J. of Marine Eng. Vol. 21, Iss. 46, 2025. (30-43)

Journal of Marine Engineering

Journal homepage: marine-eng.ir

# Studying the methods of predicting changes in floating speed when facing the wind for use in weather routing algorithm

**Hossein karimpour[1], Mehriar Alimohammadi[2*], Ali Mohammadi[3], Ahmad Zadeghabadi[4]**

[1] *Master's student Master's student in marine management, Imam Khomeini University of Marine Science, hosseinkarimpour1372@gmail.com*
[2] *phd Faculty member, Imam Khomeini University of Marine Sciences, mhyar_alimohammadi@yahoo.com*
[3] *phd Faculty member, Imam Khomeini University of Marine Sciences, mohammadi.a4682@gmail.com*
[4] *phd Faculty member, Imam Khomeini University of Marine Sciences, zadegh_ahmad@yahoo.com*

## ARTICLE INFO

*Article History:*
Received: 11 Sep 2023
Last modification: 6 Jun 2025
Accepted: 9 Jun 2025
Available online: 11 Jun 2025

*Article type:*
Research paper

*Keywords:*
Seafaring
Wind
Speed changes
Routing

## ABSTRACT

In marine navigation software, it is very important to determine the floating speed in turbulent weather. This study implements six methods of determining the amount of changes in the speed of ships due to the impact of the wind in the Python programming environment and aims to identify the most suitable parameterization to be used in the weather routing algorithm. The six methodologies are: Molland-Isherwood, Lin-Isherwood, Molland-Fujiwara, Lin-Fujiwara, Molland-Blenderman and Lin-Blenderman methods. In order to complete this analysis and compare the investigation methods, the characteristics related to the seafaring situation such as the direction and strength of the wind, as well as the inherent coordinates of the ship, were considered. By taking into account the different sailing conditions and matching them on the selected vessel, the effect of the ship's speed changes due to the presence of wind is investigated through the implementation of the aforementioned six methods. The results showed highest speed reduction is related to the Molland-Isherwood method, as much as 8.21 m/s when the wind blows at an angle of 30 degrees to the ship.

ISSN: 2645-8136

**DOI:** http://dx.doi.org/10.61882/marineeng.21.46.3

**Copyright:** © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license [https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/]

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

نشریه مهندسی دریا، جلد ۲۱، شماره ۴۶، ۱۴۰۴، (۴۳-۳۰)

نشریه مهندسی دریا

صفحه اصلی نشریه: marine-eng.ir

# مطالعه روش‌های پیش‌بینی تغییرات سرعت شناور در مواجه با باد جهت بکارگیری در الگوریتم مسیریابی آب و هوایی

حسین کریم پور[۱]، مهریار علی محمدی[۲*]، علی محمدی[۳]، احمد ذادق آبادی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت دریایی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، hosseinkarimpour1372@gmail.com

[۲] عضو هیئت‌علمی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، mhyar-alimohammadi@yahoo.com

[۳] عضو هیئت‌علمی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، mohammadi.a4682@gmail.com

[۴] عضو هیئت‌علمی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، ، zadegh_ahmad@yahoo.com

