

The Impact of Tidal Current Velocity on the Stream Tidal Plants Reliability

Milad Barzin

Department of Electrical Engineering, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran
miladbarzin1371@gmail.com

Received: 1 March 2025

Revised: 9 April 2025

Accepted: 12 April 2025

Abstract:

Due to the problems of fossil fuels such as environmental pollution due to greenhouse gas emissions, concerns about the depletion of these fuel resources and fluctuations in their prices, countries around the world have turned to using alternative power plants. Renewable energy sources are growing rapidly as an alternative option, and accordingly, many power plants with significant capacities based on renewable energies such as wind, sun, waves, tides, etc. have now been put into operation worldwide. Therefore, it is necessary to examine various aspects of the power system by considering the effect of these power plants. One of the main problems of renewable energy sources that has created a great challenge in the power grid is the variability of the production capacity of these power plants. For example, in tidal power plants, due to changes in the height of the tide or changes in the speed of tidal currents, the production capacity of these power plants is not constant and will change greatly over time. Therefore, the impact of these changes on various power system studies must be considered. One of the studies that has gained great importance in recent years is the reliability of the power system, and the equipment that makes up the power system, like various power plants, must have high reliability. This means that the probability of failure, or in other words, their failure rate, should be low. In order to generate electricity from tidal power plants, there are two ways to operate. In the first method, which is done in reservoir-type tidal power plants, it is necessary to build a dam and a storage tank. In the second type, tidal power plants, which are known as current-type, generate electricity similar to wind power plants. Tidal turbines are installed in the depths of the sea where the speed of tidal currents is suitable. These turbines are rotated by tidal currents and electricity is generated. In this study, current-type tidal power plants are studied. Accordingly, this research attempts to examine the effect of changes in tidal current speed on the failure rate of equipment constituting a current-type tidal power plant.

Keywords: stream tidal power plant, reliability, tidal current velocity, failure rate, renewable energies.

Corresponding Author: Milad Barzin

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

تأثیر سرعت جریان‌های جزرومدی بر قابلیت اطمینان نیروگاه‌های جزرومدی جریانی

میلاد برزین

گروه مهندسی برق، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران
miladbarzin1371@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

چکیده: به دلیل مشکلات سوخت‌های فسیلی نظیر آلودگی محیط زیست به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای، نگرانی از پایان یافتن منابع این سوخت‌ها و نوسانات قیمت آن‌ها کشورهای مختلف جهان به سمت استفاده از نیروگاه‌های جایگزین روی آورده‌اند. منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان یکی از گزینه‌های جایگزین به سرعت در حال رشد بوده و بر همین اساس هم‌اکنون نیروگاه‌های زیادی با ظرفیت‌های قابل توجه مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد، خورشید، امواج، جزرومد و ... در سطح جهان به بهره‌برداری رسیده‌اند. بنابراین لازم است جنبه‌های مختلف سیستم قدرت با در نظر گرفتن اثر این نیروگاه‌ها مورد بررسی قرار بگیرد. یکی از مشکلات اصلی منابع انرژی تجدیدپذیر که چالش زیادی را در شبکه قدرت ایجاد کرده است متغیر بودن توان تولیدی این نیروگاه‌ها است. به عنوان نمونه در نیروگاه‌های جزرومدی به دلیل تغییر ارتفاع جزرومد و یا تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی توان تولیدی این نیروگاه‌ها ثابت نبوده و در طول زمان دارای تغییرات زیادی خواهد بود. بنابراین باید تأثیر این تغییرات بر مطالعات مختلف سیستم قدرت در نظر گرفته شود. یکی از مطالعاتی که در سال‌های اخیر از اهمیت زیادی برخوردار شده است قابلیت اطمینان سیستم قدرت است و تجهیزات تشکیل دهنده سیستم قدرت به مانند نیروگاه‌های مختلف باید قابلیت اطمینان بالایی داشته باشند. به این معنا که احتمال خرابی یا به عبارت دیگر نرخ خرابی آن‌ها کم باشد. به منظور تولید برق از نیروگاه‌های جزرومدی به دو صورت می‌توان عمل کرد. در روش اول که در نیروگاه‌های جزرومدی نوع مخزنی انجام می‌شود نیاز به احداث سد و مخزن ذخیره دارد. در نوع دوم نیروگاه‌های جزرومدی که به نوع جریانی معروفند تولید برق مشابه نیروگاه‌های بادی انجام می‌شود. توربین‌های جزرومدی در اعماق دریا جایی که سرعت جریان‌های جزرومدی مناسب است نصب می‌شوند. توسط جریان‌های جزرومدی این توربین‌ها چرخانده شده و برق تولید می‌شود. در این تحقیق نیروگاه‌های جزرومدی نوع جریانی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. بر همین اساس در این تحقیق سعی می‌شود اثر تغییرات سرعت جریان‌های جزرومدی بر نرخ خرابی تجهیزات تشکیل دهنده نیروگاه جزرومدی نوع جریانی مورد بررسی قرار بگیرد. برای این کار تأثیر تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی بر تجهیزات تشکیل دهنده نیروگاه جزرومدی نوع جریانی شامل توربین، ژنراتور، مبدل الکترونیک قدرت، ترانسفورماتور و کابل بررسی می‌گردد. سپس نرخ خرابی کل نیروگاه بر اساس سرعت جریان‌های جزرومدی محاسبه می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد به دلیل تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی در طول زمان، نرخ خرابی نیروگاه جزرومدی جریانی در طول زمان تغییرات زیادی دارد که به منظور تعیین شاخص‌های دقیق قابلیت اطمینان، این تغییرات باید لحاظ گردد.

کلمات کلیدی: نیروگاه جزرومدی جریانی، قابلیت اطمینان، سرعت جریان‌های جزرومدی، نرخ خرابی، انرژی تجدیدپذیر

نام نویسنده‌ی مسئول: میلاد برزین

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

۱- مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی یک افزایش قیمت ناگهانی در نفت صورت پذیرفت که موجب نگرانی کشورهای وارد کننده نفت گردید. در آن سال‌ها اکثر نیروگاه‌ها مبتنی بر سوخت‌های فسیلی بوده و با زیاد شدن قیمت نفت قیمت انرژی و برق تولیدی این نیروگاه‌ها نیز افزایش می‌یافت. لذا بیشتر کشورها به فکر تأمین انرژی خود از منابع انرژی تجدیدپذیر به مانند باد، خورشید و اقیانوس (جزرومد، امواج و انرژی حرارتی اقیانوس) افتادند. این انرژی‌ها تجدیدپذیر بوده و نگرانی از پایان یافتن آن‌ها وجود نداشت، به علاوه به وفور در طبیعت یافت می‌شوند و هزینه بهره‌برداری آن‌ها ناچیز است. از دیگر عواملی که سبب افزایش نیروگاه‌های جزرومدی و سایر منابع انرژی تجدیدپذیر به ویژه نیروگاه‌های مبتنی بر انرژی اقیانوس نظیر مبدل‌های انرژی امواج، نیروگاه‌های حرارتی اقیانوس و ... در جهان شده است مسائل و مشکلات زیست محیطی مربوط به سوخت‌های فسیلی بوده است. به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به مانند دی‌اکسیدکربن، دی‌اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن لایه ازن تخریب شده و به دنبال آن گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی صورت گرفته است. بر همین اساس سازمان‌های دوستدار محیط زیست، کشورهای مختلف را ملزم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نموده‌اند. بنابراین کشورهای مختلف در برنامه‌ریزی توسعه تولید خود سعی نموده‌اند نیروگاه‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر را در اولویت قرار دهند. از دلایل دیگری که سبب رشد به کارگیری نیروگاه‌های جزرومدی جهت تولید برق در شبکه قدرت می‌شود این است که ارتفاع جزرومد یا سرعت جریان‌های جزرومدی با دقت خوبی قابل پیش‌بینی بوده و بر این اساس می‌توان تولیدی این نیروگاه‌ها را در بازه‌های زمانی مختلف پیش‌بینی کرد.

