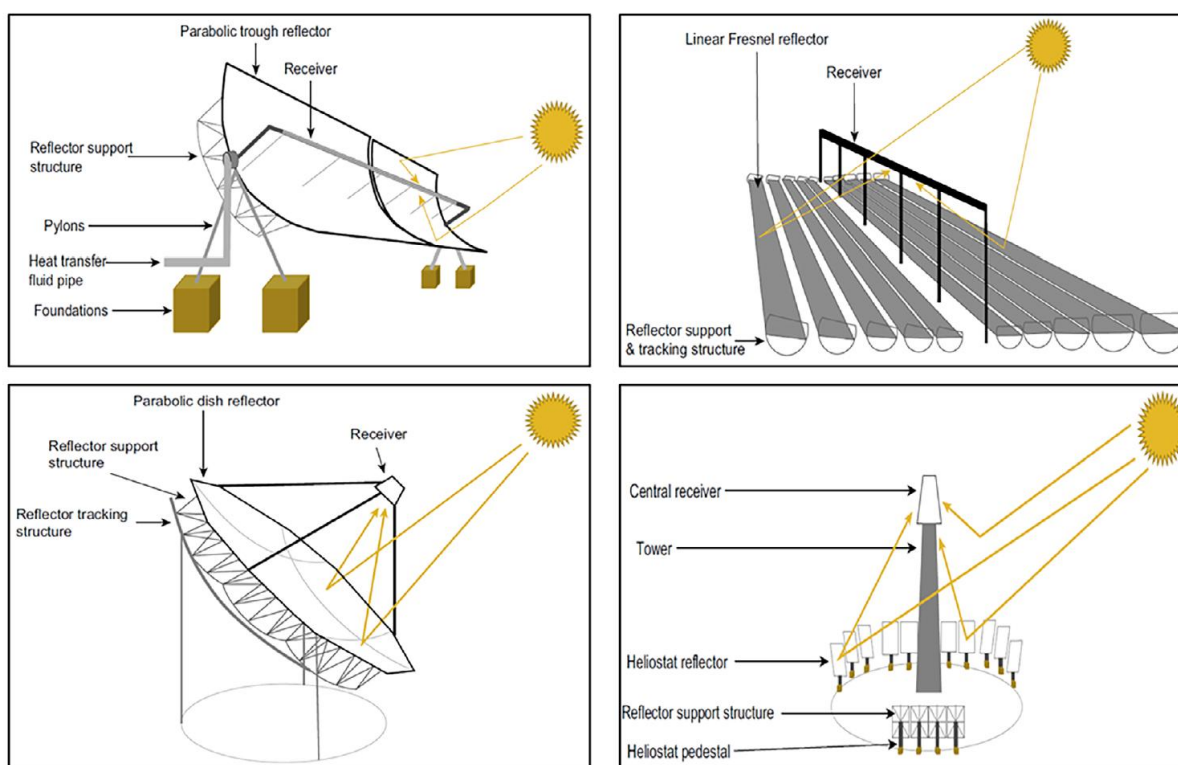
در [9] مطالعه‌ای بر روی کلکتورهای خورشیدی نوع سهموی به عنوان منبع انرژی پایدار و با بازدهی خوب انجام شده است. در این مقاله مزایا و معایب استفاده از کلکتورهای خورشیدی نوع سهموی بیان شده است. در [10] طراحی و توسعه یک نمونه کلکتور سهموی خورشیدی که هم مقرون به صرفه و هم مبتنی بر تکنولوژی نوین می‌باشد صورت گرفته است. این کلکتور خورشیدی ساخته شده و هزینه آن کمتر از ۶۰ دلار در هر متر مربع می‌باشد. در [11] با استفاده از نرم‌افزار متلب طراحی و آنالیز رفلکتورهای خورشیدی نوع سهموی صورت گرفته است تا بتوان از آن‌ها به منظور استفاده در سیستم روشنایی استفاده نمود. در این مقاله از محیط گرافیکی نرم‌افزار متلب استفاده شده است.

با توجه به اینکه تاکنون قابلیت اطمینان نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی مجهز به رفلکتورهای سهموی خطی مورد بررسی قرار نگرفته است در این مقاله مدل قابلیت اطمینان این نیروگاه‌ها ارائه می‌گردد. در این مدل هم خرابی تجهیزات تشکیل دهنده و هم تغییرات توان تولیدی نیروگاه که ناشی از تغییرات شدت تابش خورشید است در نظر گرفته می‌شود. بنابراین نوآوری این تحقیق به صورت زیر می‌باشد:

مدل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی به دست آورده می‌شود. در این مدل هم خرابی تجهیزات تشکیل دهنده و هم تغییرات توان نیروگاه که ناشی از تغییرات تابش خورشید می‌باشد در نظر گرفته شده است. تکنیک ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت با حضور نیروگاه خورشیدی کلکتور سهموی ارائه می‌گردد. بر همین اساس ساختار این مقاله به صورت زیر خواهد بود: در بخش دوم نیروگاه‌های خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی معرفی می‌شوند. مدل قابلیت اطمینان آن نیروگاه‌ها در بخش سوم ارائه شده و نتایج شبیه‌سازی نیز در بخش چهارم آورده می‌شود. در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری مقاله بیان می‌شود.

۲- نیروگاه خورشیدی حرارتی مجهز به کلکتور سهموی خطی

نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی به چهار دسته تقسیم‌بندی می‌شوند. در شکل ۱ این ۴ نوع نیروگاه حرارتی خورشیدی نشان داده شده است. در نوع اول که نیروگاه‌های مجهز به کلکتورهای سهموی می‌باشند توسط آینه‌های سهموی تابش خورشید در نقطه کانونی این آینه‌ها که همان خط کانونی این آینه‌ها می‌باشد متمرکز می‌گردد. تابش خورشید متمرکز شده در خط کانونی سبب ایجاد حرارت می‌گردد. یک لوله حاوی سیال کاری در این خط کانونی قرار داده می‌شود که با جذب حرارت مربوط به متمرکز شدن اشعه‌های خورشید، سیال درون لوله‌ها گرم می‌شوند. این سیال حرکت نموده و در یک مبدل حرارتی سبب افزایش دمای یک سیال کاری دیگر به مانند آب شده و آن را به بخار تبدیل می‌کند. بخار آب سبب چرخش توربین می‌شود و محور توربین که به محور ژنراتور کوپل شده است سبب چرخاندن روتور ژنراتور شده و برق تولید می‌شود. بخار آب پس از خروج از توربین وارد کندانسور شده و به آب تبدیل می‌شود. سپس توسط یک پمپ، فشار آب افزایش داده شده و دوباره به مبدل انتقال حرارت وارد می‌شود تا در تماس با سیال درون لوله به بخار تبدیل شود.