**اطلاعات مقاله**

*تاریخچه مقاله:*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۰۳/۲۱

*نوع مقاله:*

مقاله پژوهشی

*کلمات کلیدی:*

دریانوردی

باد

تغییرات سرعت

مسیریابی

**چکیده**

در نرم‌افزار مسیریابی آب و هوایی تعیین سرعت شناور در وضعیت جوی ناآرام بسیار مهم می‌باشد. این مطالعه، شش روش تعیین میزان تغییرات سرعت کشتی‌ها در اثر برخورد با باد را در محیط برنامه‌نویسی پایتون اجرا و درصدد این است تا مناسب‌ترین پارامتربندی برای به‌کارگیری در الگوریتم مسیریابی آب و هوایی شناسایی شود. شش روش عبارتند از: روش‌های مولاند-ایشروود، لین-ایشروود، مولاند-فوجیوارا، لین- فوجیوارا، مولاند-بلندرمن و لین-بلندرمن. به‌منظور تکمیل این تحلیل و مقایسه روش‌های بررسی، ویژگی‌های مربوط به وضعیت دریانوردی مانند جهت و قدرت باد و همین‌طور مختصات ذاتی کشتی درنظر گرفته شدند. با به‌حساب آوردن شرایط مختلف دریانوردی و تطابق آن‌ها بر شناور انتخاب‌شده اثر تغییرات سرعت کشتی به علت وجود باد از طریق اجرای شش روش پیش‌گفته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌داد بیشترین کاهش سرعت مربوط می‌شود به روش مولاند-ایشروود به اندازه ۸/۲۱ متر بر ثانیه هنگامی که باد با زاویه ۳۰ درجه به شناور می‌وزد.

ISSN: 2645-8136

**DOI:** http://dx.doi.org/10.61882/marineeng.21.46.3

**حق نشر:** © ۲۰۲۵ توسط نویسندگان. این اثر برای انتشار با دسترسی آزاد، تحت شرایط و ضوابط مجوز (CC BY) ارسال شده است.

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

**۱- مقدمه**

تقریباً ۹۰٪ تجارت دنیا از طریق کشتی‌ها و دریا انجام می‌شود. برای بخش عظیمی از این دادوستدها، تقریباً هیچ جایگزین دیگری وجود نداشته و یا اینکه بسیار کم هستند. این مسئله باعث افزایش حجم و ظرفیت کشتی‌ها شد. گذشته از آن، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی‌ها بسیار فشرده‌تر گردید و درعین‌حال نیاز به ترسیم مسیر دریانوردی کشتی‌ها و نقش پیش‌بینی آب‌وهوا در تعیین مسیر برجسته‌تر شد. مسیریابی دریانوردی راهی را جهت جابه‌جایی از مبدأ به مقصد معین می‌کند. دریانوردی در دایره‌ی عظیمه، در صورت "آرام"بودن دریا، بایستی کوتاه‌ترین مسافت باشد. اگرچه محیط ناوبری بسیار پیچیده است. باد، امواج قوی و جریان‌های اقیانوسی می‌توانند در شرایط جوی ناآرام، به شدّت بر ایمنی، سرعت و میزان مصرف سوخت کشتی تأثیرگذار باشند. بدین ترتیب مسئله ترسیم یک مسیر ایمن و اقتصادی، یک نکته‌ی کلیدی در طراحی مسیریابی آب و هوایی است.

مسیریابی دریانوردی شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱- فراهم نمودن داده‌های پیش‌بینی وضعیت جوی

۲- تولید شبکه با مبنا قراردادن مسیر دایره عظیمه (هر خطی که دونقطه شبکه را به هم وصل می‌کند به‌عنوان یک یال در نظر گرفته می‌شود و می‌تواند به‌عنوان بخشی از مسیر اصلی باشد)

۳- درون‌یابی داده‌های جوی بر روی شبکه

۴- محاسبه سرعت شناور در مسیرهای مختلف با در نظر گرفتن وضعیت جوی (مسیرهایی که ارتفاع موج و شدت باد باعث آسیب جدی به کشتی می‌شوند و مسیرهایی که از خشکی عبور می‌کنند از محاسبات حذف می‌شوند).

۵- درنظرگرفتن قیود ایمنی شناور

۶- جستجوی کوتاه‌ترین مسیر با در نظر گرفتن سرعت شناور به‌دست‌آمده در مرحله (۴)

