

Investigating the Reliability and Availability of Energy Production Systems in Marine Ships to Increase Defense Reliability

A. Goudarzi Amlashi, M. Rezvani*, M. Radmehr, A. Ghafouri

Abstract

This paper examines the security risks and challenges associated with energy sources for ships, including increasing fuel prices, tightening international pollution laws, and limited space and fuel on board. With the rise of modern naval warfare and technological advances, energy production for vessels has become a strategic priority. This study focuses on identifying threats in electricity generation for ships and investigates the reliability and availability of various energy production systems. Using a Markov model, the study compares different energy production systems by considering their advantages and disadvantages, influential factors, and level of reliability and availability. Results show that the use of solar energy in combination with diesel generators has the highest reliability (0.988) and availability (0.997) compared to other production sources. The study demonstrates that solar energy can be used to meet a portion of the ship's power consumption needs, reduce maintenance and repair costs, extend the life of generators, increase the duration of navigation, ensure continuity of energy supply, and improve passive defense in the field of electrical energy for marine vessels.

Key Words: *Ship Power System, Availability, Reliability, Solar Cell*

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

© Authors



* Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Nour Branch, Islamic Azad University, Nour, Iran.
(Mohammad.Rezvani@iau.ac.ir) -Writer-in-Charge

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال چهاردهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، (پیاپی ۵۳): صص ۶۲-۵۵

علمی - پژوهشی

بررسی قابلیت اطمینان و دسترس پذیری سامانه‌های تولید انرژی

در شناورهای دریایی با هدف افزایش ضریب اطمینان پدافندی

علی گودرزی املشی^۱، محمد رضوانی^{۲*}، مهدی رادمهر^۳، علیرضا غفوری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۳۰

چکیده

جوامع امروزی خطرات امنیتی برای منابع انرژی الکتریسیته در کشتی‌ها، افزایش قیمت سوخت، تشدید قوانین بین‌المللی در مورد آلودگی، کمبود فضا و سوخت در کشتی، باعث نگرانی در مباحث بین‌الملل شده است. امروزه با پیشرفت فناوری و وقوع جنگ‌های مدرن دریایی، منابع تولید انرژی شناورها، به‌عنوان یکی از اهداف استراتژیک مطرح شده‌اند. همین موضوع سبب شده است که شناسایی تهدیدات در حوزه تولید انرژی الکتریسیته در شناورها، از اهمیت بسزایی برخوردار باشد. هدف این مقاله، بررسی و محاسبه میزان دسترس پذیری و قابلیت اطمینان انواع سامانه‌های تولید انرژی در شناورها است؛ و در همین راستا با توجه به نوع سیستم تولید انرژی در شناورها و مزایا و معایب آن‌ها، مدل مارکوف جهت محاسبه قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار ترسیم شده و میزان قابلیت اطمینان و دسترس پذیری شناورها محاسبه و مقایسه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از انرژی خورشیدی در کنار دیزل ژنراتور، دارای قابلیت اطمینان بالاتر نسبت به دیگر منابع تولید (۰/۹۹۶) و دارای میزان دسترس پذیری بالاتر (۰/۹۹۸)، است و می‌تواند انرژی خورشیدی علاوه بر تأمین بخشی توان مصرفی شناور، باعث کاهش نگهداری و تعمیرات، کاهش هزینه‌ها، افزایش طول عمر ژنراتورها و افزایش طول مدت دریاوردی شده و تضمین‌کننده تداوم انرژی و باعث بهبود پدافند غیرعامل در حوزه انرژی الکتریسیته شناورهای دریایی باشد.

کلید واژه‌ها: سیستم برق کشتی، دسترس پذیری، قابلیت اطمینان، سلول خورشیدی



* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز (CC BY) Creative Commons Attribution توزیع شده است.

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی برق، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

^۲ استادیار دانشکده فنی مهندسی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور، ایران - (m-rezvani@iaunour.ac.ir) - نویسنده مسئول

^۳ استادیار دانشکده فنی مهندسی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

^۴ استادیار دانشکده فنی مهندسی، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

۱- مقدمه

با توجه به حجم روزافزون حمل و نقل دریایی و نقش استراتژیک آن و همچنین کارکرد مطمئن سامانه‌های مختلف تولید انرژی در کشتی، اهمیت این صنعت بیشتر نمایان می‌شود. موفقیت‌های زیادی که در زمینه‌های فن‌آوری علوم، سامانه‌های تولید انرژی، الکترونیک قدرت، ریز شبکه‌ها به وجود آمده است [۱-۴]. سبب استفاده از سامانه‌های هیبریدی در شناورها شده است پنل‌های خورشیدی، می‌توانند به صورت تکی یا به صورت مجموعه‌ای از پنل‌ها، جهت تأمین برق مصرفی و دیگر مصرف‌کننده‌ها به کاربرده شوند. علاوه بر این، سامانه‌های خورشیدی می‌توانند با دیگر انرژی‌های تجدید پذیر به صورت هم‌زمان کار کنند. سامانه‌های خورشیدی، در تجهیزات دریایی کاربرد دارند و جهت تأمین برق چراغ‌های بندرها، شارژرهای باتری در قایق‌های بادبانی از آن‌ها استفاده می‌شود [۵-۷].

استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در صنعت کشتیرانی با توجه به افزایش هزینه سوخت و آلودگی دریا افزایش یافته است. موتورهای دیزلی برای تأمین انرژی در کشتی‌ها، سوخت استفاده می‌کنند و این امر باعث آزاد شدن مقادیر زیادی گازهای خروجی مانند دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروژن می‌شود که آب‌وهوا را آلوده می‌کند و باعث گرم شدن کره زمین و خطرات سلامتی برای انسان می‌شود. تا سال ۲۰۵۰، بسته به رشد اقتصادی آینده و تحولات انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای ممکن است بین ۵۰ تا ۲۵۰ درصد افزایش یابد. با توجه به معایب سوخت فسیلی در سال ۲۰۱۰، سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO) استانداردها و مقرراتی برای افزایش کیفیت زیست‌محیطی در سرتاسر جهان معرفی کرده است [۸].

یکی از روش‌های کم‌هزینه که باعث صرفه‌جویی در شناورهای نظامی و تجاری می‌شود، استفاده از سامانه‌هایی هیبریدی متشکل از سلول‌های فتوولتائیک و ژنراتور دیزل است. سامانه‌های خورشیدی می‌توانند به عنوان منابع تولید انرژی کمکی مناسب و مستقل از تأسیسات کشتی عمل کنند و دارای مزایای زیر می‌باشند [۸-۱۲]:

- جهت تولید برق، نیاز به مصرف گاز یا سوخت مایع ندارند.
- هزینه نگهداری و تعمیرات پایینی دارند.
- جهت تولید برق، نیاز به بهره‌گیری از قطعات متحرک مکانیکی ندارند یا قطعات متحرک بسیار کمی دارند.
- از قطعات کمی تشکیل شده‌اند و با معیوب شدن قطعات، امکان نصب آسان و تعویض سریع دارند.

- دارای طول عمر مطلوب و بالایی هستند.
- می‌توانند در تمامی سطوح کوچک و بدون کاربرد همانند سقف، دیوار و شیروانی‌ها نصب شوند.

در این مقاله، ابتدا سیستم الکتریکی یک شناور دریایی و انواع محرکه‌های ژنراتورها معرفی و سپس قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری انواع سامانه‌های تولید انرژی در شناورهای دریایی محاسبه و نتایج تشریح خواهد شد.

۲- سیستم الکتریکی یک شناور نظامی

موتور محرکه، ژنراتورها، باس توزیع و بارها، اجزای اصلی سامانه‌های اصلی یک شناور دریایی را تشکیل می‌دهند. حداقل یک ژنراتور برق اضطراری نیز در کشتی وجود دارد که علاوه بر ژنراتورهای اصلی، به شبکه برق متصل می‌شود و برق موردنیاز را در زمان اضطراری تأمین می‌کند [۱۳-۱۶].

نیروهای محرکه بخار، گاز و دیزل برای به حرکت درآوردن یک ژنراتور الکتریکی که یک موتور الکتریکی را برای پیش‌رانه به حرکت درمی‌آورد استفاده می‌شود.

ژنراتورهای الکتریکی اصلی دارای ولتاژهای خروجی متفاوت و متغیر با نوع و نحوه کاربردشان هستند. مقادیر نوعی مربوط به اندازه و فرکانس آن‌ها عبارت هستند از: ۳ کیلوولت، ۳/۳ کیلوولت، ۴/۱۶ کیلوولت، ۶ کیلوولت، ۶/۶ کیلوولت و ۱۳/۸ کیلوولت و ۵۰ تا ۶۰ هرتز [۱۷، ۱۸]. برق تولیدشده توسط ژنراتور با کمک ترانسفورماتورها و مبدل‌های الکترونیک قدرت وارد سوئیچ برد اصلی می‌شود تا برق مختص هر بار را روی کشتی تأمین کند. ممکن است باس، AC یا DC باشد. کاربرد باس DC برای کشتی‌های نظامی جدید بسیار بالا است. آخرین بخش از سیستم الکتریکی کشتی، بارها هستند. انواع مختلفی از بارها ممکن است متصل شوند، اما رایج‌ترین آن‌ها عبارت هستند از: بارهای DC ۲۴ ولت و ۴۰۰ ولت، بارهای تکفاز AC ۲۳۰ ولت، ۵۰ هرتز و سه فاز AC ۴۰۰ ولت، ۵۰ هرتز.