بنابراین انتظار می‌رود که در آینده سهم نیروگاه‌های جزرومدی در تولید برق قابل توجه باشد و بنابراین لازم است تأثیرات مختلف این نیروگاه‌ها بر جنبه‌های مختلف سیستم قدرت مورد بررسی قرار بگیرد. یکی از مهمترین مطالعاتی که در مورد یک تجهیز صورت می‌گیرد مطالعات قابلیت اطمینان است. قابلیت اطمینان یک سیستم میزان توانایی آن سیستم در انجام مسئولیتی است که به آن سپرده شده است. بنابراین قابلیت اطمینان یک نیروگاه جزرومدی میزان توانایی این نیروگاه در تولید برق می‌باشد. یکی از شاخص‌های قابلیت اطمینان مربوط به هر تجهیز نرخ خرابی آن است که نشان می‌دهد آن تجهیز در یک مدت زمان مشخص بطور متوسط چند بار خراب می‌شود و نمی‌تواند کار خود را انجام دهد. مسلماً عملکرد کلی یک تجهیز به عملکرد اجزای تشکیل دهنده آن بستگی دارد و بنابراین به منظور تعیین نرخ خرابی یک تجهیز باید نرخ خرابی المان‌های تشکیل دهنده و تأثیر خرابی هر المان بر خرابی کل سیستم بررسی شود. در نیروگاه‌های جزرومدی جریانی تجهیزات مختلفی به مانند توربین، ژنراتور، مبدل‌های الکترونیک قدرت، سیستم‌های کنترل، ترانسفورماتور، کابل و ساختار نگهدارنده وجود دارد که باید مورد بررسی قرار بگیرند. به علاوه تفاوت نیروگاه‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله نیروگاه جزرومدی جریانی با نیروگاه‌های متداول سنتی این است که توان خروجی آن‌ها متغیر بوده و در طول زمان نوسان می‌کند. در نیروگاه جزرومدی جریانی توان خروجی این نیروگاه‌ها به سرعت جریان‌های دریایی ناشی از جزرومد وابسته است و به دلیل تغییر سیکل جزرومد، سرعت جریان‌های دریایی نیز تغییر کرده و توان تولیدی آن‌ها متغیر خواهد بود. بنابراین لازم است تأثیر تغییر سرعت جریان‌های دریایی بر نرخ خرابی المان‌های مختلف نیروگاه‌های جزرومدی جریانی و در نتیجه خرابی کل نیروگاه مورد بررسی قرار بگیرد.

۱-۲- مروری بر ادبیات

در این قسمت، به بررسی و مرور مقالاتی که نیروگاه‌های جزرومدی و جنبه‌های مختلف آن در سیستم قدرت را مورد مطالعه قرار داده‌اند پرداخته می‌شود. توسعه تکنولوژی‌های جدید برای تولید برق پاک و پایدار در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله این منابع پاک، تجدیدپذیر و پایدار می‌توان به آب، باد، فتوولتاییک (خورشید)، زیست توده، زمین گرمایی و سیستم‌های انرژی اقیانوس اشاره نمود [۱-۲]. جریان‌های جزر و مد به عنوان یک نمونه از منابع انرژی اقیانوس، از پتانسیل زیادی در تولید الکتریسیته پاک با بهره بردن از بالا و پایین رفتن طبیعی جریان‌های جزر و مد اقیانوس برخوردار هستند.

انرژی اقیانوس به دلیل گسترده بودن اقیانوس‌ها در سطح جهان بسیار مورد توجه هستند و انتظار می‌رود در آینده سهم زیادی در تأمین برق مورد نیاز جهان داشته باشند. از دیگر منابع انرژی اقیانوس می‌توان به انرژی امواج، انرژی حرارتی اقیانوس و ... اشاره نمود. البته این نیروگاه‌ها نیز به دلیل اینکه به مانند انرژی جزرومد هزینه سرمایه‌گذاری زیاد نیاز دارند توسعه کمتری به نسبت نیروگاه‌های بادی و خورشیدی یافته‌اند. اما انتظار می‌رود در آینده با ظهور تکنولوژی‌های جدید و کاهش هزینه تمام شده این نیروگاه‌ها، به توسعه بیشتری جهت تولید برق پایدار و تجدیدپذیر دست یابند. بسیاری از نیروگاه‌های جزر و مدی در سرتاسر جهان ساخته شده و یا برنامه‌ریزی آن‌ها صورت گرفته است [۳-۴] که شامل توربین‌های شناور نصب شده بر روی بستر دریاها می‌باشند. سازندگان جهانی با داشتن تجربه قابل توجه در ساخت توربین-ژنراتورهای بادی به مانند ABB و آلتون به صورت فعال در توسعه سیستم‌های انرژی جزر و مد مشغول هستند [۵-۶] و تعداد زیادی مقاله نیز در زمینه بررسی بهره‌برداری و عملکرد تجهیزات جریان‌ی جزر و مد منتشر شده است. در [۷] نتایج امکان‌سنجی استفاده از نیروگاه‌های جزرومدی به منظور تولید برق آورده شده است. در [۸] اصول طراحی، مشخصات، هزینه و تحلیل اقتصادی یک نیروگاه جزرومدی نوع جریان‌ی هم به صورت پایلوت و هم به صورت تجاری در منطقه تاکوما در واشینگتن آمریکا بیان شده است. ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه به عنوان ژنراتورهایی که بیشترین استفاده در منابع انرژی منقطع به مانند نیروی باد و جزر و مد را دارند مطرح هستند [۹]. مدل قابلیت اطمینان یک سیستم مبدل توربین بادی بر اساس ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم در [۱۰] بدست آمده است. ولتاژ، دمای پیوند و سایر فاکتورها تأثیر قابل توجهی بر قابلیت اطمینان اجزای تشکیل دهنده و در نتیجه کل نیروگاه دارند [۱۱-۱۳]. در [۱۴] تأثیر تغییرات منابع انرژی تجدیدپذیر بر قابلیت اطمینان ریزشکه متشکل از منابع انرژی تجدیدپذیر مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله در ریزشکه مورد مطالعه توربین‌های بادی، توربین‌های جزرومدی و سیستم فتوولتاییک در نظر گرفته شده است. در [۱۵] تأثیر تغییرات سرعت باد بر قابلیت اطمینان توربین‌های بادی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله توربین‌های بادی مبتنی بر تکنولوژی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم در نظر گرفته شده‌اند. در [۱۶] تأثیر تغییر ارتفاع آب ناشی از بروز جزرومد بر نرخ خرابی و قابلیت اطمینان نیروگاه‌های جزرومدی نوع مخزنی بررسی شده است. در این مقاله به منظور تعیین شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم قدرت با حضور نیروگاه‌های جزرومدی از نرخ خرابی متغیر با زمان برای اجزای تشکیل‌دهنده نیروگاه جزرومدی استفاده شده است.

۱-۳- نوآوری و سازماندهی مقاله

دمای پیوند تجهیزات الکترونیک قدرت به تلفات توان آن‌ها که به جریان الکتریکی عبوری از تجهیزات بستگی دارند وابسته هستند. نرخ خرابی تجهیزات الکترونیک قدرت به شدت به دمای پیوندها بستگی دارند. به منظور تعیین دمای پیوند، در ابتدا باید جریان الکتریکی عبوری از مبدل‌های پشت به پشت و تلفات توان ایجاد شده توسط این جریان محاسبه شود. توان و جریان الکتریکی عبوری از مبدل‌های پشت به پشت به وضعیت‌های عملکرد سیستم بستگی داشته و در نتیجه نرخ خرابی تجهیزات الکترونیک قدرت و شاخص‌های قابلیت اطمینان کل سیستم تبدیل انرژی جریان‌های جزر و مد به حالت‌های مختلف بهره‌برداری سیستم که در طول زمان تغییر می‌کنند بستگی دارد. مجموعه‌ای از مدل‌های محاسباتی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان این سیستم‌ها معرفی و توسعه داده شده است. بر این اساس نوآوری‌های این مقاله به صورت زیر می‌باشد:

- مدل قابلیت اطمینان نیروگاه جزرومدی نوع جریان‌ی تعیین شده است.
- تأثیر تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی بر نرخ خرابی اجزای تشکیل‌دهنده نیروگاه جزرومدی نوع جریان‌ی به دست آمده است.

با توجه به اهدافی که این مقاله دنبال می‌کند سازماندهی آن به صورت زیر خواهد بود: پدیده جزرومد، انواع مختلف نیروگاه‌های جزرومدی و اساس کارکرد سیستم‌های تبدیل انرژی جریان‌های جزرومدی در بخش دوم به منظور توسعه مدل قابلیت اطمینان این سیستم‌ها آورده شده است. در بخش سوم نرخ خرابی تجهیزات اصلی نیروگاه جزرومدی نوع جریان‌ی شامل توربین، ژنراتور، مبدل‌های الکترونیک قدرت، ترانسفورماتور و کابل و در نتیجه نرخ خرابی کل نیروگاه بر حسب سرعت جریان‌های جزرومدی تعیین و مدل‌های ارزیابی قابلیت اطمینان مربوط به سیستم تبدیل انرژی جریان‌ی جزر و مد بیان می‌شود. در

بخش چهارم شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار متلب انجام شده و نتایج عددی نیز ارائه می‌شود. بخش پنجم نیز به نتیجه‌گیری مقاله اختصاص دارد.