در این پژوهش تمرکز بر مرحله‌ی (۴) مسیریابی دریانوردی می‌باشد. امواج دریایی، باد و جریان بر سرعت شناور تاثیرگذار هستند. در نرم‌افزارهای مسیریابی آب و هوایی در اکثر موارد دور موتور شناور ثابت در نظر گرفته می‌شود و نرم افزار با توجه به فرمول‌های موجود، تغییرات سرعت شناور در اثر مواجه با باد، موج و جریان را تعیین می‌کند (چون در این حالت ناوبر تاثیری بر سرعت شناور ندارد کاهش سرعت در این حالت غیرارادی یا ناخواسته می‌باشد)؛ البته در بعضی از حالات برای مثال وقتی طوفان در مسیر وجود دارد دستور کاهش دور موتور را صادر می‌کند تا طوفان از مسیر خارج شود (به این حالت کاهش سرعت ارادی یا خواسته گفته می‌شود). از جدیدترین مطالعات در خصوص مسیریابی آب و هوایی می‌توان به سام دلیری و همکاران (۱۴۰۲) [۱]، زو و همکاران (۲۰۲۳) [۲]، کایتروالی و سیمیلیس (۲۰۲۳) [۳]، کسویک و همکاران (۲۰۲۳) [۴]، بهرامی و سیادت موسوی (۲۰۲۳) [۵]، گریفول و همکاران (۲۰۲۲) [۶]، گو و همکاران (۲۰۲۴) [۷]، ما و همکاران (۲۰۲۴) [۸]، مانارینی و همکاران (۲۰۲۴) [۹] و بالاس و همکاران (۲۰۲۴) [۱۰] اشاره کرد.

امواج دریایی و باد ضمن تأثیر گذاشتن بر راه و سرعت کشتی، می‌توانند باعث آسیب رساندن به کشتی شوند. امواج دریایی در هر جهتی باعث کاهش سرعت کشتی می‌شوند. اما باد پاشنه می تواند باعث افزایش سرعت شناور شود. درواقع می‌توان گفت یکی از مباحث مهم در مسیریابی دریایی، محاسبه‌ی تغییرات سرعت شناور در اثر برخورد با امواج و باد (مقاومت اضافه‌شده) می‌باشد. ازاین‌رو روش‌های مختلفی برای محاسبه‌ی آن ارائه‌شده است که می‌توان به‌عنوان‌مثال به کوون (۲۰۰۸) [۱۱]، پانیگرافی و همکاران (۲۰۱۲)[۱۲]، کای و همکاران (۲۰۱۴) [۱۳]، مولاند و همکاران (۲۰۱۱) [۱۴] اشاره کرد. در نرم‌افزار مسیریابی دریایی تعیین سرعت شناور در وضعیت جوی ناآرام بسیار مهم می‌باشد و حتی در بین مقالات خارجی هیچ اشاره‌ای به انواع روش‌های ارائه‌شده و برتری آن‌ها نسبت به همدیگر نشده است که در این مطالعه به آن پرداخته می‌شود. علی محمدی و همکاران (۱۴۰۱) [15] به ارزیابی روش‌های پیشبینی تغییرات سرعت شناور در هنگام مواجه با امواج پرداختند؛ لذا این پژوهش درصدد این است که فرمول مناسب جهت محاسبه تغییرات سرعت شناور در مواجه با باد برای به‌کارگیری در الگوریتم مسیریابی آب و هوایی را به دست آورد.

**۲- آثار عوامل محیطی در رسم مسیر دریانوردی**

عوامل محیطی مهم در رسم مسیر دریانوردی، عوامل جوّی و اقیانوسی هستند که موجب تغییر وضعیت مسیر دریانوردی کشتی می‌شوند. در رسم مسیر دریانوردی؛ باد، امواج، مه، یخ و جریان‌های اقیانوسی بایستی مدنظر قرار گیرد. آثار این عوامل بر ناوبری کشتی به‌طور مفصل در این بخش بررسی می‌شود.