شکل (۱): انواع مختلف نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی

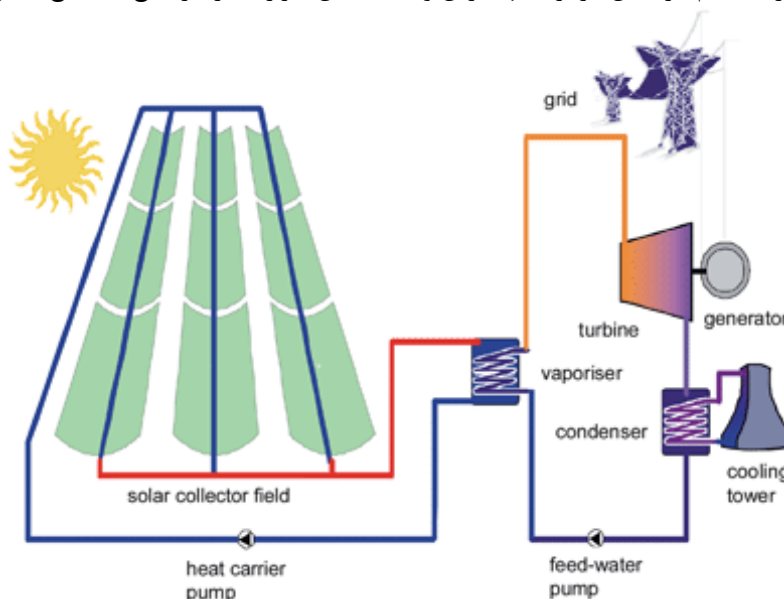
نوع دوم نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی، نیروگاه رفلکتور فرسnel خطی می‌باشد که باز در این نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی، آینه‌هایی که رفلکتور فرسnel خطی نام دارند قرار داده شده‌اند. با تابش خورشید به این آینه‌ها، انرژی خورشید بر روی یک

دریافت کننده که باز یک لوله می باشد متمرکز شده و سبب افزایش دمای سیال درون این لوله می شود. در یک مبدل انتقال حرارت، گرمای این سیال به یک سیال کاری دیگر منتقل شده و در یک سیکل ترمودینامیکی این سیال کاری به بخار تبدیل شده و سبب چرخاندن توربین و در نتیجه تولید برق می گردد. نوع سوم نیروگاه های حرارتی خورشیدی مجهز به رفلکتورهای بشقابی سهموی می باشند. در این نیروگاه ها تابش خورشید پس از برخورد به این آینه بشقابی سهموی در نقطه کانونی آن که دریافت کننده قرار دارد متمرکز می شود. تمرکز اشعه های خورشید در این نقطه سبب ایجاد دمای زیاد و حرارت می کند. بنابراین سیال قرار گرفته در دریافت کننده گرم می شود و می توان در یک مبدل انتقال حرارت، گرمای آن را به یک سیال کاری دیگر منتقل نمود و در یک سیکل ترمودینامیکی به مانند دو نوع دیگر نیروگاه حرارتی خورشیدی که بیان شد برق تولید کرد. نوع چهارم نیروگاه های حرارتی خورشیدی، نیروگاه های مجهز به هلیواستات می باشد. در این نیروگاه ها آینه های زیادی که هلیواستات نام دارند به گونه ای آرایش پیدا می کنند که بازتابش اشعه خورشید تابیده به آن ها در یک ناحیه که بالای برج دریافت کننده مرکزی می باشد متمرکز شود. تمرکز اشعه های بازتابش شده در این ناحیه سبب ایجاد گرمای زیاد در این ناحیه شده و می توان این گرما را به یک سیال واقع در این ناحیه داد تا دمای آن افزایش یابد. در مرحله بعد گرمای سیال واقع در دریافت کننده برج مرکزی در یک مبدل انتقال حرارت به یک سیال کاری دیگر داده می شود تا در نتیجه گرمای دریافتی این سیال به بخار تبدیل شود و بتواند با چرخش یک توربین که به محور یک ژنراتور کوپل شده است برق تولید کند. بخار خروجی توربین وارد یک مبدل انتقال حرارت دیگر که کندانسور نام دارد شده و در این مبدل انتقال حرارت گرمای آن گرفته شده و به مایع تبدیل می شود. سپس سیال کاری مایع شده پمپ می شود به مبدل انتقال حرارت جهت تبادل حرارت با سیال واقع در دریافت کننده برج مرکزی فرستاده می شود. نیروگاه های حرارتی خورشیدی به این دلیل به این نام معروف هستند که تابش خورشید در این نیروگاه ها سبب انتقال حرارت به سیال می شود. در نوع دیگری از نیروگاه های خورشیدی که نیروگاه فتوولتاییک نام دارد توسط سلول های خورشیدی که در واقع یک پیوند $p-n$ می باشد انرژی تابشی خورشید مستقیماً به انرژی الکتریکی جریان مستقیم تبدیل می شود. با توجه به اینکه ولتاژ و جریان تولیدی در سلول های خورشیدی کم می باشد در یک پنل خورشیدی فتوولتاییک تعدادی از این سلول های فتوولتاییک به صورت سری و موازی قرار می گیرند تا هم ولتاژ و هم جریان آن ها افزایش پیدا کند. یک نیروگاه خورشیدی که دارای توان قابل توجهی است از تعداد زیادی پنل خورشیدی تشکیل شده است که معمولاً به آن مزرعه خورشیدی گفته می شود. توان تولیدی پنل های خورشیدی توسط مبدل های الکترونیک قدرت به شبکه متصل می شوند. امروزه مزارع فتوولتاییک زیادی در سطح جهان به بهره برداری رسیده است [12].

ساختار یک نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی در شکل ۲ نشان داده شده است. نیروگاه های حرارتی خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی از ردیف های موازی و طولانی متمرکز کننده ها که شامل سطوح مربوط به آینه های سهموی شکل هستند تشکیل شده اند. جنس این آینه ها از شیشه بوده که بر روی یک سازه نگهدارنده قرار گرفته اند. دریافت کننده ها به صورت لوله های جاذب حرارت با پوشش مخصوص هستند که توسط شیشه پیرکس پوشانده شده اند. این لوله ها در طول خط کانونی آینه های سهموی قرار گرفته که در دو قسمت انتهایی بر روی دو تکیه گاه قرار گرفته اند و مجموعه تشکیل شده بر روی تیرک های اصلی سازه واقع شده اند. سیستم ردیاب خورشیدی در این کلکتورها به صورت تک محوره بوده و ردیابی خورشید به صورت شرقی غربی انجام می شود. به کمک سیستم ردیاب نور خورشید در تمام روز بر روی لوله های جاذب بازتابش می گردد.

در این نیروگاه ها از سیال های انتقال حرارت به مانند روغن با دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می شود که این سیال در لوله های جاذب گردش می کند و حرارت این روغن داغ در مبدل های انتقال حرارت به آب منتقل شده که در نتیجه آن بخار سوپرهیت تولید می گردد. این بخار از توربین متصل به ژنراتور عبور کرده و با چرخاندن آن برق تولید می کند. در این نیروگاه ها می توان حرارت را ذخیره نمود و در مواقعی که خورشید در دسترس نیست برق تولید کرد. اجزای اصلی نیروگاه های خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی عبارتند از: منعکس کننده ها که همان آینه های سهموی می باشند، دریافت کننده تابش خورشید که تابش منعکس شده خورشید را جذب نموده و در نتیجه آن سیال انتقال حرارت گرم می شود، سیستم ردیاب خورشید که به صورت تک محوره می باشد که کلکتورهای سهموی را در راستایی مناسب جهت دنبال نمودن تابش خورشید

قرار می‌دهد، سازه فلزی نگهدارنده و فونداسیون، سیستم‌های مربوط به تولید و انتقال توان الکتریکی شامل توربین، ژنراتور، ترانسفورماتور و همچنین کابل‌های ولتاژ بالا، تجهیزات انتقال گرما و تجهیزات مربوط به تولید الکتریسیته و دفع گرمای تلف شده به محیط خارج. در سیستم گرمایش مرکزی مهمترین واسط انتقال حرارت در فاز مایع، آب داغ یا گرم می‌باشد.