۲- نیروگاه جزرومدی جریانی

پدیده جزرومد در نتیجه تغییرات کوچک نیروهای گرانشی بین زمین، ماه و خورشید ایجاد می‌شود. این تغییرات کوچک نیروهای گرانشی بر آب‌های اقیانوس‌ها نیرو وارد کرده و سبب حرکت آن‌ها و ایجاد جزرومد می‌شود. بطور کلی به دو صورت می‌توان انرژی جزرومد را به انرژی الکتریکی تبدیل نمود و بر این اساس دو نوع نیروگاه جزرومدی تحت عنوان نوع مخزنی و نوع جریانی ایجاد شده‌اند. در نیروگاه‌های جزرومدی مخزنی که معمولاً سطح توان بالاتری نسبت به نوع جریانی دارند یک سد یا دیواره بین دریا و مخزن ذخیره آب احداث می‌شود. این دیواره می‌تواند به صورت طبیعی وجود داشته باشد و یا اینکه به منظور ارتباط بین دو نقطه ایجاد شود و از روی آن به عنوان جاده استفاده شود. با توجه به بروز جزرومد ارتفاع آب دریا در سیکل‌های منظمی در حال بالا رفتن و پایین آمدن می‌باشد و بر همین اساس می‌توان شرایطی را فراهم نمود که آب از دریا به مخزن ذخیره و برعکس از مخزن ذخیره به دریا منتقل شود. در این دیواره دریچه‌هایی تعبیه می‌شود که امکان انتقال آب بین دریا و مخزن ذخیره وجود داشته باشد. همچنین در برخی از این دریچه‌ها توربین‌هایی قرار داده می‌شود که بر اثر عبور آب بچرخند و برق تولید کنند. در نوع دوم نیروگاه‌های جزرومدی که به نیروگاه‌های جزرومدی جریانی معروف است از روشی شبیه به نیروگاه‌های بادی به منظور تولید برق استفاده می‌شود. در این نوع نیروگاه‌ها توربین‌های جزرومدی در عمق آب نصب شده و به دلیل وجود جریان‌های دریایی ناشی از جزرومد که سرعت پایین‌تری نسبت به سرعت باد دارند این توربین‌ها به چرخش درآمده و برق تولید می‌کنند. در شکل ۱ یک نمونه نیروگاه جزرومدی جریانی که از چندین توربین جریانی جزرومدی تشکیل شده است نشان داده شده است. به مانند مزارع بادی، می‌توان مزرعه جزرومدی جریانی را با استفاده از چندین توربین جزرومدی جریانی که در یک منطقه نصب می‌شوند ایجاد نمود.



شکل (۱): تصویر نمادین یک نیروگاه جزرومدی جریانی

همان‌گونه که گفته شد نیروگاه‌های جزرومدی جریانی از انرژی جنبشی جریان‌های دریایی استفاده کرده و در روشی شبیه توربین‌های بادی برق تولید می‌کنند. بنابراین رابطه توان تولیدی آن‌ها بر اساس انرژی جنبشی جریان‌های آب متحرک به دست می‌آید. در رابطه زیر توان تولیدی توربین جزرومدی در شرایطی که مساحتی که توربین در بر می‌گیرد A ، چگالی آب دریا ρ (برای آب دریا 1025 کیلوگرم بر متر مکعب است) و سرعت جریان‌های دریایی ناشی از جزرومد v باشد به دست آورده شده است. به مانند توربین‌های بادی توانی که در عمل از انرژی جنبشی توده هوا و یا جریان‌های دریایی به دست می‌آید کمتر است. این توان واقعی از ضرب عدد بتز (C_p) در کل توان به صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad (1)$$

در ساختار نیروگاه‌های جزرومدی جریانی تجهیزاتی به مانند توربین، جعبه دنده، ژنراتور، مبدل‌های الکترونیک قدرت، سیستم‌های کنترل مکانیکی و الکتریکی، ترانسفورماتور، کابل‌هایی که توان را از زیر دریا به شبکه واقع در ساحل منقل می‌کنند و ساختار نگهدارنده وجود دارد. ژنراتور القایی دوسو تغذیه (doubly-fed induction generator) به همراه مبدل سمت روتور (RSC) و همچنین مبدل سمت شبکه (GSC) در ساختار توربین جریان جزرومد قرار دارند.

۳- مطالعه نرخ خرابی و قابلیت اطمینان نیروگاه جزرومدی جریانی

منظور از عدم قطعیت این است که توان خروجی نیروگاه‌های جزرومدی به سرعت جریان‌های جزرومدی وابسته است و از آنجا که سرعت جریان‌های دریایی ناشی از جزرومد در طول زمان تغییر می‌کند، توان خروجی این نیروگاه‌ها نیز ثابت نبوده و به مانند متغیرهای تصادفی می‌توانند مقادیر متفاوتی را داشته باشند. مدل مارکوف، حالت‌هایی که یک تجهیز در طول عملکرد خود می‌تواند داشته باشد را لحاظ کرده و نرخ رفتن این تجهیز از حالتی به حالت دیگر را نشان می‌دهد. احتمال حالت‌های مختلف، فرکانس و تداوم این حالت‌ها در مدل ارائه شده تعیین می‌شود. در این مقاله، مدل مارکوف دو حالت که سالم بودن و خرابی یک تجهیز را ارائه می‌دهد برای تجهیزات در نظر گرفته می‌شود. در این مدل تجهیز با نرخ خرابی از حالت سالم به حالت خراب و با نرخ تعمیر از حالت خراب به حالت سالم می‌رود. در مدل قابلیت اطمینان دو حالت مارکوف نرخ خرابی اجزا در دوره عمر مفیدشان ثابت فرض شده است. اما نرخ خرابی می‌تواند وابسته به عوامل مختلف بهره‌برداری همچون دمای کارکرد آن‌ها باشد. در این قسمت تاثیر سرعت جریان‌های جزر و مدی بر روی اجزا تشکیل دهنده نیروگاه‌های جزر و مدی شامل توربین، ژنراتور، مبدل‌های الکترونیک قدرت، ترانسفورماتور و کابل بررسی می‌شود و در ادامه به بررسی تاثیر تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی بر روی نرخ خرابی تجهیزات پرداخته می‌شود.

تغییرات سرعت جریان‌های دریایی ناشی از جزرومد منجر به تغییرات سرعت آب عبوری از توربین‌ها می‌شود. همچنین احتمال خرابی توربین تابعی از سرعت توربین می‌باشد. احتمال خرابی توربین از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_{failure\ of\ turbine} = \Pr[G(v_f) \leq 0] \quad (2)$$

که تابع $G(v_f)$ بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$G(v_f) = f_c - \frac{C_m M_f}{Z_f} \quad (3)$$

در رابطه فوق f_c شاخص استحکام مواد تشکیل دهنده پره توربین (بر حسب kN/m^2)، M_f ممان خمشی انتهایی پره Z_f ، kNm)، C_m عدم قطعیت مربوط به M_f می‌باشد. پارامترهای f_c و Z_f ثابت و به ترتیب ۳۵۰ مگاپاسکال و ۰.۰۰۰۷۳ متر مکعب در نظر گرفته می‌شوند. همچنین M_f از رابطه (۴) تعیین می‌شود:

$$M_f = 523 v_f - 459 \quad (4)$$

عدم قطعیت مربوط به خرابی توربین با متغیر تصادفی C_m که بصورت یک تابع توزیع نرمال با میانگین ۱ و کوواریانس ۰.۱۵ یا انحراف معیار ۰.۳۹ می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود. احتمال خرابی توربین برحسب سرعت جریان‌های جزر و مدی با توجه به روابط فوق بدست می‌آید. با معلوم بودن نرخ تعمیر، نرخ خرابی توربین نیز بصورت رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$P_{failure} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \Rightarrow \lambda = \frac{\mu P_{failure}}{1 - P_{failure}} \quad (5)$$

عوامل داخلی مانند خراب شدن عایق سیم‌پیچ‌ها به دلیل افزایش دمای کارکرد ژنراتور، ایجاد تخلیه جزئی در سیم‌پیچ بر اثر اضافه ولتاژ، خراب شدن سیم‌پیچ در اثر اضافه جریان، خراب شدن بخش‌های مکانیکی مانند حلقه لغزان و عوامل خارجی مانند خطاهای خارجی به دلیل ایجاد اتصال کوتاه در شبکه و انتقال آن به مدار استاتور و روتور ژنراتور می‌توانند باعث خرابی ژنراتور

شوند در این صورت ممکن است سیم‌پیچ‌ها و یا عایق آن‌ها آسیب ببینند. در صورت خراب شدن ژنراتور تبدیل انرژی از حالت مکانیکی به الکتریکی صورت نمی‌گیرد و لذا توان خروجی واحد جزر و مدی صفر خواهد شد. در این تحقیق، ژنراتور مورد استفاده به منظور تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی، ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم در نظر گرفته شده است. در این قسمت تأثیر تغییرات سرعت جریان‌های جزر و مدی روی نرخ خرابی ژنراتور بررسی می‌شود. دمای سیم پیچ ژنراتور ناشی از توان تولیدی بر حسب جریان عبوری از سیم پیچ به دست می‌آید که با توجه به مقاومت سیم پیچ ژنراتور و روابط تبادل حرارتی (به روش‌های رسانش، همرفتی و تشعشع) قابل محاسبه است. دمای سیم پیچ ژنراتور بر اساس مدل حرارتی ژنراتور تعیین می‌شود و با توجه به قانون آرسنیوس نرخ خرابی سیم پیچ ژنراتور بدست می‌آید. بر اساس قانون آرسنیوس نرخ خرابی سیم‌پیچ ژنراتور در یک دمای معین (ناشی از تغییرات ارتفاع و همچنین تغییرات توان تولیدی ژنراتور) بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda = \lambda_0 f_{TA} \quad (6)$$