**۲-۱- تأثیرات باد**

تعیین اثر وزش باد بر عملکرد کشتی دشوار است. بادها در تشکیل امواج سهیم می‌باشند و درعین‌حال به‌عنوان مقاومت باد، نیرویی را بر روی شناور وارد می‌کنند. مقاومت باد بر تمامی سطوح بالای خط آبخور کشتی ازجمله بار کشتی هنگامی‌که بالای خط آبخور باشد وارد می‌شود. مقاومت باد، در اصل، با سطوح متقاطع بالای خط آب و مجذور سرعت کشتی (سرعت کشتی در دریای آرام)، در تناسب است. این محوطه شامل بخش بالای آب بدنه اصلی و هرگونه روسازه (ازجمله بار، پل، تجهیزات) می‌باشد. به‌طور عادی باد در حدود ۲ درصد کل مقاومت را تشکیل می‌دهد، البته به‌استثنای کشتی‌های کانتینر بر که به علت وجود سطح وسیع متقاطع کشتی (به علت وجود کانتینرهای موجود)، این سهم به ۱۰ درصد می‌رسد.



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

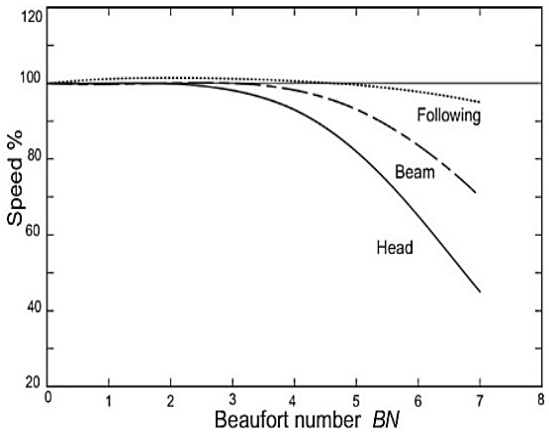
در زمان مواجه با بادهای خفیف (کمتر از ۲۰ گره)، عموماً، درصورتی‌که باد دقیقاً از سینه‌ی کشتی بوزد مقدار کاهش سرعت کشتی یا درصورتی‌که باد از پاشنه باشد، مقدار افزایش سرعت کشتی در هر دو حالت کم است. در زمان وزش بادهای شدیدتر، سرعت کشتی در هر دو حالت ذکرشده دچار کاهش سرعت می‌شود. این به دلیل افزایش تلاطم امواج می‌باشد که موجب کشیده شدن و انحراف بیشتری از تصحیحات سکان در امواجِ از پاشنه (هم سو با راه کشتی) شده و نشان‌دهنده‌ی اهمیت وضعیت دریا در عملکرد کشتی می‌باشد.

برای کاربرد عملی، وضعیت دریا معمولاً توسط اعداد بوفورت تعریف می‌شود. BN مقیاس سرعت باد بوفورت به همراه ارتفاع تقریبی امواج در جدول ۱ نشان داده شده است.