شکل (۲): ساختار نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی

۲- مدل قابلیت اطمینان نیروگاه‌های خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی

قابلیت اطمینان و خرابی که در طول عمر مفید تجهیز اتفاق می‌افتد یک پدیده تصادفی بوده که به شانس بستگی دارد. قابلیت اطمینان به صورت احتمال اینکه تجهیز به صورت نرمال وظیفه خود را در شرایط مشخص در طول یک مدت زمان معین انجام دهد بیان می‌شود. احتمال بیان می‌کند که شانس رخداد یک پدیده مشخص چقدر است. نرخ خرابی یک تجهیز به تعداد خرابی‌های آن تجهیز در واحد زمان گفته می‌شود و با حرف λ نشان داده می‌شود. این پارامتر همچنین به صورت تعداد خطاهای تجهیز تقسیم بر تعداد در دسترس بودن تجهیز در طول مدت زمان مطالعه نیز تعریف می‌شود. نرخ خرابی اغلب به صورت درصد خطاها در مدت زمان مشخص محاسبه می‌گردد. نرخ تعمیر به صورت تعداد تعمیرهای صورت گرفته بر روی یک تجهیز در واحد زمان تعریف شده و با حرف μ نشان داده می‌شود. خروج تجهیز حالتی از تجهیز است که مربوط به زمانی است که تجهیز به دلیل انجام خروجی‌های برنامه‌ریزی شده یا اجباری کار نمی‌کند. نرخ خرابی یک سیستم که تجهیزات آن به صورت سری قرار گرفته باشند برابر با مجموع نرخ خرابی هر کدام از تجهیزات خواهد بود:

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \quad (1)$$

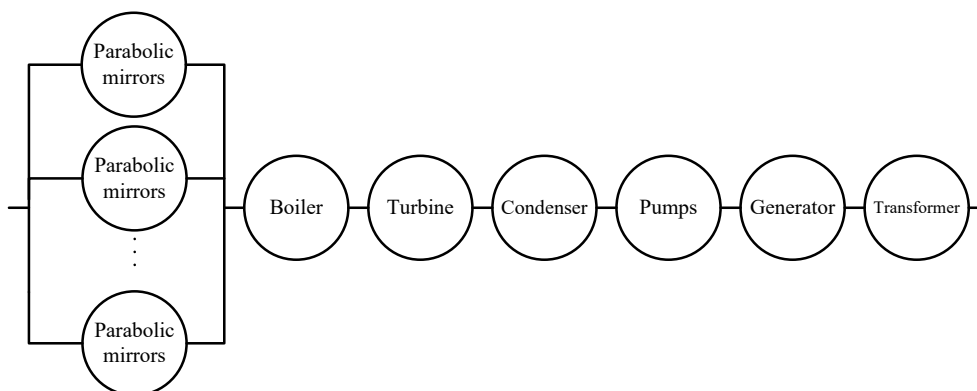
قابلیت اطمینان یک تجهیز احتمال این است که آن تجهیز وظیفه خود را در یک پریود زمانی مشخص تحت شرایط مشخص بدون بروز خرابی انجام دهد و مفهوم دسترس‌پذیری این است که تجهیز چقدر مناسب و آماده است و برای چه مدت زمانی در پریود برنامه‌ریزی شده در دسترس است. دسترس‌پذیری یک تجهیز (A) را می‌توان از تقسیم مدت زمانی که تجهیز سالم است تقسیم بر کل زمان مورد مطالعه به دست آورد. با توجه به اینکه بطور متوسط از کل زمان MTBF مدت زمان MTTF تجهیز سالم است داریم [13]:

$$A = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTTF}{MTTF + \text{mean down time}} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (2)$$

دسترس‌ناپذیری (U) را نیز می‌توان از رابطه زیر تعیین نمود [13]:

$$U = 1 - A = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{\text{mean down time}}{MTBF} \quad (3)$$

در این بخش مدل قابلیت اطمینان نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی تعیین می‌گردد. اجزای مهم نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی عبارتند از: آینه‌های سهموی شکل، لوله‌های جاذب حرارت حاوی سیال انتقال حرارت، پمپ گردش سیال، مبدل انتقال حرارت که گرمای سیال را به آب منتقل نموده و آن را به بخار تبدیل می‌کند، توربین که توسط بخار می‌چرخد، ژنراتور متصل به محور توربین که با چرخش آن برق تولید می‌شود، کندانسور جهت تبدیل بخار به آب، پمپ گردش آب جهت انتقال آن به مبدل انتقال حرارت (بویلر). توان تولیدی نیروگاه توسط ترانسفورماتور که سطح ولتاژ آن را به مقدار مناسب شبکه می‌رساند به شبکه قدرت منتقل می‌شود. با خراب شدن هر کدام از تجهیزات مبدل انتقال حرارت (بویلر)، پمپ گردش سیال، توربین، کندانسور، پمپ گردش آب، ژنراتور و ترانسفورماتور تولید توان الکتریکی یا انتقال این توان به شبکه قدرت با مشکل مواجه شده و لذا خرابی این تجهیزات ذکر شده منجر به توان خروجی صفر نیروگاه می‌گردد. با خراب شدن یک آینه یا ریفی از آینه‌های سهموی و یا خراب شدن لوله جاذب متصل به این آینه‌ها، الزاما تمام توان خروجی صفر نمی‌شود اما به دلیل اینکه میزان سیال انتقال حرارت یا دبی آن کاهش می‌یابد به همان میزان می‌بایست دبی آب ورودی به مبدل انتقال حرارت نیز کاهش یابد؛ زیرا در صورتی که همان دبی آب وارد بویلر شود، دمای بخار خروجی به مقدار مطلوب نخواهد رسید. بنابراین در صورتی که یک نیروگاه حرارتی خورشیدی از تعداد n ردیف آینه‌های سهموی تشکیل شده باشد با خرابی هر کدام از این n ردیف که می‌تواند ناشی از خرابی آینه‌ها یا لوله جاذب مرتبط باشد میزان توان نیز به دلیل کاهش دبی سیال به اندازه $1/n$ کاهش می‌یابد. بنابراین ترکیب سری و موازی تجهیزات در مدل قابلیت اطمینان نیروگاه به صورت نشان داده شده در شکل زیر خواهد بود.



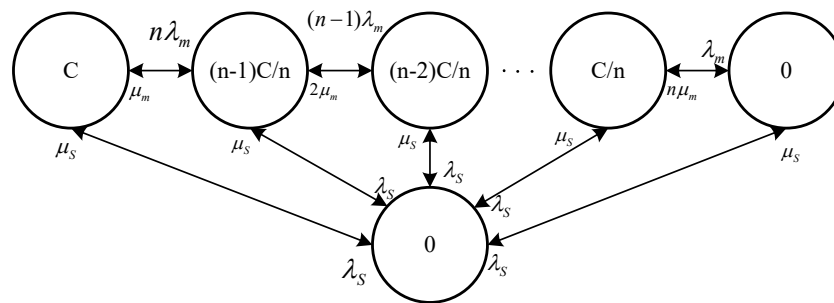
شکل (۳): ترکیب تجهیزات در مدل نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی

در صورتی که ظرفیت نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی C باشد مدل قابلیت اطمینان این نیروگاه‌ها از نقطه نظر خرابی تجهیزات تشکیل دهنده به صورت شکل ۴ خواهد بود.