۳- بررسی دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان

سامانه‌های تولید انرژی در شناور دریایی

با توجه به معایب و مزایای سامانه‌های تولید انرژی در شناورها و همچنین اطلاعات به دست آمده از کشتی‌هایی که از سامانه‌های مختلف استفاده می‌کنند به بررسی دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان انواع سامانه‌های تولید انرژی، می‌پردازیم [۱۹-۲۱].

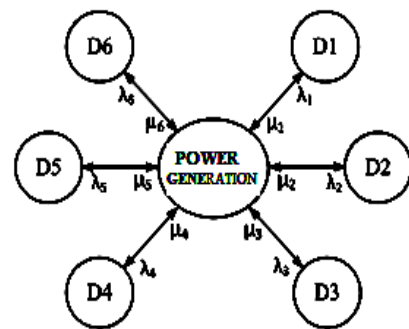
۳-۱- ارائه مدل جهت محاسبات قابلیت اطمینان و دسترس پذیری

مدل ارائه شده برای سامانه‌های تولید انرژی باید بیانگر رفتار هر سیستم تولید انرژی باشد. استفاده از هر سیستم در شناورها دارای مزایا و معایبی است که با توجه به تقسیم‌بندی در یکی از دسته‌های زیر قرار می‌گیرد [۲۲].

جدول (۱): مدل قابلیت اطمینان ارائه شده

دسته	λ	μ
یک	استفاده از یک سیستم تولید انرژی به دلایل برنامه‌ریزی شده	استفاده از یک سیستم تولید انرژی به دلایل برنامه‌ریزی شده
دوم	میزان مصرف سوخت	فضای اشغال شده
سوم	زمان راه‌اندازی	میزان پیچیدگی تعمیرات
چهارم	قابلیت مانور	میزان آلودگی صوتی
پنجم	آلاینده‌گی	میزان آسیب‌پذیری
ششم	بازده	قابلیت کنترل خودکار

مدل مارکوف جهت محاسبه قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن شش عامل جهت مزایا و شش عامل جهت معایب از شبکه به صورت زیر است. با توجه به این مدل رانش‌ها در یکی از دسته‌های زیر قرار می‌گیرند [۲۳].



شکل (۱): مدل ۶ حالت مارکوف

در اینجا λ برابر است با معایب سامانه‌های تولید انرژی شناور دریایی در یک محدوده زمانی تقسیم‌بندی شده که در آن محدوده بوده است و μ برابر است با تعداد مزایا سامانه‌های تولید انرژی شناور دریایی در یک محدوده زمانی تقسیم‌بندی شده که سیستم در آن محدوده قرار داشته است و معنی آن این است که سیستم با نرخ معایب λ از حالت مزایا به معایب می‌رود و با نرخ مزایای μ از حالت معایب به حالت مزایا می‌رود.

در این مدل ۶ حالت مختلف داریم. در حالت اول انتخاب سامانه‌های تولید انرژی شناور دریایی اجباری است و در بقیه حالات با توجه به معایب و مزایا ماتریس انتقال احتمالی گذر (رابطه ۲-۴) را تشکیل می‌دهیم و مطابق روابط (۱) تا (۷)، احتمال P قابل محاسبه خواهد بود [۲۴].

$$\alpha P = \alpha \quad (۱)$$

$$\alpha = [p_0 \ p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_5 \ p_6] \quad (۲)$$

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1 \quad (۳)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 - \sum \lambda_i & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_4 & \lambda_5 & \lambda_6 \\ \mu_1 & 1 - \mu_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2 & 0 & 1 - \mu_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_3 & 0 & 0 & 1 - \mu_3 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_4 & 0 & 0 & 0 & 1 - \mu_4 & 0 & 0 \\ \mu_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \mu_5 & 0 \\ \mu_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \mu_6 \end{bmatrix} \quad (۴)$$

با توجه به وضعیت عملکرد سامانه‌های تولید انرژی شناورهای دریایی مختلف، در یکی از این حالت‌ها، هدف یافتن درصد عملکرد سیستم در هر حالت است به همین دلیل به کمک روش مارکوف می‌توان احتمال وقوع هر یک از این حالت‌ها را به دست آورد. رابطه (۴) ماتریس انتقال گذر را نشان می‌دهد.

حال با استفاده از روش مارکوف می‌توان احتمال نهایی وقوع حالت‌های ممکن را به دست آورد [۲۵].