**جدول ۱- عدد بافورد مربوط به‌سرعت باد و جهت موج [۱۴]**

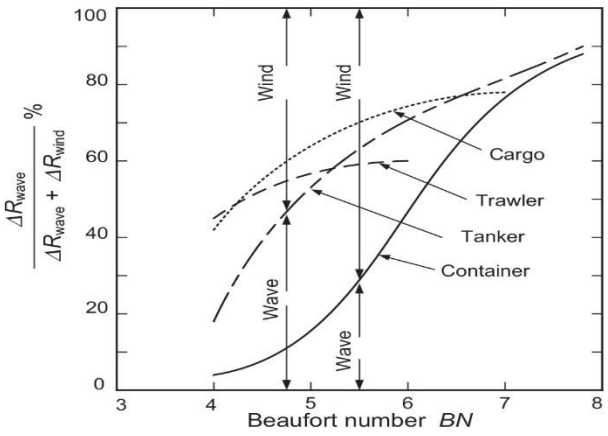
| عدد بافورد | وضعیت دریا | بازه سرعت | | ارتفاع تقریبی موج به متر |
|---|---|---|---|---|
| | | گره دریایی (knot) | متر بر ثانیه (m/s) | |
| ۰ | آرام(Calm) | ۱ | ۰ | – |
| ۱ | نسیم دریایی(Light Air) | ۱ - ۳ | ۰.۳ – ۱.۵ | – |
| ۲ | نسیم ملایم(Light Breeze) | ۴ - ۶ | ۱.۶ – ۳.۳ | ۰.۷ |
| ۳ | باد آرام(Gentle Breeze) | ۷ - ۱۰ | ۳.۴ – ۵.۴ | ۱.۲ |
| ۴ | باد متوسط(Moderate Breeze) | ۱۱ - ۱۶ | ۵.۵ – ۷.۹ | ۲ |
| ۵ | باد نسبتاً تند(Fresh Breeze) | ۱۷ - ۲۱ | ۸ - ۱۰.۷ | ۳.۱ |
| ۶ | باد تند(Strong Breeze) | ۲۲- - ۲۷ | ۱۰.۸ – ۱۳.۸ | ۴ |
| ۷ | باد طوفانی(Near Gale) | ۲۸ - ۳۳ | ۱۳.۹ – ۱۷.۱ | ۵.۵ |
| ۸ | تندباد(Gale) | ۳۴ - ۴۰ | ۱۷.۲ – ۲۰.۷ | ۷.۱ |
| ۹ | تندباد قوی(Strong Gale) | ۴۱ - ۴۷ | ۲۰.۸ – ۲۴.۴ | ۹.۱ |
| ۱۰ | طوفان(Storm) | ۴۸ - ۵۵ | ۲۴.۵ – ۲۸.۴ | ۱۱.۳ |
| ۱۱ | طوفان سهمناک(Violent Storm) | ۵۶ - ۶۳ | ۲۸.۵ – ۳۲.۶ | ۱۳.۲ |
| ۱۲ | طوفان دریایی همراه گردباد(Hurricane) | بالاتر از ۶۴ | بالاتر از ۳۲.۷ | – |

منحنی‌های اتلاف سرعت در اثر امواج و باد، بر اساس BN جدول ۱، به‌صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده‌شده‌اند.




**شکل۱- کاهش سرعت حاصل از افزایش عدد بوفورت [۱۴].**

با در نظر گرفتن جهت موج از سینه، نسبت‌های تأثیر باد و موج با افزایش BN تغییر می‌کند، شکل ۲، با استفاده از تخمین‌های تئوری و میدانی استخراج‌شده از کوون و تونسین، ون بروکلین، آرتسن بیان می‌کند که در BN=4، در حدود ۱۰-۲۰ درصد افزایش قدرت در سرعت ثابت (بسته به تمامیت بدنه و نوع کشتی) به دلیل برخورد موج است، درحالی‌که در BN=7، در حدود ۸۰ درصد به دلیل برخورد موج می‌باشد. تعادل به دلیل وجود مقاومت باد می‌باشد. یک بررسی مفصل درباره‌ی برخورد موج و تناسب موج- باد توسط تونسین و همکاران (۱۹۹۳) و کوون (۲۰۰۸) انجام شده است [۱۱ و ۱۶].




**شکل ۲- نسبت‌های تأثیر باد و موج با افزایش BN [۱۴]**

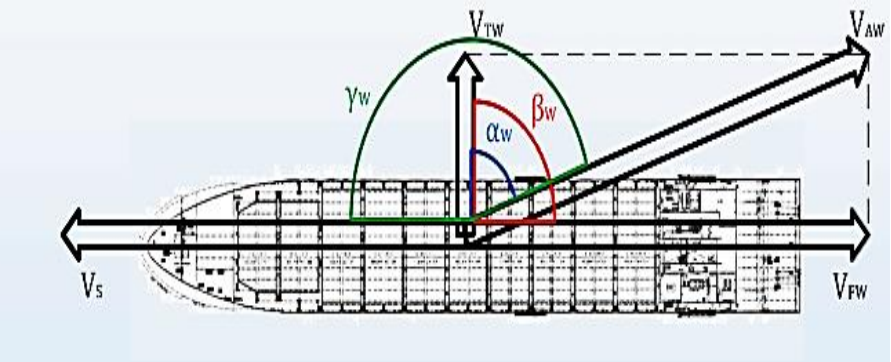
[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