در مدل قابلیت اطمینان نشان داده شده λ_m و μ_m به ترتیب نرخ خرابی و نرخ تعمیر مربوط به هر ردیف از آینه‌های سهموی و لوله‌های جاذب متصل به آن می‌باشد؛ λ_s و μ_s نیز به ترتیب نرخ خرابی و نرخ تعمیر معادل ترکیب سری بویلر، توربین،

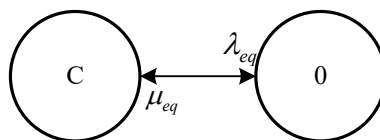
کندانسور، پمپ‌های گردش سیال و گردش آب، ژنراتور و ترانسفورماتور می‌باشد که نرخ خرابی از رابطه ۱ و نرخ تعمیر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\mu_s = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (۴)$$



شکل (۴): مدل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی با در نظر گرفتن خرابی تجهیزات

در مدل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی می‌بایست تاثیر خراب شدن یک آینه سهموی خطی در نظر گرفته شود اما به دلیل اینکه یک نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی از تعداد زیادی آینه تشکیل شده است خرابی یک یا چند آینه تاثیر چندانی بر توان تولیدی نیروگاه ندارد؛ بر همین اساس خرابی یک ردیف از آینه‌های سهموی در مدل در نظر گرفته شده است. در عمل خرابی همزمان آینه‌های سهموی یا لوله‌های جاذب متصل به آن که سبب بروز خرابی یک ردیف کامل از آینه‌ها گردد احتمال بسیار کمی دارد و معمولاً این امر زمانی اتفاق می‌افتد که یک سیل یا زلزله و ... بروز نماید که در این صورت همه نیروگاه دچار خرابی می‌گردد. لذا با لحاظ نمودن احتمال خرابی اجزای تشکیل دهنده مدل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی به صورت نشان داده شده در شکل ۵ خواهد بود. در این مدل نرخ خرابی و نرخ تعمیر معادل مربوط به اتصال سری مجموعه آینه‌های سهموی متصل به لوله‌های جاذب، بویلر، توربین، کندانسور، پمپ‌های گردش سیال و گردش آب، ژنراتور و ترانسفورماتور می‌باشد. احتمال خراب شدن همزمان آینه‌های سهموی و لوله‌های جاذب متصل به آن بسیار کم بوده و لذا به دلیل ناچیز بودن نرخ خرابی این مجموعه از آن صرف‌نظر می‌گردد. دسترس‌پذیری نیروگاه از تقسیم نرخ تعمیر معادل بر مجموع نرخ تعمیر و نرخ خرابی به دست می‌آید.



شکل (۵): مدل نهایی قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی با لحاظ کردن خرابی تجهیزات

حال باید تاثیر تغییرات تابش خورشید در طول روز، ماه‌ها و فصل‌های مختلف بر مدل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خورشیدی بررسی شود. توان خروجی ساعت به ساعت یک نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی از ضرب مقدار تابش ساعت به ساعت خورشید در مساحت آینه‌های سهموی، بازده انعکاس آینه‌ها، ضریب انتشار جو، بازده کسینوسی، بازده لوله دریافت‌کننده، بازده بویلر یا مبدل انتقال حرارت، بازده توربین، بازده ژنراتور، بازده مبدل و بازده ترانسفورماتور به دست می‌آید. به دلیل متغیر بودن تابش خورشید در طول ساعت‌های مختلف، توان

تولیدی نیروگاه‌های خورشیدی نیز متغیر بوده و لذا تعداد حالت‌های مربوط به توان خروجی این نیروگاه‌ها زیاد می‌باشد که باید به کمک یک روش خوشه‌بندی مناسب تعداد این حالت‌ها کاهش یابد. روشی که در این تحقیق پیشنهاد می‌گردد روش خوشه‌بندی میانگین فازی از نوع c می‌باشد. در این روش با معلوم بودن تعداد خوشه‌ها یا کلاسترها، اعداد مختلف بر اساس یک عدد فازی بین ۰ و ۱ به هر کدام از خوشه‌ها تعلق می‌گیرند. این روش به منظور تعیین مرکز کلاسترها و همچنین عدد فازی مربوط به هر داده تابع هدف زیر را که فاصله بین داده‌ها تا مرکز کلاسترها است را مینیمم می‌نماید [14]:

$$J_m(U, v) = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n U_{ik}^f |x_k - v_k| \quad (5)$$

در رابطه فوق، U_{ik} و v_k به ترتیب پارامتر فازی، مرکز خوشه i ام و عدد فازی بین داده x_k و خوشه i ام می‌باشد. همانگونه که گفته شد در این روش به منظور انجام خوشه‌بندی باید تعداد کلاسترها از قبل مشخص باشد. به منظور تعیین تعداد بهینه کلاسترها در این تحقیق پیشنهاد می‌گردد شاخص XB محاسبه گردد و زمانی که این شاخص مینیمم است تعداد کلاسترهای بهینه انتخاب می‌گردد. شاخص XB به ازای تعداد کلاسترهای از ۲ تا یک عدد مشخص به صورت رابطه زیر محاسبه می‌گردد [15]:

$$XB = \frac{J_m(U, v)}{n \times \min_{i \neq j} (|v_i - v_j|^2)} \quad (6)$$

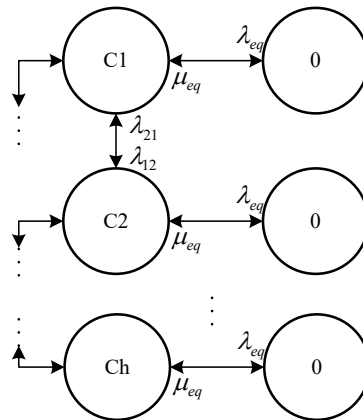
در رابطه فوق $J_m(U, v)$ تابع هدف الگوریتم خوشه‌بندی فازی میانگین C می‌باشد که از رابطه ۵ محاسبه می‌شود. این تابع هدف در واقع مجموع فاصله وزن داده شده با درجه عضویت مربوطه بین داده‌ها (تعداد n داده) و مراکز خوشه‌ها (تعداد m خوشه) می‌باشد که در الگوریتم کلاستر بندی هدف مینیمم نمودن این تابع هدف می‌باشد. با تعیین تعداد کلاسترها احتمال مربوط به هر کدام از این حالت‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^n U_{ik}}{n} \quad (7)$$

در رابطه فوق n تعداد داده‌ها و U_{ik} نیز عدد فازی بین ۰ و ۱ است که نشان می‌دهد داده k ام چقدر به کلاستر i ام تعلق دارد. با به دست آوردن تعداد کلاسترها و احتمال مربوط به هر کلاستر، مدل کامل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی از ترکیب مدل دو حالت مربوط به خرابی اجزا با مدل حاصل از کلاستر بندی به صورت نشان داده شده در شکل ۶ به دست می‌آید. در این مدل فرض شده است کلاستر بندی منجر به تعداد h حالت با توان‌های C1, C2, ..., Ch شده است. می‌توان این مدل را با ادغام نمودن حالت‌های با ظرفیت صفر ساده‌تر نمود. به منظور تعیین احتمال هر کدام از این حالت‌های غیر از صفر کافی است دسترس پذیری نیروگاه را در احتمال مربوطه ضرب نمود و احتمال حالت صفر را نیز از کسر نمودن مجموع احتمال تمام حالت‌ها از عدد ۱ می‌توان محاسبه کرد.