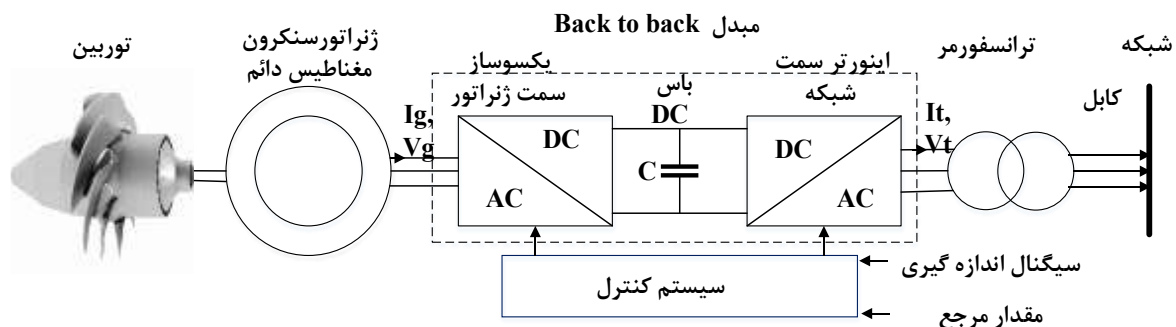
$$f_{TA} = e^{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{\theta_{HST} + 273} - \frac{1}{298} \right)} \quad (7)$$

در رابطه فوق f_{TA} ضریب تغییرات دمایی، λ نرخ خرابی ژنراتور در دمای θ_{HST} ، λ_0 نرخ خرابی ژنراتور در دمای مبنا، E_a انرژی فعالسازی، k ثابت بولتزمن و θ_{HST} دمای نقطه داغ می‌باشد. دو تکنولوژی که بطور گسترده در نیروگاه‌های جزرومدی، بمنظور تولید برق استفاده می‌شوند عبارتند از:

○ یک جفت مبدل پشت به پشت کاملاً قابل کنترل که در ساختمان ژنراتور القایی دو سو تغذیه استفاده می‌شود. در این حالت، سیم‌پیچ استاتور ژنراتور دو سو تغذیه توسط یک ترانسفورماتور بطور مستقیم به شبکه قدرت با فرکانس و ولتاژ ثابت متصل شده در حالی که سیم‌پیچ روتور توسط یک مبدل پشت به پشت دو جهته و ترانسفورماتور به شبکه متصل شده است.

○ یک ساختار مبدل پشت به پشت کامل در کنار ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم و یا در کنار یک ژنراتور القایی که مبدل در خروجی سیم‌پیچ استاتور قرار می‌گیرد.

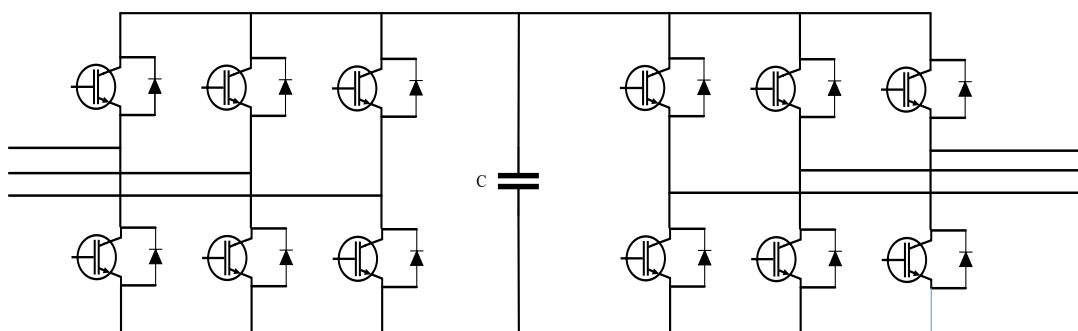
در این تحقیق حالت دوم یعنی مبدل پشت به پشت که در خروجی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم قرار دارد بررسی می‌شود. این ساختار در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل جریان خروجی ژنراتور که همان جریان ورودی یکسوساز سمت ژنراتور است، جریان خروجی اینورتر سمت شبکه که همان جریان شبکه است نشان داده شده است.



شکل (۲): مبدل پشت به پشت استفاده شده در خروجی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم

توان تولید شده در ژنراتور توسط مبدل قدرت که در واقع متشکل از مبدل‌های AC به DC، باس DC، یک مبدل DC به AC و سیستم کنترلی می‌باشد می‌تواند به شبکه منتقل شود. مبدل‌ها در واقع شرایط ولتاژ و فرکانس برق تولیدی نیروگاه را به گونه‌ای که قابل اتصال به شبکه قدرت باشند تنظیم و کنترل می‌نمایند. سیستم کنترل از چند بخش تقسیم شده است: یکی سیستم کنترل مکانیکی (Pitch and Yaw control) است که با توجه به میزان سرعت و مشخصه توان توربین، پره‌ها را به

گونه‌ای منحرف کرده که ماکزیمم توان قابل استحصال دریافت گردد و دیگری کنترل کلیدزنی مبدل‌های الکتریکی بین ژنراتور و شبکه است که بر اساس ولتاژ و فرکانس شبکه، کلیدزنی‌ها را تنظیم می‌کند. آسیب دیدن سیستم کنترل سبب می‌شود ولتاژ و یا فرکانس واحد جزر و مدی با شبکه متفاوت شده و تداوم اتصال بین واحد جزر و مدی و شبکه ممکن نباشد. برای تعیین نرخ خرابی سیستم کنترل نیروگاه جزرومدی می‌بایست خرابی‌های سخت‌افزاری و خرابی‌های نرم‌افزاری دیده شود. سخت‌افزار سیستم کنترل معمولاً از چندین سنسور، پردازشگر سیگنال، کنترل‌کننده PI، کنترلر Pitch و کنترلر دنبال‌کننده ماکزیمم توان تشکیل شده است. نرخ خرابی سیستم کنترل برابر با مجموع نرخ خرابی سخت‌افزار و نرخ خرابی نرم‌افزار خواهد بود و معمولاً در شرایطی که از نصب نیروگاه مدت زمانی گذشته باشد و این اطمینان حاصل شود که نرم‌افزار سالم است معمولاً نرخ خرابی نرم‌افزار صفر در نظر گرفته می‌شود. یک مدل قابلیت اطمینان دو حالتی برای مبدل پشت به پشت در نظر گرفته می‌شود. ساختار مبدل "پشت به پشت" تحت بررسی در شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این مبدل پشت به پشت از دو مبدل یکسوساز سمت ژنراتور و اینورتر سمت شبکه و یک خازن تشکیل شده است. نرخ خرابی مبدل پشت به پشت، معادل نرخ خرابی سیستم سری در نظر گرفته می‌شود زیرا خراب شدن هر کدام از مجموعه مبدل‌ها و باس dc کل مجموعه را دچار مشکل می‌کند. بنابراین نرخ خرابی مبدل الکترونیک قدرت پشت به پشت مجموع نرخ خرابی سه زیر سیستم یکسوساز سمت ژنراتور، اینورتر سمت شبکه و خازن می‌باشد. هر کدام از مبدل‌های یکسوساز سمت ژنراتور و اینورتر سمت شبکه نیز دارای ۶ نیمه‌هادی می‌باشند.



شکل (۳): ساختار مبدل Back to back

ولتاژ خروجی ژنراتور نیروگاه جزر و مدی با ولتاژ شبکه متفاوت است. به‌منظور تزریق توان خروجی ژنراتور به شبکه از ترانسفورماتور استفاده می‌شود. ترانسفورماتور ولتاژ خروجی مبدل‌ها را به ولتاژ شبکه تبدیل می‌کند. دلایل مختلفی مانند خرابی عایقی، خرابی سیستم خنک‌کننده، خرابی سیستم گردش روغن، خطای حلقه به حلقه، بروز خطاهایی نظیر اتصال کوتاه، وجود هارمونیک‌ها و گرم شدن هسته می‌تواند عوامل خرابی ترانسفورماتور باشند. در صورت خراب شدن ترانسفورماتور، با توجه به اینکه ولتاژ واحد جزر و مدی با شبکه متفاوت است ارتباط توربین جزر و مدی و شبکه قطع شده و خروجی واحد جزر و مدی صفر خواهد شد.