جدول (۲): مقدار احتمال ورود به حالت مارکوف

حالت	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶
احتمال	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6

حال با استفاده از رابطه (۱) می‌توان احتمال حالت ماندگار هر یک از حالت‌های صفر تا ۶ (P_0 تا P_6) را به دست آورد.

$$p_0 = \frac{\mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 \mu_5 \mu_6}{B} \quad (۵)$$

$$B = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 \mu_5 \mu_6 + \lambda_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 \mu_5 \mu_6 + \lambda_2 \mu_1 \mu_3 \mu_4 \mu_5 \mu_6 + \lambda_3 \mu_1 \mu_2 \mu_4 \mu_5 \mu_6 + \lambda_4 \mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_5 \mu_6 + \lambda_5 \mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 \mu_6 + \lambda_6 \mu_1 \mu_2 \mu_3 \mu_4 \mu_5 \quad (۶)$$

$$P_x = \frac{P_0 \lambda_x}{\mu_x} \quad (۷)$$

۳-۲- محاسبه عددی قابلیت اطمینان

جهت انجام محاسبات، پارامترها در ۵۰ شناور مختلف که از سامانه‌های تولید انرژی متفاوت استفاده می‌کردند، به‌دست‌آمده است.

جدول (۳): پارامترهای سامانه تولید انرژی در شناور با توربین بخار

پارامتر	مقدار (occ/yr)	پارامتر	مقدار (hr)
λ_1	۰/۵	μ_1	۸۰
λ_2	۰/۹	μ_2	۱۰
λ_3	۰/۹	μ_3	۷۰
λ_4	۰/۸	μ_4	۳۰
λ_5	۰/۵	μ_5	۱۰
λ_6	۰/۳	μ_6	۱۰

جدول (۶): احتمال حالت‌ها برای سامانه تولید انرژی با توربین گاز

مقدار احتمال	احتمال	حالت
۰/۹۲۰۹۰۹۲۹۴	P_0	۰
۰/۰۰۵۷۵۵۶۸۲	P_1	۱
۰/۰۱۶۳۹۲۱۸۴	P_2	۲
۰/۰۲۰۷۲۰۴۵۷	P_3	۳
۰/۰۱۴۷۳۴۵۴۷	P_4	۴
۰/۰۰۹۲۰۹۰۹۲	P_5	۵
۰/۰۱۲۲۷۸۸۹	P_6	۶

$$A = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = 0.986871611, U = 1 - A = 0.013128$$

$$R = P_0 + P_1 = 0.934848122$$

جدول (۷): پارامترهای سامانه تولید انرژی در شناور با دیزل ژنراتور

پارامتر	مقدار (occ/yr)	پارامتر	مقدار (hr)
λ_1	۰/۵	μ_1	۸۰
λ_2	۰/۵	μ_2	۵۰
λ_3	۰/۸	μ_3	۴۰
λ_4	۰/۷	μ_4	۵۰
λ_5	۰/۴	μ_5	۶۰
λ_6	۰/۵	μ_6	۷۰

جدول (۴): احتمال حالت‌ها برای سامانه تولید انرژی با توربین بخار

مقدار احتمال	احتمال	حالت
۰/۸۲۲۵۲۱۴۱۹	P_0	۰
۰/۰۰۵۱۴۰۷۸۵	P_1	۱
۰/۰۷۴۰۲۶۹۲۷	P_2	۲
۰/۰۱۰۵۷۵۲۷۵	P_3	۳
۰/۰۲۱۹۳۳۹۰۴	P_4	۴
۰/۰۴۱۱۲۶۰۷	P_5	۵
۰/۰۲۴۶۷۵۶۴۲	P_6	۶

جدول (۸): احتمال حالت‌ها برای سامانه تولید انرژی با دیزل ژنراتور

مقدار احتمال	احتمال	حالت
۰/۹۳۹۷۹۷۰۴۸	P_0	۰
۰/۰۰۵۸۷۳۷۱	P_1	۱
۰/۰۰۹۳۹۷۹۷	P_2	۲
۰/۰۱۸۷۹۵۹۴	P_3	۳
۰/۰۱۳۱۵۷۱۵۸	P_4	۴
۰/۰۰۶۲۶۵۳۱۳	P_5	۵
۰/۰۰۶۷۱۲۸۳۶	P_6	۶

$$A = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = 0.98 \quad U = 1 - A = 0.02$$