در این قسمت روش پیشنهادی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت با حضور نیروگاه‌های خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی بیان می‌شود. این روش مبتنی بر تکنیک تحلیلی بوده و شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم قدرت را بر اساس مدل نمودن سیستم تولید و بار تعیین می‌کند. در این روش شاخص‌های قابلیت اطمینان کفایت سیستم قدرت محاسبه می‌گردد. شاخص‌های کفایت سیستم قدرت مربوط به مطالعات بلند مدت بوده و در این مطالعات وجود امکانات و تجهیزات کافی در بخش‌های مختلف سیستم قدرت شامل تولید، انتقال و توزیع در تامین بار مورد نیاز شبکه مطالعه می‌شود. این تحقیق به مطالعه کفایت سیستم قدرت اختصاص دارد و لذا قابلیت اطمینان سیستم‌های انتقال و توزیع مطالعه نمی‌شود. بنابراین بخش‌های انتقال و توزیع با قابلیت اطمینان کامل در مطالعات در نظر گرفته می‌شوند. برای انجام مطالعه کفایت سیستم قدرت تمامی نیروگاه‌ها و بار شبکه به یک باس مشترک متصل می‌شوند. به منظور مدل نمودن واحدهای تولید یک

جدول به نام جدول خروج ظرفیت‌ها (COPT) برای هر کدام از واحدها به دست می‌آید. این جدول شامل ظرفیت‌های مربوط به نیروگاه‌ها و احتمال هر کدام از این ظرفیت‌ها می‌باشد.

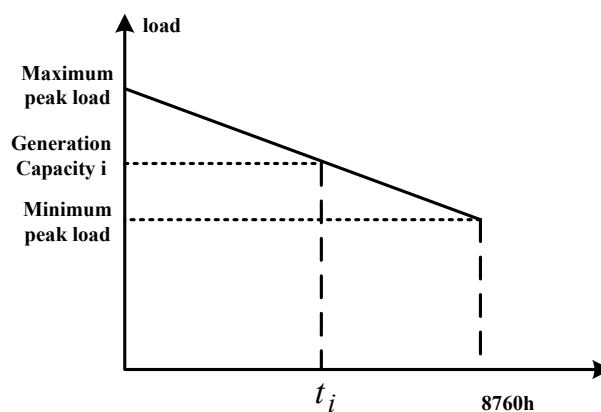


شکل (۶): مدل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی

در مورد نیروگاه‌های متداول که دارای مدل دو حالت هستند این جدول نیز دو سطر دارد که ظرفیت کامل با احتمال مربوطه که همان دسترس‌پذیری است و ظرفیت صفر با احتمال مربوطه که همان دسترس‌ناپذیری است را نشان می‌دهد. در مورد نیروگاه‌های خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی که مدل چند حالت دارند این جدول نیز سطری بیشتری خواهد داشت. سپس جدول خروج ظرفیت‌های همه واحدها با هم ترکیب شده و جدول خروج ظرفیت‌های کلی سیستم تولید به دست می‌آید. بار سیستم نیز که به صورت منحنی تداوم بار مدل می‌شود به صورت یک خط مستقیم بوده که از مقدار پیک بار تا بار پایه تداوم دارد. با ترکیب نمودن مدل تولید با مدل بار سیستم شاخص‌های کیفیت سیستم قدرت شامل متوسط زمان قطع بار (LOLE)، متوسط انرژی تأمین نشده (EENS)، میزان پیک بار قابل تغذیه (PLCC) و میزان افزایش پیک بار قابل تغذیه (IPLCC) محاسبه می‌شوند. این شاخص‌ها بر اساس روش تحلیلی بیان شده و به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

○ متوسط میزان قطع بار: به ازای هر کدام از ظرفیت‌های موجود در جدول COPT میزان تولید با بار مقایسه می‌شود؛ همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است مدت زمانی که به ازای ظرفیت نام سیستم قادر نیست بار را تأمین کند برابر با t_i می‌باشد و میزان متوسط بار قطع شده از رابطه زیر به دست می‌آید [16]:

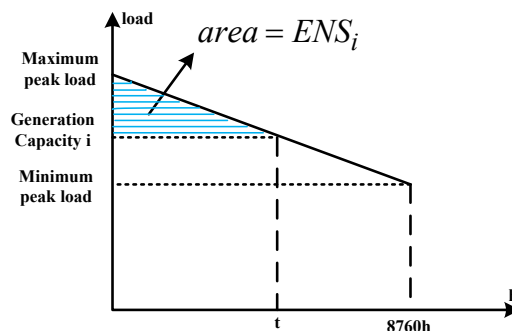
$$LOLE = \sum_{i=1}^n t_i \times P_i \text{ hours / year} \quad (۸)$$



شکل (۷): نحوه محاسبه شاخص میزان متوسط بار قطع شده

○ میزان متوسط انرژی تأمین نشده: در محاسبه شاخص میزان قطع بار در صورتی که میزان تولید از میزان بار کمتر باشد، چه همه بار قطع شود و چه بخشی از آن مدت زمان مربوطه به حساب آورده می‌شود. به منظور تمایز بین موارد ذکر شده از شاخصی مبتنی بر انرژی استفاده می‌شود. برای محاسبه شاخص میزان انرژی قطع شده به ازای هر کدام از ظرفیت‌های موجود در جدول COPT، میزان انرژی قطع شده به صورت نشان داده شده در شکل ۸ به دست آمده و سپس مجموع وزن داده شده این انرژی‌ها در احتمال مربوطه شاخص متوسط را مطابق رابطه زیر نتیجه می‌دهد [16].

$$EENS = \sum_{i=1}^n ENS_i \times P_i \quad (9)$$



شکل (۸): نحوه محاسبه میزان انرژی تغذیه نشده

میزان پیک بار قابل تغذیه: به ازای یک سیستم تولید که جدول ظرفیت‌های آن به دست آمده است میزان پیک بار قابل تغذیه به میزان پیک باری گفته می‌شود که در شرایط آن میزان شاخص میزان متوسط قطع بار و یا میزان متوسط انرژی تأمین نشده کمتر از یک مقدار مشخص قرار بگیرد. معمولاً میزان بار قابل تغذیه را بر اساس شاخص انرژی محاسبه می‌کنند. قابلیت افزایش پیک بار قابل تغذیه: فرض کنید یک سیستم تولید باری را تغذیه می‌کند و معیار قابلیت اطمینان در این حالت برآورده می‌شود. زمانی که یک واحد تولید جدید به سیستم قدرت اضافه می‌شود پیک بار جدیدی که سیستم می‌تواند تغذیه کند به گونه‌ای که هنوز معیار قابلیت اطمینان برقرار باشد به دست آورده می‌شود. قابلیت افزایش پیک بار قابل تغذیه از تفاوت پیک بار جدید به پیک بار اولیه سیستم محاسبه می‌شود.

۴- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش یک نیروگاه ۳۰ مگاواتی از نوع نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی در نظر گرفته شده است و روش پیشنهادی این تحقیق به منظور بررسی تاثیر این نیروگاه بر شاخص‌های کفایت سیستم‌های قدرت استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است. این نیروگاه ۳۰ مگاواتی سهموی خطی در منطقه جاسک نصب شده است که داده‌های تابش خورشید مربوط به این جزیره به صورت ساعت به ساعت در سال ۲۰۱۸ در شکل ۹ نشان داده شده است. نرخ انعکاس آینه‌های سهموی نیروگاه ۰/۹۴، بازده انتقال حرارت سیال کاری ۸۵ درصد، بازده بویلر ۸۹ درصد، بازده توربین ۴۵ درصد، بازده ژنراتور ۹۷ درصد، بازده مبدل الکترونیک قدرت ۹۸ درصد، بازده ترانسفورماتور ۹۸ درصد، درجه تمیزی آینه‌ها ۰/۸۵ و بازده کسینوسی نیز به طور متوسط ۰/۹۳ در نظر گرفته شده است. نرخ انتقال اتمسفر نیز با توجه به فاصله آینه‌های سهموی تا لوله دریافت-کننده تعیین شده که در این تحقیق ۰/۹۹ در نظر گرفته شده است. فرض می‌شود روش دنبال نمودن خورشید به کار رفته در این مقاله، دنبال کننده تک محوره شرقی به غربی بوده که بر اساس زاویه ارتفاع و آزیموث خورشید کار کنترل را انجام می‌دهد. این نیروگاه از ۵۷۱۴۳ آینه سهموی خطی هر کدام به مساحت ۲/۵ مترمربع تشکیل شده است. بنابراین در تابش نامی ۹۰۰ وات بر متر مربع توان خروجی نیروگاه ۳۰ مگاوات خواهد بود. توان تولیدی ساعت به ساعت این نیروگاه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. مقدار شاخص XB بر حسب تعداد کلاسترها محاسبه شده و در شکل ۱۱ رسم شده است. همانگونه که در این شکل مشخص است مقدار شاخص XB به ازای تعداد کلاستر ۴ مینیمم است و لذا تعداد کلاستر بهینه ۴ در نظر گرفته