نیروی باد معمولاً به دو بخش تقسیم می‌شود؛ باد مساعد ($F_W$) که همانی است که کشتی در حین دریانوردی با آن مواجه می‌شود (سرعت یکسان ولی مخالف جهت کشتی) و باد حقیقی ($T_W$) که همان جهت و سرعت باد واقعی در حال وزش در آن نقطه از دریا را دارد. باد مساعد بادی است که کشتی به دلیل دریانوردی با آن برخورد دارد ولی باد حقیقی را حتی اگر درلنگر نیز مستقر شده باشد، حس می‌کند. ترکیب این دو، موجب به وجود آمدن باد ظاهری ($A_W$) می‌شود که می‌تواند جهت محاسبه مقاومت کلی باد مورد استفاده قرار بگیرد. این باد را می‌توان به‌سادگی با استفاده از تحلیل زمین‌شناسی نشان داده‌شده توسط ویندک (۲۰۱۳) محاسبه کرد [۱۷]. اگر $V_{AW}$ بردار وصف کننده باد ظاهری، $V_{TW}$ بردار وصف کننده باد حقیقی و $V_{FW}$ بردار وصف کننده باد مساعد باشد و $\beta_W$ زاویه بین $V_{TW}$ و $V_{FW}$ باشد. کمیت اسکالر $V_{AW}$ را می‌توان از معادله شماره (۱) ذیل به دست آورد:

$$V_{AW} = \sqrt{V_{TW}^2 + V_{FW}^2 - 2.V_{TW}.V_{FW}.\cos(\beta_W)} \qquad (۱)$$

چیزی که معادله شماره ۱ توضیح می‌دهد در شکل شماره ۳ به‌طور بصری برای یک شناور در حال دریانوردی با سرعت VS و در حال مواجهه با یک باد حقیقی از جنوب، مجسم شده است.




**شکل ۳- جهت بادهای حقیقی، ظاهری و مساعد و زاویه بین آن‌ها برای یک شناور با سرعت مشخص (ویندک، ۲۰۱۳) [۱۷]**

با محاسبه کمیت اسکالر $V_{AW}$، قدم بعدی تعیین زوایایی است که به محاسبه مقاومت باد کمک می‌کنند. اجازه دهید $\alpha_W$ زاویه بین $V_{TW}$ و $V_{AW}$ باشد. این را می‌توان از معادله شماره (۲) به دست آورد:

$$\alpha_W = 2.\arcsin\left(\sqrt{\frac{(s - V_{AW}) - (S - V_{FW})}{V_{AW}.V_{FW}}}\right), \text{with } s = \frac{V_{AW} + V_{FW} + V_{TW}}{2} \qquad (۲)$$

سپس محاسبه زاویه برخورد γw بین جهت حرکت و باد ممکن خواهد شد و آن را می‌توان برای محاسبه مقاومت باد Rwind به کاربرد که مستقیماً بر سرعت کشتی تأثیر می‌گذارد. فرمول‌های متفاوتی برای محاسبه مقاومت باد ارائه‌شده است که در بخش‌های بعد این فرمول‌ها ارائه و باهم مقایسه می‌گردند.

### ۲-۲- آثار امواج

ارتفاع موج، عمده‌ترین عامل مؤثر بر عملکرد کشتی است. تلاطم امواج باعث تکان‌های کشتی شده که این خود موجب کاهش قدرت پیشرانه‌ی پروانه‌ها و انحراف از تصحیحات راه سکان می‌گردد. تناسب بین سرعت کشتی با جهت و ارتفاع موج شبیه همان تناسب با وزش باد است. در زمان وجود امواج بلند، تخمین دقیق عملکرد، به دلیل تصحیحات و تغییرات راه کشتی که به‌منظور هدایت بهتر و راحتی (کمتر تکان خوردن در دریا) اعمال می‌شود، آسان نیست. اگرچه اثر موج برخاسته از وزش باد و موج مرده بر شناورهای تجاری بزرگ بسیار بیشتر از اثرِ وزشِ صرف باد (بدون وجود موج‌بلند) می‌باشد، بااین‌حال تفکیک این دو اثر از هم در مسیر دریانوردی دشوار می‌باشد. موج در مقایسه با باد بیشترین تأثیر را بر سرعت شناور دارد و فرمول‌های متفاوتی برای محاسبه مقاومت موج ارائه‌شده است. علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۱) [۱۵] به ارزیابی روش‌های پیشبینی تغییرات سرعت شناور در هنگام مواجه با امواج پرداختند.