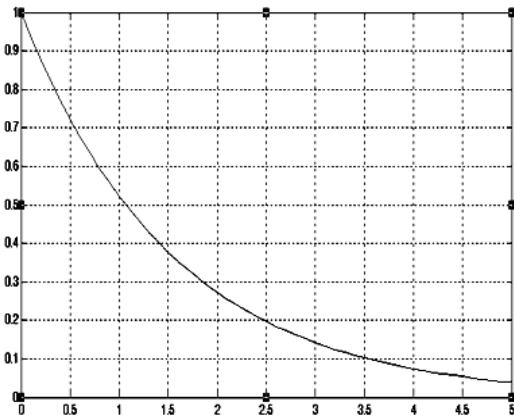
$$R = P_0 + P_1 = 0.827662177$$

جدول (۵): پارامترهای سامانه تولید انرژی در شناور با توربین گاز

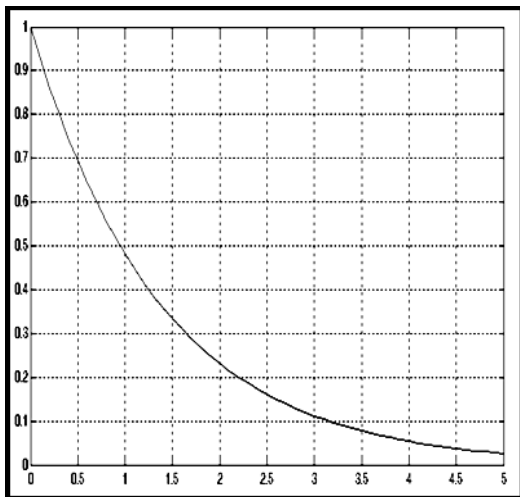
پارامتر	مقدار (occ/yr)	پارامتر	مقدار (hr)
λ_1	۰/۵	μ_1	۸۰
λ_2	۰/۸۹	μ_2	۵۰
λ_3	۰/۹	μ_3	۴۰
λ_4	۰/۸	μ_4	۵۰
λ_5	۰/۵	μ_5	۵۰
λ_6	0.8	μ_6	60

$$A = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = 0.99049 \quad U = 1 - A = 0.0099$$

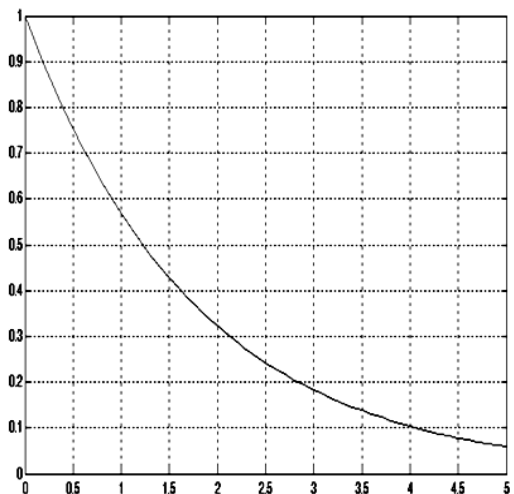
$$R = P_0 + P_1 = 0.945670779$$



شکل (۲): نمودار تولید انرژی با توربین بخار



شکل (۳): نمودار تولید انرژی با توربین گاز



شکل (۴): نمودار تولید انرژی با دیزل ژنراتور

جدول (۹): پارامترهای سامانه تولید انرژی در شناور دریایی هیبریدی (انرژی خورشیدی- دیزل ژنراتور)

پارامتر	مقدار (occ/yr)	پارامتر	مقدار (hr)
λ_1	۰/۵	μ_1	۹۰
λ_2	۰/۱	μ_2	۹۵
λ_3	۰/۱	μ_3	۹۵
λ_4	۰/۱	μ_4	۹۵
λ_5	۰/۰۱	μ_5	۹۵
λ_6	۰/۰۱	μ_6	۹۹

جدول (۱۰): احتمال حالت‌ها برای سامانه تولید انرژی در شناور دریایی هیبریدی (انرژی خورشیدی- دیزل ژنراتور)

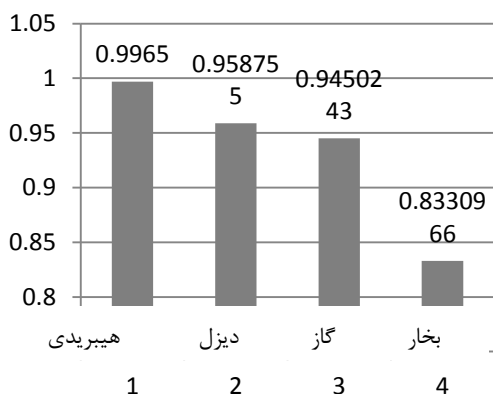
حالت	احتمال	مقدار احتمال
۰	P0	۰/۹۹۱۴۵۱۲۴۶
۱	P1	۰/۰۰۵۰۸۰۶۲۵
۲	P2	۰/۰۰۰۸۰۰۶۲۳
۳	P3	۰/۰۰۰۸۰۰۶۲۳
۴	P4	۰/۰۰۰۸۰۰۶۲۳
۵	P5	۰/۰۰۰۰۵۵۴۵۷
۶	P6	۰/۰۰۰۰۳۵۴۵۷

$$A = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = 0.998561653 \quad U = 1 - A = 0.001438347$$