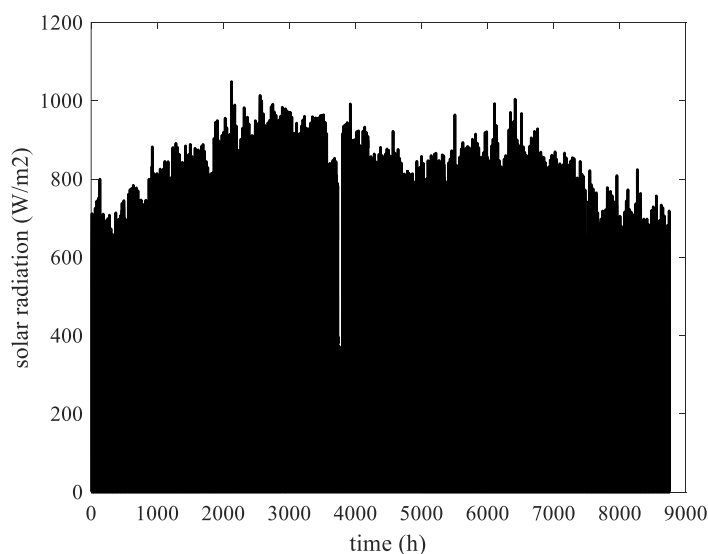
شده است. در جدول ۱ نیز مرکز این کلاسترها و همچنین احتمال مربوط به هر کدام از این کلاسترها نشان داده شده است. در این تحقیق نرخ خرابی و تعمیر تجهیزات به گونه‌ای است که نرخ خرابی معادل ۲ خرابی در سال و نرخ تعمیر معادل نیز ۹۸ تعمیر در سال می‌باشد. بنابراین دسترس پذیری نیروگاه ۰/۹۸ و دسترس ناپذیری آن نیز ۰/۰۲ خواهد بود. با ترکیب مدل قابلیت اطمینان ناشی از خرابی اجزای تشکیل دهنده نیروگاه و مدل قابلیت اطمینان حاصل از خوشه‌بندی، مدل کامل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی به صورت نشان داده شده در جدول ۲ خواهد بود.

جدول (۱): نتیجه خوشه‌بندی

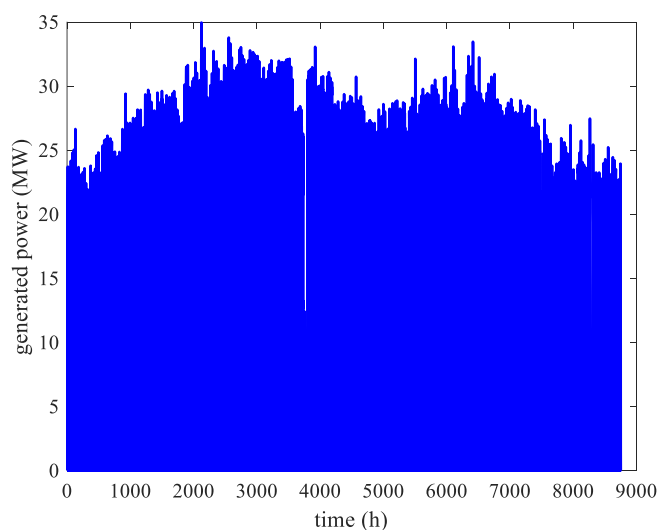
Centers (MW)	0	10.9	21.7	28.0
Probability	0.5312	0.0998	0.1660	0.2030

جدول (۲): مدل قابلیت اطمینان نیروگاه خورشیدی کلکتور سهموی خطی

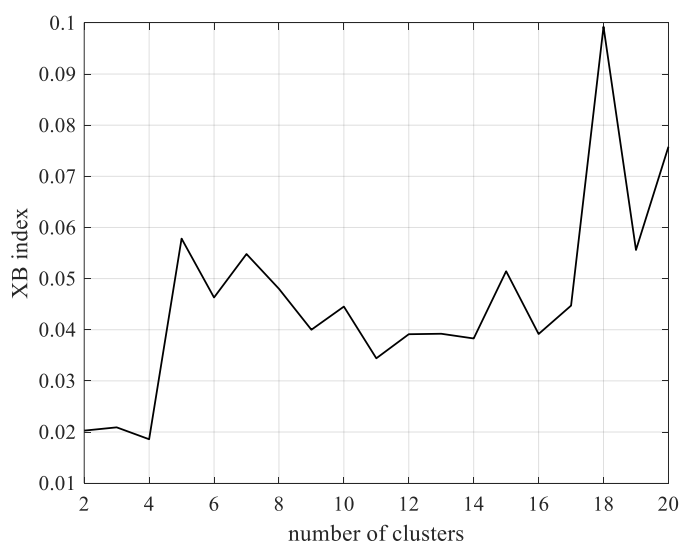
Centers (MW)	0	10.9	21.7	28.0
Probability	0.5406	0.0978	0.1627	0.1989