براساس استاندارد IEC 60076-7 دمای عملکرد ترانسفورماتور از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$\theta_{HST} = \theta_a + \Delta\theta_{TO,R} \left(\frac{1 + R \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)^2}{1 + R} \right)^x + Hg_r \left(\frac{I}{I_{nom}} \right)^y \quad (۸)$$

در رابطه فوق θ_{HST} ، θ_a و $\Delta\theta_{TO,R}$ دمای نقطه داغ ترانسفورماتور، دمای محیط و افزایش دمای ترانسفورماتور در تلفات نامی بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. پارامتر R نسبت تلفات بارداری در جریان نامی به تلفات بی‌باری، x شاخص روغن، H نشان‌دهنده ضریبی از نقاط داغ، g_r میانگین شدت دمای سیم پیچ به شدت دمای روغن در جریان نامی و y شاخص سیم‌پیچ می‌باشد. جریان عبوری از سیم پیچ ترانسفورماتور همان جریان شبکه است. در این رابطه I_{nom} جریان نامی ترانسفورماتور می‌باشد و داریم:

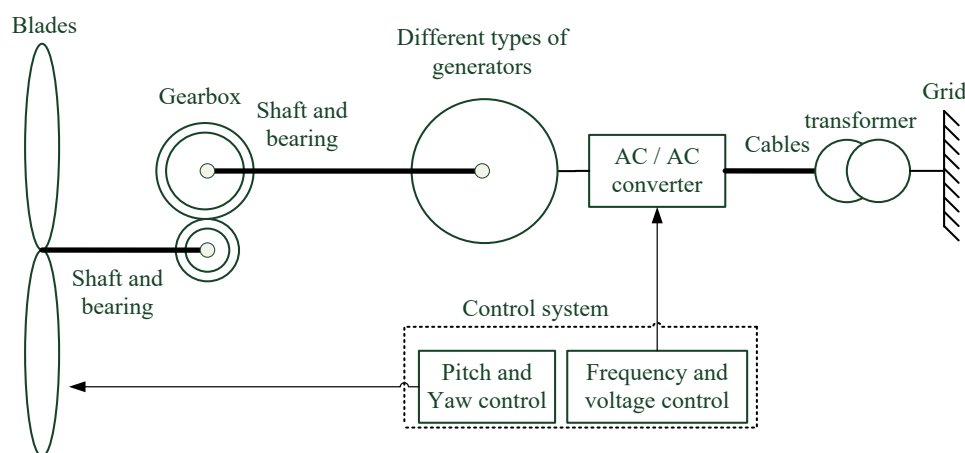
$$\frac{I}{I_{nom}} = \left(\frac{v}{v(rated)} \right)^3 \quad (9)$$

تغییرات دمای کابل ناشی از تغییرات توان تولیدی را می‌توان با توجه به مدل حرارتی کابل محاسبه کرد. رابطه بین نرخ خرابی کابل و دمای کابل بصورت رابطه زیر می‌باشد. افزایش دمای کابل XLPE تحت مطالعه، ناشی از افزایش جریان بصورت رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta\theta = (I^2 R + \frac{1}{2} W_d) T_1 + (I^2 R(1 + \lambda_1) + W_d) n T_2 + (I^2 R(1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d) n (T_3 + T_4) \quad (10)$$

در رابطه فوق I جریان کابل، $\Delta\theta$ افزایش دمای کابل، R مقاومت کابل در حداکثر دمای بهره‌برداری، W_d تلفات عایقی و T_1, T_2, T_3 و T_4 مقاومت حرارتی بین لایه‌های مختلف کابل می‌باشد که افزایش دمای کابل بدلیل وجود این لایه‌ها می‌باشد. همچنین n تعداد هادی‌های کابل و λ_1 و λ_2 نشان دهنده تلفات توان بین لایه‌های مختلف کابل است. افزایش دمای کابل XLPE وابسته به جریان کابل و مشخصات کابل است.

در این قسمت به بررسی نیروگاه جزر و مدی جریانی و ارائه یک مدل قابلیت اطمینان برای مطالعات کفایت سیستم قدرت با حضور این نیروگاه‌ها پرداخته می‌شود. در مدل قابلیت اطمینان نیروگاه جزر و مدی جریانی، خرابی اجزای تشکیل دهنده نیروگاه در نظر گرفته شده و تأثیر آن‌ها را بر خرابی کل سیستم لحاظ می‌گردد. در شکل ۴ اجزای اصلی تشکیل دهنده یک نیروگاه جزرومدی نوع جریانی نشان داده شده است. در این تحقیق فرض شده است این نیروگاه مجهز به ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم باشد.



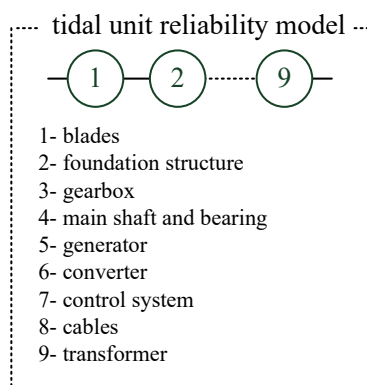
شکل (۴): ساختار کلی نیروگاه جزر و مدی جریانی

در این قسمت مدل قابلیت اطمینان نیروگاه جزر و مدی جریانی با در نظر گرفتن خرابی اجزا ارائه می‌شود. اجزا نیروگاه جزر و مدی جریانی که در شکل ۴ نشان داده شده است شامل استراکچر، توربین، ژنراتور، مبدل back to back، کابل و ترانسفورماتور با دو حالت سالم یا خراب مشابه مدل مارکوف در نظر گرفته می‌شوند و تأثیر خرابی اجزا بر روی کل سیستم بررسی می‌شود. خرابی استراکچر منجر به صفر شدن توان تولیدی نیروگاه می‌شود. اما خرابی استراکچر تحت تأثیر عوامل نادری همچون زلزله رخ می‌دهد بنابراین فرض می‌کنیم استراکچر در مدت زمان عمر مفید واحد جزر و مدی خراب نمی‌شود. خرابی هر یک از اجزای واحدهای جزر و مدی باعث می‌شود که توان تولیدی آن واحد صفر شود بنابراین اجزای هر واحد جزر و مدی جریانی بصورت سری با یکدیگر در مدل قابلیت اطمینان قرار می‌گیرند. شکل ۵ مدل قابلیت اطمینان واحد جزر و مدی جریانی با در نظر گرفتن خرابی اجزا را نشان می‌دهد. پارامترهای مدل قابلیت اطمینان معادل یک سیستم به مانند شکل ۵ که اجزای تشکیل دهنده آن از نقطه نظر قابلیت اطمینان به صورت سری با هم قرار گرفته‌اند به صورت روابط ۱۱ می‌باشد. در این روابط

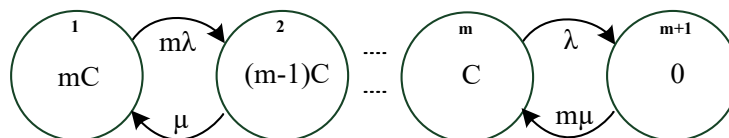
λ_i نرخ خرابی المان λ ، نرخ خرابی معادل کل سیستم، r_i زمان تعمیر المان λ ، r زمان تعمیر معادل کل سیستم، U_i عدم دسترس پذیری المان λ و U عدم دسترس پذیری معادل کل سیستم یا نیروگاه می‌باشد.

$$\lambda = \sum \lambda_i, U = \sum U_i, r = \frac{\sum \lambda_i r_i}{\sum \lambda_i} \quad (11)$$

مدل قابلیت اطمینان نیروگاه جزر و مدی جریانی دارای m سیستم مبدل انرژی که هر سیستم با ظرفیت معادل C و دسترس پذیری A باشد بصورت شکل ۶ خواهد بود. همانگونه که مشخص است این مدل $m+1$ حالت خواهد داشت که به ترتیب ۰ تا m توربین می‌توانند خراب شوند یا برعکس m تا ۰ توربین می‌توانند سالم باشند.