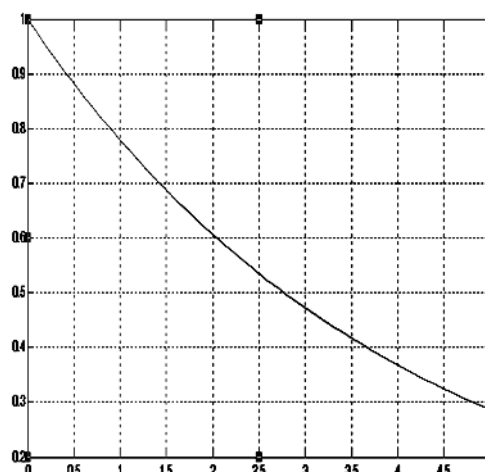
$$R = P0 + P1 = 0.9965$$

۳-۳- مقایسه تابع چگالی احتمال

با توجه به اطلاعات موجود از شناورها، هر نیروی محرکه به صورت توزیع نمایی مدل شده و تابع چگالی که دارای توزیع انرژی در شناور دریایی با توجه به توزیع نمایی با مقایسه نمودارها، مشخص می‌شود که قابلیت اطمینان در سامانه‌های تولید انرژی هیبریدی در شناور دریایی (انرژی خورشیدی- دیزل ژنراتور) بیشتر از سایر سامانه‌ها است.



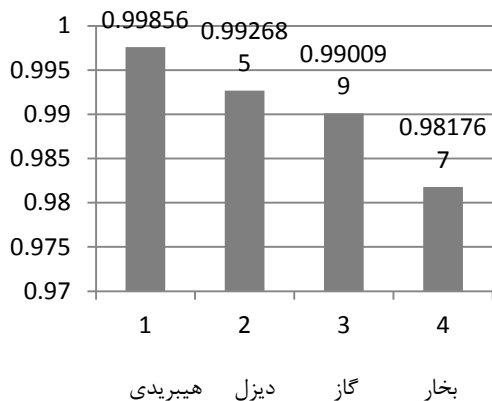
شکل (۸): مقایسه قابلیت اطمینان رانش‌ها



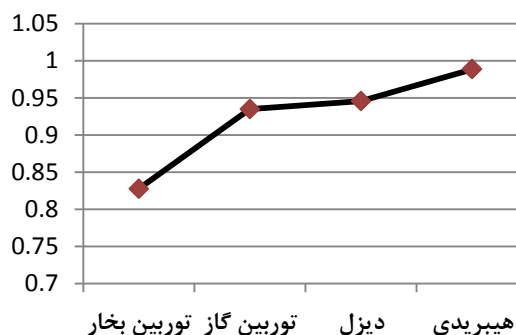
شکل (۵): نمودار تولید انرژی با سیستم هیبریدی

۴-۳ - مقایسه دسترس پذیری و قابلیت اطمینان سامانه‌های تولید انرژی

با توجه به محاسبات عددی قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری سامانه‌های تولید انرژی، نمودار مربوطه را رسم می‌کنیم. نمودارها نشان می‌دهند که قابلیت اطمینان سیستم با انرژی هیبریدی از همه بیشتر بوده و نزدیک‌تر به یک است. در ضمن میزان دسترس‌پذیری آن نیز بیشتر است.



شکل (۹): مقایسه دسترس‌پذیری رانش‌ها

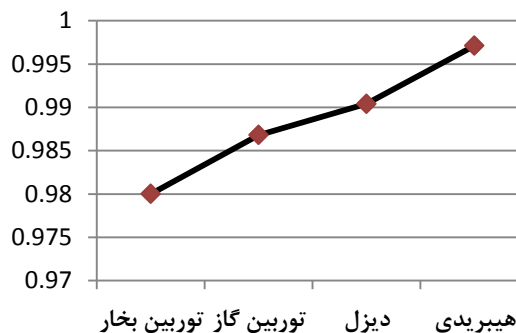


شکل (۶): مقایسه قابلیت اطمینان سامانه‌های تولیدی

۴ - نتیجه‌گیری

سامانه‌های تولید انرژی در شناورهای دریایی به‌عنوان یکی از اهداف راهبردی هستند که در طول مدت دریاوردی و جنگ‌های مدرن نقش بسزایی دارند. لذا محاسبه مقادیر قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری سامانه‌های تولید انرژی در شناورهای دریایی، جهت انتخاب نوع سامانه می‌تواند کمک زیادی در انتخاب نوع سیستم تولید داشته باشد.

محاسبات ریاضی و مقایسه سامانه‌های تولید الکتریسیته در شناورها با توجه به مزایا و معایب، بیانگر این است که سیستم هیبریدی متشکل از دیزل ژنراتور و سلول‌های فتوولتائیک دارای قابلیت اطمینان بهتری بوده (۰/۹۹۶) و نسبت به بقیه سامانه‌ها، دسترس‌پذیرتر است (۰/۹۹۸)؛ و باعث صرفه‌جویی در سوخت و هزینه، افزایش بهره‌وری، استفاده بهینه از فضای شناورها و تعمیرات و نگهداری کمتر، می‌شود.