شکل (۹): تابش خورشید ساعت به ساعت

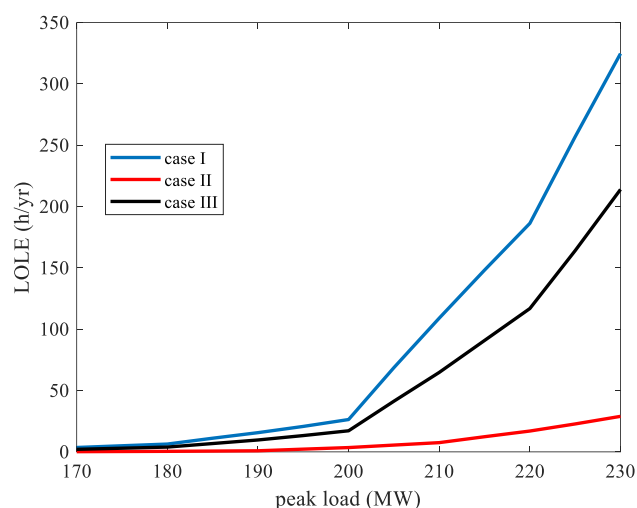


شکل (۱۰): توان تولیدی ساعت به ساعت نیروگاه



شکل (۱۱): نمودار شاخص XB

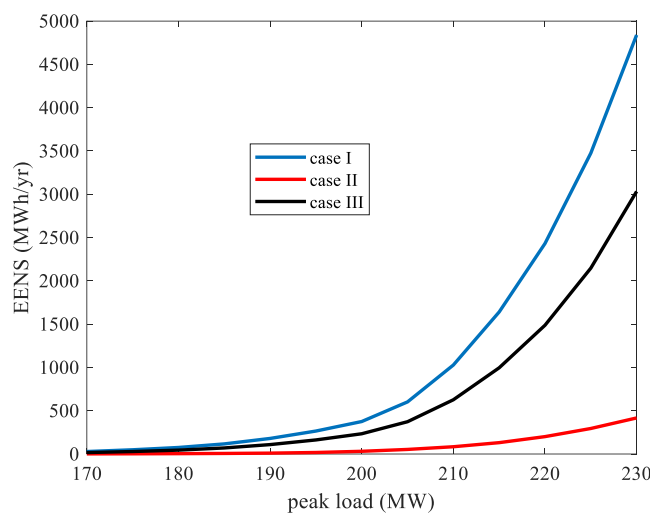
در این قسمت قابلیت اطمینان سیستم تست RBTS مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی بر شاخص‌های قابلیت اطمینان این سیستم مطالعه می‌شود. بار سیستم به صورت منحنی تداوم بار مدل شده که از ۱۰۰ درصد تا ۶۰ درصد پیک بار تداوم دارد. بر اساس روش بیان شده مقدار پیک بار تغییر کرده و در هر مورد شاخص-های متوسط زمان قطع بار و متوسط انرژی تامین نشده برای سه حالت زیر محاسبه شده است: حالت اول، سیستم RBTS اولیه، حالت دوم سیستم RBTS همراه با یک واحد متداول با دسترس‌پذیری ۰/۹۸ و حالت سوم سیستم RBTS با حضور نیروگاه خورشیدی ۳۰ مگاواتی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی است. در شکل ۱۲ نمودار متوسط زمان قطع بار بر حسب پیک بار و در شکل ۱۳ نمودار متوسط انرژی تامین نشده بر حسب پیک بار برای این سه حالت نشان داده شده است.



شکل (۱۲): مقدار شاخص متوسط زمان قطع بار بر حسب پیک بار

همانگونه که در این شکل‌ها مشخص است مقدار این شاخص‌های قابلیت اطمینان با زیاد شدن پیک بار افزایش می‌یابد و هر چه پیک بار بیشتر باشد قابلیت اطمینان بدتر می‌شود. همانگونه که مشخص است با اضافه شدن نیروگاه‌های متداول و خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی مقدار شاخص‌های قابلیت اطمینان کاهش می‌یابد؛ اما میزان بهبود شاخص‌های قابلیت

اطمینان در حالت اضافه شدن نیروگاه‌های متداول که توان ثابتی را تولید می‌کنند نسبت به نیروگاه‌های خورشیدی که توانشان به دلیل تغییر تابش خورشید متغیر است بیشتر است. در ادامه میزان پیک بار قابل تغذیه در سه حالت بیان شده به شرطی که متوسط انرژی تأمین نشده از ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مگاوات ساعت در سال بیشتر نشود محاسبه شده و در جدول ۳ آورده شده است. در جدول ۴ نیز میزان افزایش پیک بار به شرطی که مقدار انرژی تأمین نشده از ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ مگاوات در سال بیشتر نشود در شرایط اضافه نمودن واحد متعارف (حالت دوم) و نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی (حالت سوم) محاسبه شده و آورده شده است. همانگونه که در جداول نیز مشخص است اضافه شدن نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی به سیستم قدرت سبب بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان در سطح کفایت سیستم قدرت می‌شود اما تأثیر آن نسبت به واحدهای متعارف سنتی که توان خروجی آن‌ها ثابت است کمتر می‌باشد.



شکل (۱۳): مقدار شاخص متوسط انرژی تأمین نشده بر حسب پیک بار

جدول (۳): میزان پیک بار قابل تغذیه بر حسب مگاوات

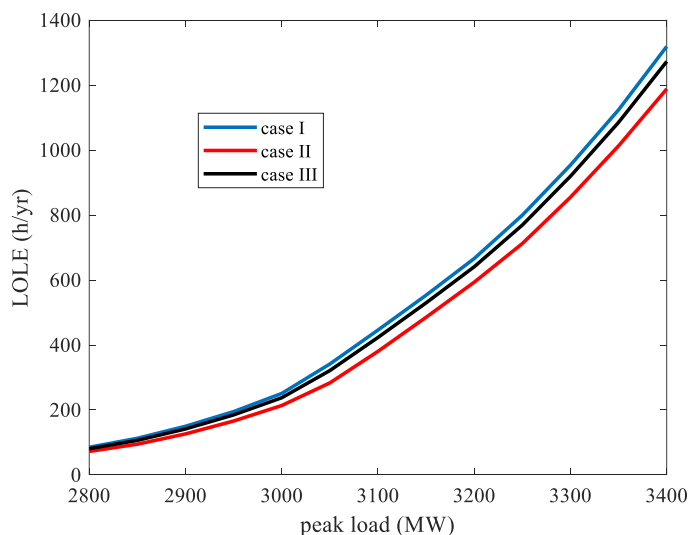
Cases	100 MWh/yr	200 MWh/yr	300 MWh/yr
Case I	180	190	195
Case II	209	215	225
Case III	197	205	209

جدول (۴): میزان افزایش پیک بار

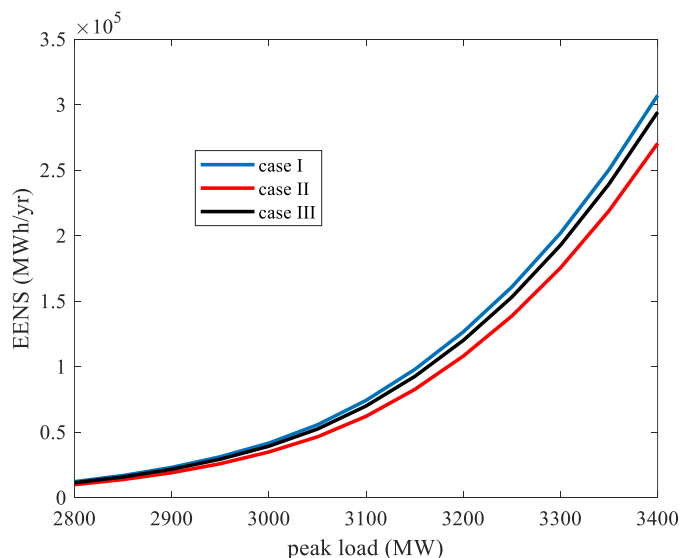
Cases	100 MWh/yr	200 MWh/yr	300 MWh/yr
Case II	29	25	20
Case III	17	15	14

در این بخش قابلیت اطمینان سیستم تست IEEE-RTS مورد مطالعه قرار می‌گیرد و تأثیر نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی بر قابلیت اطمینان این سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. بار سیستم به صورت منحنی تداوم بار که از ۱۰۰ درصد پیک بار تا ۶۰ درصد آن تداوم دارد در نظر گرفته می‌شود. به منظور انجام مطالعات قابلیت اطمینان در این قسمت سه حالت در نظر گرفته می‌شود: حالت اول سیستم تست IEEE-RTS اولیه است و در حالت‌های دوم و سوم به این سیستم به ترتیب یک نیروگاه ۳۰ مگاواتی متعارف با دسترس‌پذیری ۰/۹۸ و نیروگاه خورشیدی ۳۰ مگاواتی نمونه اضافه شده است. شاخص‌های متوسط زمان قطع بار و متوسط انرژی تأمین نشده بر حسب پیک بار محاسبه و در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ رسم شده است. همانگونه که در این شکل‌ها مشخص است قابلیت اطمینان سیستم قدرت با زیاد شدن پیک بار بدتر می‌شود اما در صورت اضافه شدن واحدهای جدید مقدار شاخص‌ها کاهش می‌یابد. البته همانگونه که در این شکل‌ها مشخص است میزان

بهبود قابلیت اطمینان و کاهش شاخص‌های کفایت سیستم قدرت به نوع نیروگاه‌های اضافه شده بستگی دارد. نیروگاه‌های متعارف چون توان ثابتی را تولید می‌کنند شاخص‌های قابلیت اطمینان را بیشتر بهبود داده‌اند در حالی که نیروگاه خورشیدی مجهز به کلکتور سهموی خطی به دلیل اینکه در بیشتر مواقع به خاطر تابش خورشید متغیر توانی کمتر از توان نامی تولید می‌کنند تاثیر کمتری در بهبود شاخص‌های اطمینان سیستم قدرت داشته‌اند. این امر همچنین در نتایج پیک بار قابل تغذیه و افزایش پیک بار قابل تغذیه که در جداول ۵ و ۶ آورده شده است قابل مشاهده است.