شکل (۵): مدل قابلیت اطمینان واحد جزر و مدی جریانی با در نظر گرفتن خرابی اجزا



شکل (۶): مدل قابلیت اطمینان نیروگاه جزر و مدی جریانی

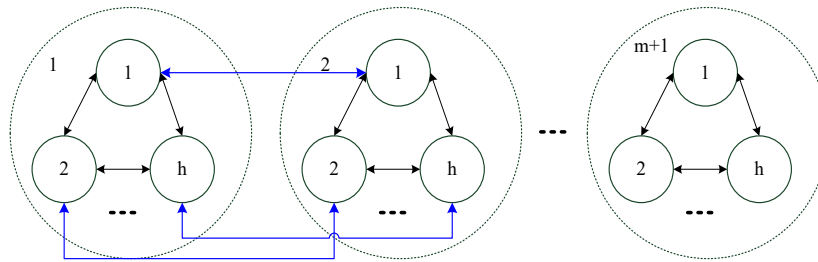
ظرفیت و احتمال حالت‌های مختلف نشان داده شده در مدل قابلیت اطمینان شکل ۶ بصورت رابطه زیر محاسبه می‌شوند.

$$Cap. = k \times C \text{ MW}, k : \text{no. of up units}$$

(۱۲)

$$probability = \binom{m}{k} A^k (1-A)^{m-k}$$

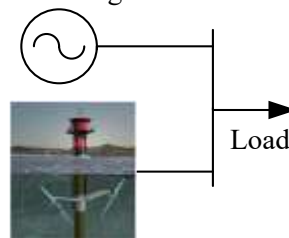
در رابطه فوق k تعداد واحدهای تولید سالم، A دسترس‌پذیری هر واحد، m تعداد کل واحدها و C ظرفیت تولید هر کدام از واحدها می‌باشد. تغییرات سرعت جریان‌های جزر و مدی منجر به تغییرات توان خروجی نیروگاه جزر و مدی جریانی می‌شود. با توجه به اینکه تعداد حالت‌های توان خروجی بسیار زیاد است باید به کمک یکی از روش‌های خوشه‌بندی تعداد حالت‌ها را کاهش داد. از بین روش‌های مختلف خوشه‌بندی که به منظور کاهش تعداد حالت‌ها در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است روشی که در این تحقیق پیشنهاد می‌گردد روش خوشه‌بندی فازی میانگین c می‌باشد. با استفاده از داده‌های مربوط به توان تولیدی نیروگاه جزر و مدی نوع جریانی و اعمال داده‌ها به الگوریتم خوشه‌بندی فازی، تعداد بهینه و احتمال کلاسترها تعیین می‌شود. بنابراین با اعمال روش خوشه‌بندی فازی تعداد حالت‌ها را کاهش داده سپس مدل کامل قابلیت اطمینان نیروگاه جزر و مدی ارائه می‌شود. شکل زیر مدل کامل قابلیت اطمینان نیروگاه جزر و مدی جریانی با در نظر گرفتن نرخ خرابی اجزا و عدم قطعیت ناشی از سرعت جزر و مد را نشان می‌دهد.



شکل (۷): مدل کامل قابلیت اطمینان مزرعه جزر و مدی جریانی

در این قسمت روش مطالعه قابلیت اطمینان سیستم قدرت شامل نیروگاه جزر و مدی جریانی بیان می‌شود. در شکل ۸ تکنیک تحلیلی مطالعه قابلیت اطمینان سیستم قدرت با حضور این نیروگاه‌ها بیان شده است. به منظور تعیین شاخص‌های قابلیت اطمینان ابتدا جدول خروج ظرفیت‌ها (که به COPT معروف است) مربوط به واحدهای متعارف تعیین می‌شود. سپس با استفاده از مدل قابلیت اطمینان نیروگاه جزر و مدی جریانی که بصورت واحدهای متعارف چند حالت تعیین می‌شود جدول COPT مربوط به این واحدها تعیین و به جدول ظرفیت واحدهای متعارف اضافه شده و COPT کلی سیستم بدست می‌آید. در پایان، با ترکیب جدول COPT با مدل بار، شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم محاسبه می‌شود.

Conventional generation



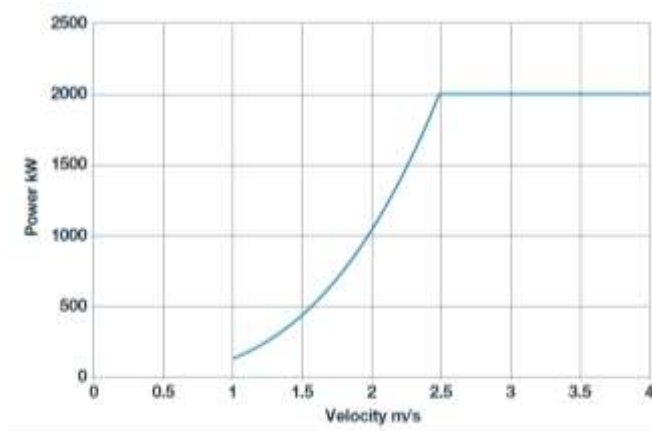
Tidal power plant

شکل (۸): مطالعات کفایت سیستم قدرت با حضور نیروگاه جزر و مدی جریانی

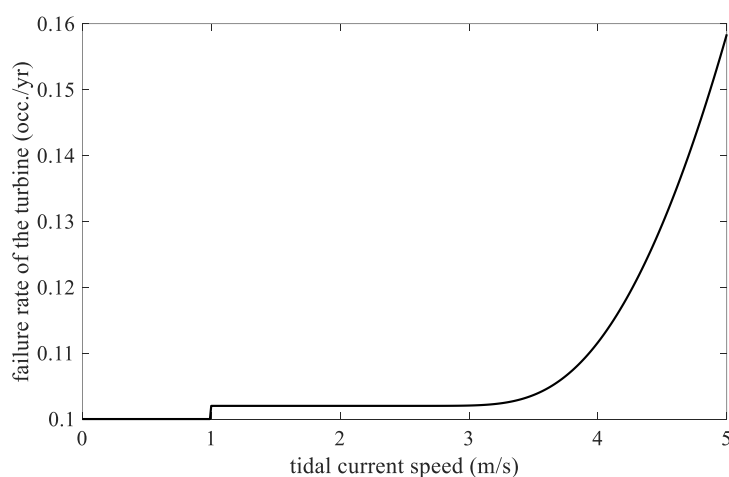
۴- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش به کمک شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب چگونگی تغییر نرخ خرابی اجزای تشکیل دهنده نیروگاه جزرومدی نوع جریانی و در نتیجه کل نیروگاه بر حسب تغییرات سرعت جریان‌های جزرومدی بررسی می‌شود. برای انجام مطالعات کفایت، از یک مزرعه جزر و مدی نوع جریانی ۳۰ مگاواتی شامل ۱۵ واحد جزر و مدی ۲ مگاواتی استفاده می‌شود. توربین در نظر گرفته شده برای واحدها، از نوع توربین‌های seagen می‌باشد که منحنی توان تولیدی آن در شکل ۹ نشان داده شده است. برای مطالعات قابلیت اطمینان نیروگاه جزر و مدی جریانی، ابتدا نرخ خرابی اجزا بر حسب سرعت جریان‌های جزر و مدی بدست می‌آید. با استفاده از روابط بیان شده در فصل قبل نرخ خرابی تجهیزات اصلی تشکیل دهنده این نیروگاه یعنی توربین، ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم، مبدل‌های الکترونیک قدرت، ترانسفورماتور و کابل بر حسب سرعت جریان‌های جزرومدی محاسبه و در شکل‌های ۱۰ تا ۱۵ رسم شده است. همان‌گونه که در این شکل‌ها نشان داده شده است نرخ خرابی این تجهیزات به سرعت جریان‌های جزرومدی وابسته است و با تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی در طول زمان، نرخ خرابی این تجهیزات نیز تغییر می‌کند. با توجه به اینکه تجهیزات تشکیل دهنده نیروگاه جزر و مدی نوع جریانی در هر سرعت جریان جزرومدی از جمع نرخ خرابی تجهیزات تشکیل دهنده بنابرین نرخ خرابی نیروگاه جزرومدی نوع جریانی برای هر واحد جزر و مدی جریانی برابر با مجموع نرخ خرابی تجهیزات تشکیل دهنده آن می‌باشد. بنابراین نرخ خرابی نیروگاه جزرومدی نوع جریانی در هر سرعت جریان جزرومدی از جمع نرخ خرابی تجهیزات تشکیل دهنده نیروگاه در آن سرعت مورد نظر به دست می‌آید. برای نیروگاه جزرومدی نمونه نرخ خرابی معادل کل نیروگاه در هر ساعت محاسبه شده و در شکل ۱۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشخص است متغیر بودن نرخ خرابی تجهیزات

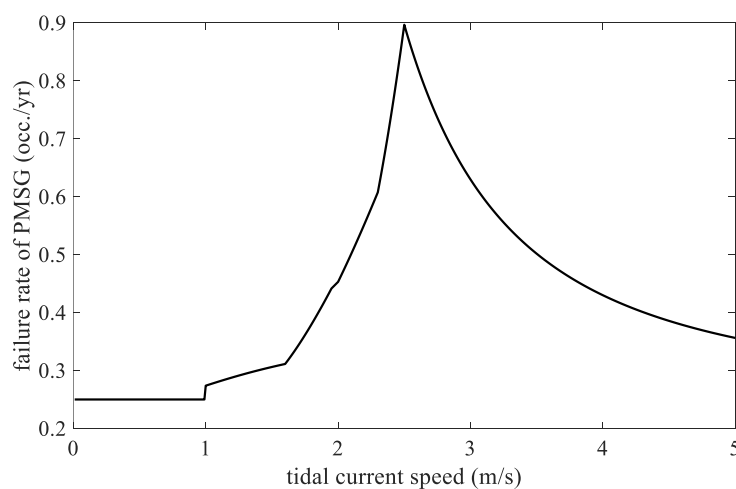
تشکیل دهنده نیروگاه جزرومدی جریانی سبب می‌شود نرخ خرابی کل نیروگاه نیز در طول زمان تغییر کند. بنابراین نرخ خرابی نیروگاه جزرومدی به سرعت جریان‌های جزرومدی وابسته است و با تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی در طول زمان، نرخ خرابی این نیروگاه نیز در طول زمان تغییر می‌کند.