شکل (۷): مقایسه دسترس‌پذیری سامانه‌های تولید انرژی

[11] Z. Bie, Y. Lin, G. Li, and F. Li, " Battling the Extreme: A Study on the Power System Resilience," Proc. IEEE, no. 7, vol. 105, pp. 1253-1266, 2017.

[12] N. Bhusal, M. Abdelmalak, M. Kamruzzaman, and M. Benidris, "Power System Resilience: Current Practices, Challenges, and Future Directions," IEEE Access, vol. 8, pp. 18064-18086, January 2020.

[13] S. Lei, C. Chen, Y. Li, and Y. Hou, "Resilient Disaster Recovery Logistics of Distribution Systems: Co-Optimize Service Restoration with Repair Crew and Mobile Power Source Dispatch," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 10, no. 6, pp. 6187-6202, Nov. 2019.

[14] Y. Lin and Z. Bie, "Tri-level Optimal Hardening Plan for a Resilient Distribution System Considering Reconfiguration and DG Islanding," Appl. Energy, vol. 210, pp. 1266-1279, Jan. 2018.

[15] A. Gholami, T. Shekari, and S. Grijalva, "Proactive Management of Microgrids for Resiliency Enhancement: An Adaptive Robust Approach," IEEE Trans. Sustain. Energy, Vol. 10, no. 1, pp. 470-480, Jan. 2019.

[16] M. Panteli, P. Mancarella, D. N. Trakas, E. Kyriakides, and N. D. Hatziaargyriou, "Metrics and Quantification of Operational Infrastructure Resilience in Power Systems," IEEE Trans. Power Syst. vol. 32, no. 6, pp. 4732-4742, Nov. 2017.

[17] A. Hussain, A. Oulis Rousis, I. Konstantelos, G. Strbac, J. Jeon, and H. Kim, "Impact of Uncertainties on Resilient Operation of Microgrids: A Data-driven Approach," IEEE Access, vol. 7, pp. 14924-14937, Jan. 2019.

[18] H. Farzin, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Moeini-Aghtaie, "Enhancing Power System Resilience through Hierarchical Outage Management in Multi-microgrids," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2869-2879, 2016.

[19] S. Lei, C. Chen, H. Zhou, and Y. Hou, "Routing and Scheduling of Mobile Power Sources for Distribution System Resilience Enhancement," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 10, pp. 5650-5662, Sep. 2019.

[20] J. Kim and Y. Dvorkin, "Enhancing Distribution System Resilience with Mobile Energy Storage and Microgrids," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 10, no. 5, pp. 4996-5006, Sep. 2019.

[21] M. Panteli and P. Mancarella, "Modelling and Evaluating the Resilience of Critical Electrical Power Infrastructure to Extreme Weather Events," in IEEE Syst. J. vol. 11, no. 3, pp. 1733-1742, Sep. 2017.

[22] Y. Lin, B. Chen, J. Wang, and Z. Bie, "A Combined Repair Crew Dispatch Problem for Resilient Electric and Natural Gas System Considering Reconfiguration and DG Islanding," IEEE Trans. Power Syst. vol. 34, no. 4, pp.

همچنین استفاده از سیستم هیبریدی می‌تواند در شرایط بحران، جنگ، حریق و در صورتی که سیستم تولید برق اصلی دچار سانحه گردیده باشد، کاربرد داشته و برق مصرفی تجهیزات و بارهای حساس را تأمین کند و در نتیجه، باعث افزایش ضریب پدافندی شود.

۵- مراجع

[1] Y. Wang, C. Chen, J. Wang, and R. Baldick, "Research on Resilience of Power Systems Under Natural Disasters-A Review," IEEE Trans. on Power Syst., vol. 31, no. 2, pp. 1604-1613, March 2016.

[۲] غفاری‌پور، رضا؛ علیزاده، محمدایمان. "تبیین مفهوم تاب‌آوری در شبکه برق و ارتباط آن با پدافند غیرعامل"، نشریه علمی شهر تاب‌آور، سال دوم، شماره ۱، صفحات ۶۴-۵۱، بهار ۱۳۹۹.

[۳] دشتی، رضا، تاب‌آوری در سامانه‌های توزیع برق، انتشارات قائم، تهران، ایران، ۱۳۹۷.

[4] L. Fisher, "More than 70 Ways to Show Resilience," nature, ?, 2015.

[5] N. I. A. Council, "Critical Infrastructure Resilience Final Report and Recommendations", Washington, DC, USA, 2009.