شکل (۱۴): مقدار شاخص متوسط زمان قطع بار بر حسب پیک بار



شکل (۱۵): مقدار شاخص متوسط انرژی تامین نشده بر حسب پیک بار

جدول (۵): میزان پیک بار قابل تغذیه بر حسب مگاوات

Cases	20 GWh/yr	50 GWh/yr	100 GWh/yr
Case I	2875	3031	3155
Case II	2904	3059	3181
Case III	2891	3046	3169

جدول (۶): میزان افزایش پیک بار

Cases	20 GWh/yr	50 GWh/yr	100 GWh/yr
Case II	29	28	26
Case III	16	15	14

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق کفایت سیستم قدرت با حضور نیروگاه‌های خورشیدی مجهز به کلکتورهای سهموی خطی مورد مطالعه قرار گرفته است. این نیروگاه‌ها از جمله نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی هستند که به کمک آینه‌های سهموی خطی نور خورشید را بر روی لوله‌های جاذب حرارت منعکس نموده و سبب گرم شدن سیال انتقال حرارت درون این لوله‌ها می‌شوند. این سیال در تبادل با آب، بخار تولید کرده و با گرداندن توربین و ژنراتور متصل به آن برق تولید می‌شود. سپس بخار در کندانسور دوباره به آب تبدیل شده و توسط پمپ دوباره وارد بویلر جهت تبدیل به بخار شدن می‌شود. در این تحقیق ابتدا اصول کار این نیروگاه‌ها مطالعه و سپس یک مدل چند حالتی قابلیت اطمینان برای آن‌ها توسعه داده شد. در این مدل هم خرابی اجزای تشکیل دهنده و هم تغییرات تابش خورشید در نظر گرفته شد. به منظور کاهش تعداد حالت‌های توان خروجی در مدل قابلیت اطمینان این نیروگاه‌ها از روش خوشه‌بندی فازی میانگین C استفاده شد و به منظور تعیین تعداد بهینه کلاسترها شاخص XB محاسبه گردید. تعداد کلاسترهای بهینه با توجه به نقطه‌ای که شاخص XB مینیمم است تعیین می‌شود. مدل کامل قابلیت اطمینان این نیروگاه‌ها نیز از ترکیب مدل قابلیت اطمینان مربوط به خرابی اجزا و مدل حاصل از کلاستربندی به دست می‌آید. به منظور محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم تولید در این تحقیق از روش تحلیلی استفاده شده است. بر اساس این روش جدول خروج ظرفیت‌های واحدهای تولید تعیین و با مدل بار که به صورت منحنی تداوم بار نشان داده می‌شود ترکیب می‌شود. شاخص‌های قابلیت اطمینان متوسط زمان قطع بار، متوسط انرژی تامین نشده، پیک بار قابل تغذیه و قابلیت افزایش پیک بار قابل تغذیه از جمله شاخص‌های مهم قابلیت اطمینان هستند که در این تحقیق محاسبه شده‌اند. روش پیشنهادی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت تست RBTS و IEEE-RTS مورد استفاده قرار گرفت و نتایج شبیه‌سازی در محیط نرم-افزار متلب نشان داد که اضافه شدن نیروگاه‌های خورشیدی از نوع کلکتور سهموی خطی سبب بهبود قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌شود اما تاثیر این نیروگاه‌ها در مقایسه با سایر نیروگاه‌های متعارف که توان ثابتی تولید می‌کنند کمتر است؛ چرا که توان خروجی نیروگاه‌های خورشیدی به تابش خورشید وابسته است و به دلیل تغییر تابش خورشید، توان خروجی این نیروگاه‌ها در بیشتر مواقع از توان نامی کمتر است.

۶- تشکر و قدردانی

نویسنده از آقای دکتر امیر قانلی، دانشیار مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد داریون به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز شبیه‌سازی تشکر و قدردانی می‌نماید.

References

مراجع

- [1] G. K. Manikandan, S. Iniyan, R. Goic, "Enhancing the optical and thermal efficiency of a parabolic trough collector-A review", *Applied Energy*, vol. 235, pp. 1524-1540, 2019.
- [2] V. K. Jebsingh, G. M. J. Herbert, "A review of solar parabolic trough collector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, pp. 1085-1091, 2016.
- [3] R. Naveenkumar et al., "Comprehensive review on various parameters that influence the performance of parabolic trough collector", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 18, pp. 22310-22333, 2021.
- [4] S. A. Kalogirou, "A detailed thermal model of a parabolic trough collector receiver", *Energy*, vol. 48, no. 1, pp. 298-306, 2012.
- [5] F. Wang et al., "Progress in concentrated solar power technology with parabolic trough collector system: A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79, pp. 1314-1328, 2017.
- [6] C. Tzivanidis et al., "Thermal and optical efficiency investigation of a parabolic trough collector", *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 6, pp. 226-237, 2015.
- [7] Y. Krishna et al., "State-of-the-art heat transfer fluids for parabolic trough collector", *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 152, p. 119541, 2020.

- [8] İ. H. Yılmaz, M. S. Söylemez, “Thermo-mathematical modeling of parabolic trough collector”, *Energy Conversion and Management*, vol. 88, pp. 768–784, 2014.
- [9] A. Ahmad et al., “Parabolic trough solar collectors: A sustainable and efficient energy source”, *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 7, pp. 99–106, 2024.
- [10] D. Kumar et al., “Design and development of a novel and cost effective modified Compound parabolic trough collector”, *Energy Conversion and Management*, vol. 306, p. 118285, 2024.
- [11] E. A. González-Galindo et al., “Graphical Interface in MATLAB for Design and Analysis of Reflectors for Lighting Systems or Solar Collectors on Parabolic Surfaces”, *Journal of Technology and Innovation*, pp. 11–28, 2024.
- [12] M. Abutayeh, Y. D. Goswami, E. K. Stefanakos, “Solar thermal power plant simulation”, *Environ. Progress & Sustainable Energy*, vol. 32, no. 2, pp. 417–424, 2013.
- [13] M. Anumaka, M. Chukwukadibia, “Fundamentals of Reliability of Electric Power System and Equipment”, *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 3, 2011.
- [14] R. L. Cannon, V. D. Jitendra, J. C. Bezdek, “Efficient Implementation of the Fuzzy c-Means Clustering Algorithms”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-8, no. 2, pp. 248–255, Mar. 1986.
- [15] M. Chen, S. A. Ludwig, “Particle swarm optimization based fuzzy clustering approach to identify optimal number of clusters”, *J. Artif. Intell. Soft Comput. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 43–56, 2014.
- [16] R. Billinton, R. N. Allan, *Reliability Evaluation of Power Systems*, 2nd ed. New York and London: Plenum Press, 1994.