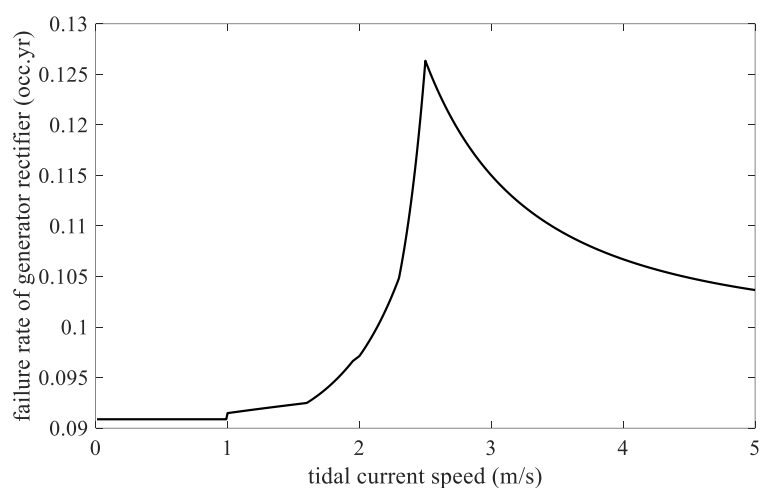
شکل (۹): منحنی تولید توان توربین جزر و مدی SeaGen



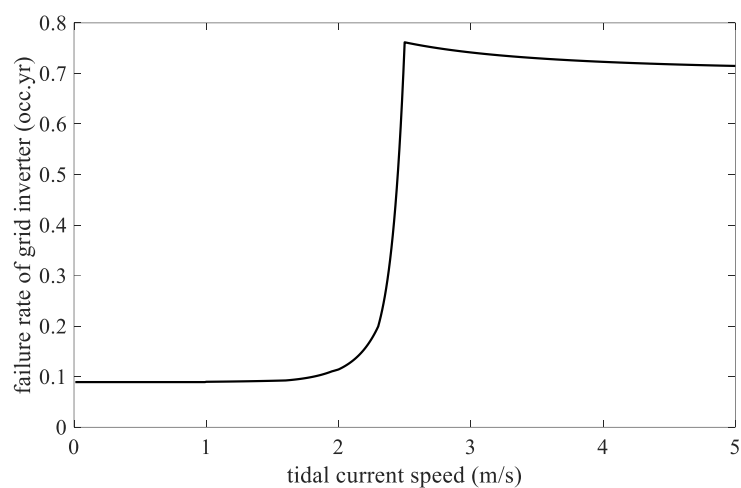
شکل (۱۰): نرخ خرابی توربین نیروگاه جریانی بر حسب سرعت جریان‌های جزر و مدی



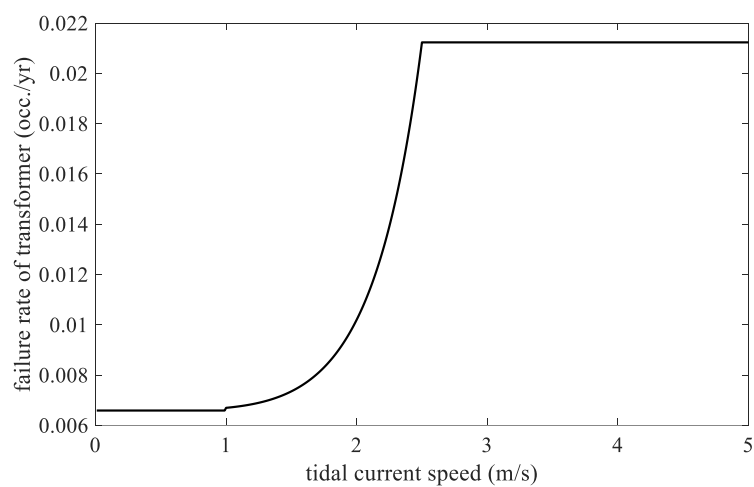
شکل (۱۱): نرخ خرابی ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم نیروگاه جریانی بر حسب سرعت جریان‌های جزر و مدی



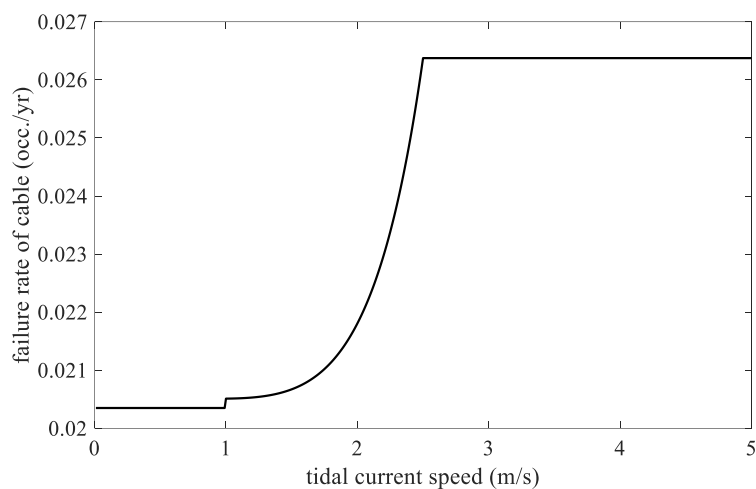
شکل (۱۲): نرخ خرابی یکسوساز سمت ژنراتور نیروگاه جریانی بر حسب سرعت جریان‌های جزر و مدی



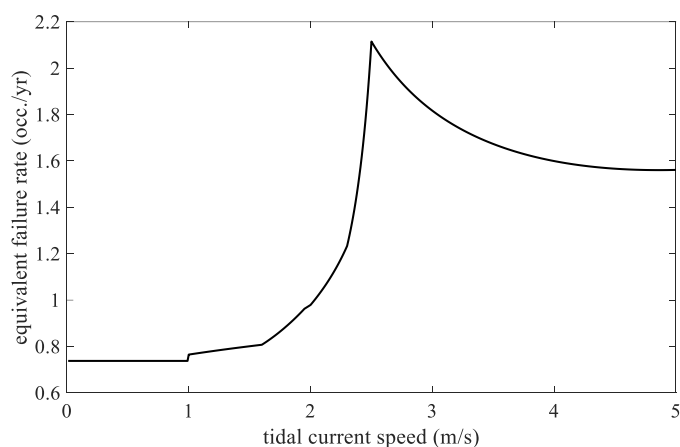
شکل (۱۳): نرخ خرابی اینورتر سمت شبکه نیروگاه جریانی بر حسب سرعت جریان‌های جزر و مدی



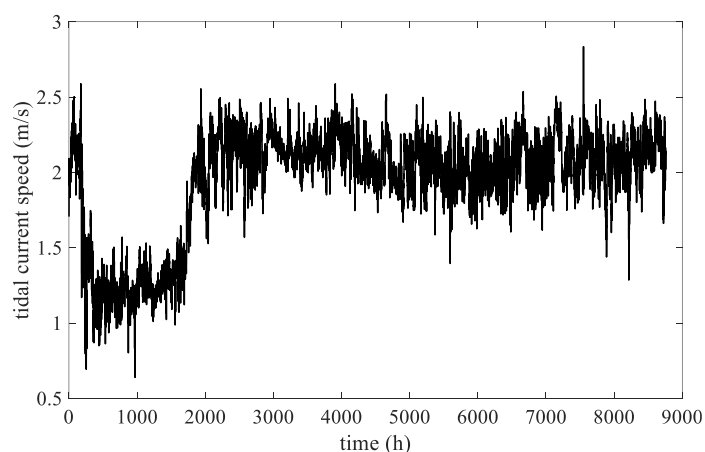
شکل (۱۴): نرخ خرابی ترانسفورماتور نیروگاه جزر و مدی جریانی بر حسب سرعت جریان‌های جزر و مدی



شکل (۱۵): نرخ خرابی کابل نیروگاه جزر و مدی جریان‌ی بر حسب سرعت جریان‌های جزر و مدی



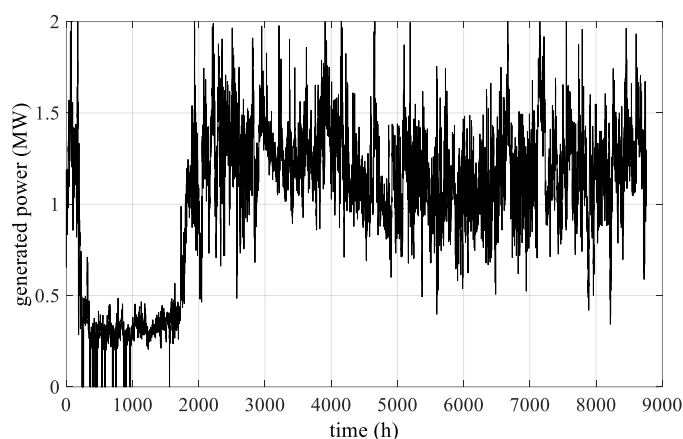
شکل (۱۶): نرخ خرابی نیروگاه جزر و مدی نوع جریان‌ی بر حسب سرعت جریان‌های جزر و مدی