[6] N. Bhusal, M. Gautam, M. Abdelmalak, and M. Benidris, "Modeling of Natural Disasters and Extreme Events for Power System Resilience Enhancement and Evaluation Methods," In Int. Conf. on Probabilistic Methods Applied to Power Syst. (PMAPS), Liege, Belgium, 2020.

[۷] غفاری‌پور، رضا؛ جنتی اسکویی، محمدرضا؛ نجفی روادانق، سجاد؛ اعلمی، حبیب اله، "تاب‌آوری، پاسخی برای نگرانی‌های موجود در حوزه پدافند غیرعامل شبکه برق"، نشریه علمی پدافند غیرعامل، سال دهم، شماره ۱، صفحات ۲۲-۱، بهار ۱۳۹۸.

[۸] پالیزوانمحمد؛ دشتی، رضا، "مقاوم‌سازی زیرساخت‌های شبکه برق با استفاده از روش‌های پدافند غیرعامل"، فصلنامه علمی ترویجی پدافند غیرعامل، سال نهم، شماره ۴، صفحات ۵۷-۶۷، ۱۳۹۷.

[9] M. Panteli, D. N. Trakas, P. Mancarella, and N. D. Hatziaargyriou, "Power Systems Resilience Assessment: Hardening and Smart Operational Enhancement Strategies," IEEE, vol. 105, no. 7, pp. 1202-1213, July 2017.

[10] M. Panteli and P. Mancarella, "The Grid: Stronger, Bigger, Smarter?: Presenting a Conceptual Framework of Power System Resilience," IEEE, Power Energy Mag. no. 3, vol. 13, pp. 58-66, May 2015.

- [29] EPRI, "Distribution Grid Resiliency: Vegetation Management," Electr. Power Res. Institute, Palo Alto, CA, USA, 2015.
- [30] M. Mahzarnia, M. P. Moghaddam, P. T. Baboli and P. Siano, "A Review of the Measures to Enhance Power Systems Resilience," In IEEE Syst. J. vol. 14, no. 3, pp. 4059-4070, 2020.
- [31] N. Nezamoddini, S. Mousavian, and M. Erol-Kantarci, "A Risk Optimization Model for Enhanced Power Grid Resilience against Physical Attacks," Electric Power Syst. vol. 143, pp. 329-338, Feb. 2017.
- [32] C. Shao, M. Shahidehpour, X. Wang, X. Wang, and B. Wang, "Integrated Planning of Electricity and Natural Gas Transportation Systems for Enhancing the Power Grid Resilience," IEEE Trans. Power Syst. vol. 32 no.2, pp. 4418-4429, Nov. 2017.
- [33] L. Souto and S. Santoso, "Overhead versus Underground: Designing Power Lines for Resilient, Cost-Effective Distribution Networks under Windstorms," 2020 Resilience Week (RWS), pp. 113-118, 2020.
- [۳۴] اسکندری، محمد؛ امیدوار، بابک؛ مدیری، مهدی؛ نکوئی، محمدعلی، "ارائه الگوی رتبه‌بندی شریان‌های حیاتی بر اساس آنالیز اجزای اصلی،" فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱۶، صفحات ۷۷-۹۵، پاییز ۱۳۹۸.
- 2755-2767, Jul. 2019.
- [23] G. Huang, J. Wang, C. Chen, J. Qi, and C. Guo, "Integration of Preventive and Emergency Responses for Power Grid Resilience Enhancement," IEEE Trans. Power Syst. vol. 32, no. 6, pp. 4451-4463, Nov. 2017.
- [24] M. Shahidehpour, M. Yan, X. Ai, J. Wen, Z. Li, S. Bahramirad, and A. Paaso, "Enhancing the Transmission Grid Resilience in Ice Storms by Optimal Coordination of Power System Schedule with Pre-Positioning and Routing of Mobile Dc De-Icing Devices," IEEE Trans. Power Syst. vol. 34, no. 4, pp. 2663-2674, Jul. 2019.
- [25] P. Dehghanian, S. Aslan, and P. Dehghanian, "Quantifying Power System Resiliency Improvement Using Network Reconfiguration," IEEE 60th Int. Midwest Symp. on Circuits and Syst. pp. 1364-1367, 2017.
- [26] S. Ma, B. Chen, and Z. Wang, "Resilience Enhancement Strategy for Distribution Systems under Extreme Weather Events," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 9, no. 2, pp. 1442-1451, Mar. 2018.
- [27] EPRI, "Distribution Grid Resiliency: Undergrounding," Electr. Power Res. Institute, Palo Alto, CA, USA, 2015.
- [28] S. Ma, S. Li, Z. Wang, and F. Qiu, "Resilience-oriented Design of Distribution Systems," IEEE Trans. Power Syst. vol. 34, no. 4, pp. 2880-2891, 2019.