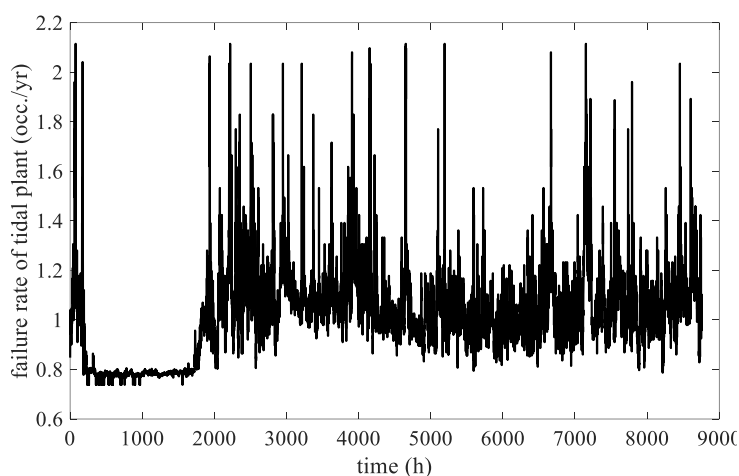
شکل (۱۷): سرعت جزر و مد در استی کلیر در سال ۲۰۱۵

در این مقاله از داده‌های سرعت جریان‌های جزرومدی سال ۲۰۱۵ مربوط به استی کلیر که بین انتاریا در کانادا و ایالت میشیگان در آمریکا قرار گرفته است استفاده شده است. این داده‌ها، داده‌های واقعی بوده و توسط مرکز هواشناسی اندازه‌گیری شده و در سایت مربوط به این مرکز قرار داده شده است. شکل ۱۷ داده‌های سرعت جریان‌های جزرومدی استی کلیر را نشان

می‌دهد. با استفاده از منحنی توربین، توان تولیدی نیروگاه در هر ساعت بر اساس سرعت آن ساعت محاسبه شده و در شکل ۱۸ نشان داده شده است. نرخ خرابی نیروگاه جزر و مدی جریانی نیز بر اساس مقدار سرعت جریان‌های جزرومدی در هر ساعت در شکل ۱۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشخص است به دلیل تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی در طول زمان، نرخ خرابی نیروگاه نیز در طول زمان متغیر می‌باشد. بنابراین به منظور ارزیابی دقیق قابلیت اطمینان سیستم قدرت با حضور این نیروگاه‌ها لازم است نرخ خرابی متغیر با زمان برای این نیروگاه‌ها به صورت بیان شده در این مقاله به دست آمده و مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۱۸): توان تولیدی توربین جزر و مدی جریانی در هر ساعت



شکل (۱۹): نرخ خرابی واحد جزر و مدی جریانی در هر ساعت

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تأثیر تغییرات سرعت جریان‌های جزرومدی بر نرخ خرابی تجهیزات مختلف تشکیل دهنده نیروگاه جزرومدی نوع جریانی و کل نیروگاه بررسی شد. به منظور بررسی تأثیر تغییرات سرعت جریان‌های جزرومدی بر نرخ خرابی تجهیزات مختلف تشکیل دهنده نیروگاه نظیر توربین، ژنراتور، مبدل‌های الکترونیک قدرت، ترانسفورماتور و کابل، ابتدا به کمک روابط بین توان خروجی نیروگاه جزرومدی جریانی و سرعت جریان‌های دریایی ناشی از جزرومد، میزان توان تولیدی نیروگاه به ازای سرعت جزرومد مشخص محاسبه می‌گردد. با توجه به سطح ولتاژ تجهیزات نیروگاه میزان جریان عبوری از هر کدام از تجهیزات با داشتن توان تولیدی نیروگاه به دست می‌آید. سپس با توجه به تلفاتی که این جریان‌ها در تجهیزات مختلف ایجاد می‌کنند و به کمک مدل حرارتی این تجهیزات دمای کارکرد تجهیزات مختلف به ازای یک سرعت جریان‌های جزرومدی مشخص محاسبه می‌گردد. در پایان نیز نرخ خرابی هر کدام از تجهیزات با داشتن دمای کارکرد به ازای یک سرعت جریان‌های جزرومدی

مشخص محاسبه می‌گردد. با به دست آوردن رابطه بین نرخ خرابی تجهیزات مختلف بر حسب سرعت جریان‌های جزرومدی و به کمک مدل قابلیت اطمینان نیروگاه جزرومدی می‌توان نرخ خرابی کل نیروگاه را بر حسب سرعت جریان‌های جزرومدی به دست آورد. سپس با داشتن نرخ خرابی این نیروگاه‌ها، مطالعه قابلیت اطمینان سیستم قدرت با حضور نیروگاه‌های جزرومدی نوع جریانی همراه با در نظر گرفتن تغییرات نرخ خرابی به دلیل تغییرات سرعت جریان‌های جزرومد صورت می‌پذیرد. با انجام شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار متلب و مدلسازی یک نیروگاه جزرومدی نوع جریانی نمونه مشخص شد که با تغییر سرعت جریان‌های جزرومدی نرخ خرابی تجهیزات تشکیل دهنده و در نتیجه نرخ خرابی نکل نیروگاه تغییرات قابل توجهی دارند و لذا اهمیت دارد به منظور بررسی دقیق قابلیت اطمینان نیروگاه‌های جزرومدی نوع جریانی این تأثیرات در نظر گرفته شوند. به منظور ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌شود ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت با حضور نیروگاه جزرومدی نوع جریانی در سطح تولید و مرکب انجام شود. در این مطالعات به منظور تعیین دقیق شاخص‌های قابلیت اطمینان پیشنهاد می‌گردد از نرخ خرابی متغیر با زمان برای این نیروگاه‌ها استفاده شود.

References

مراجع

- [1] D. Magagna, U. Andreas, "2014 JRC Ocean Energy Status Report", European Commission Joint Research Centre, 2015.
- [2] S. Bilgen, S. Keleş, A. Kaygusuz, A. Sari, K. Kaygusuz, "Global warming and renewable energy sources for sustainable development: A case study in Turkey", *Renewable and Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, pp. 372–396, Feb. 2008.
- [3] F. O. Rourke, F. Boyle, A. Reynolds, "Tidal energy update 2009", *Appl. Energy*, vol. 87, pp. 398–409, Feb. 2010.
- [4] M. J. Khan, G. Bhuyan, M. T. Iqbal, J. E. Quaicoe, "Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review", *Appl. Energy*, vol. 86, pp. 1823–1835, Oct. 2009.
- [5] "ABB to provide UK grid connection for Europe's largest tidal energy project," *ABB Group*, Available: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/75d122d94ef09aaec1257d38002b32f7.aspx> "Tidal power solutions," Alstom Group [Online].
- [6] Available: <http://www.alstom.com/Global/Power/Resources/Documents/Brochures/tidal-power-solutions-ocean-energy.pdf?epslanguage=en-GB>
- [7] DECC (Department of Energy and Climate Change), "Severn Tidal Power: Feasibility Study Conclusions and Summary Report", 2010.
- [8] B. Polagye et al. "System level design, performance, cost and economic assessment—Tacoma Narrows Washington tidal in-stream power plant", *Electric Power Research Institute*, 2006.
- [9] J. W. Park, K. W. Lee, H. J. Lee, "Wide speed operation of a doubly-fed induction generator for tidal current energy," in *Proc. IECON*, Busan, Korea, pp. 1333–1338, 2004.
- [10] W. Li, *Risk Assessment of Power Systems: Models, Methods, and Applications*, 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2014.
- [11] H. Matsuda et al., "Analysis of GTO failure mode during DC voltage blocking," in *Proc. 6th Int. Symp. Power Semicond. Devices and ICs*, Davos, Switzerland, pp. 221–225, 1994.
- [12] D. M. Tasca, "Pulse power failure modes in semiconductors", *IEEE Trans. Nuclear Sci.*, vol. NS-17, no. 6, pp. 364–372, 1970.
- [13] V. Smet et al., "Ageing and failure modes of IGBT modules in hightemperature power cycling", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 10, pp. 4931–4941, Oct. 2011.
- [14] A. Nargeszar et al. "Reliability evaluation of the renewable energy-based microgrids considering resource variation", *IET Renewable Power Generation*, vol. 17, no.3, pp. 507-527, 2023.
- [15] A. Ghaedi, H. Gorginpour, "Reliability evaluation of permanent magnet synchronous generator-based wind turbines considering wind speed variations", *Wind Energy*, vol. 24, no. 11, pp. 1275-1293, 2021.
- [16] A. Ghaedi, M. Mirzadeh, "The impact of tidal height variation on the reliability of barrage-type tidal power plants", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 30, no. 9, 2020.