### ۳-۲- اثر جریان

جریانات اقیانوسی برای مسیرهای دریانوردی مشکل خیلی بزرگی ایجاد نمی‌کنند، اما می‌توانند عامل تعیین‌کننده‌ای در انتخاب مسیر و انحراف از آن باشند. جریانات با توجه به جهت برخورد با کشتی می‌توانند باعث افزایش سرعت شناور و یا کاهش سرعت



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

شناور شوند. جریانات که به پاشنه شناور برخورد می‌کنند باعث افزایش سرعت شناور می‌شوند.

جهت و سرعت جریان‌های اقیانوسی قابل پیش‌بینی‌تر از وضعیت دریا و باد می‌باشد؛ البته وقتی جریانات اقیانوسی دستخوش سامانه‌های قوی جوّی محلی ازجمله هاریکان‌ها و سایر پدیده‌های جهانی مانند اِل‌نینو می شوند تا حدودی پیش‌بینی آن‌ها سخت‌تر می‌شوند.

**جدول ۲- مشخصات شناور موردمطالعه**

| واحد | مقدار | مشخصه |
|---|---|---|
| متر | ۱۸۰.۶ | طول سرتاسری |
| متر | ۲۲.۹ | عرض |
| متر | ۱۴.۱ | ارتفاع |
| تن | ۱۴۳۱۲ | گنجایش |
| تن | ۷۵۰۰ | وزن مرده (تناژ) |
| | ۰.۶ | ضریب گنجایش ($C_b$) |
| نات | ۲۰ | سرعت |
| متر | ۵.۶۹ | آبخور سینه |
| متر | ۵.۹۸ | آبخور پاشنه |
| متر | ۵.۸۳ | آبخور میانه |
| مترمربع | ۴۵۶۹ | سطح خیس |
| متر | ۱.۹۲ | ارتفاع سطح میانی |
| متر | ۴۷۸.۷۳ | ارتفاع میان مرکزی طولی |
| مترمربع | ۴۵۰.۶ | محوطه عرضی برجسته رو سازه،پل فرماندهی، اتاق‌های کوچک روی عرشه($A_{OD}$) |
| مترمربع | ۳۱۵.۸ | محوطه بیشینه برش عرضی در معرض باد($A_{XV}$) |
| مترمربع | ۱۳۳۷ | محوطه برجسته عرضی بالای خط آبخور($A_{YV}$) |
| متر | ۰.۹ | فاصله افقی از بخش مرکزی کشتیبه مرکز محوطه برجسته عرضی($C_{MC}$) |
| متر | ۱۷.۵ | ارتفاع روسازه بالایی(پل فرماندهی و ..) ($h_{BR}$) |
| متر | ۶.۷ | ارتفاع از خط آبخور به مرکز محوطه برجسته عرضی ($h_C$) |

## ۳- مواد و روش‌ها

### ۳-۱- شناور موردمطالعه

مشخصات شناور ro-ro انتخاب‌شده جهت انجام مقایسه‌ها و استفاده در فرمول‌های ذکرشده در بخش‌های بعدی در جدول ۲ به‌طور کامل بیان شده است.

| | | |
|---|---|---|
| درجه | ۱۰ | محدوه هموار سازی معمولا ۱۰ درجه ($\mu$) |
| درجه | ۱۸۰ | سمت باد نسبی(یعنی بادی که نسبت به سینه کشتی می‌وزد.( $\Psi_{WR}$) |

### ۳-۲- روش‌ها

با استفاده از چند روش می‌توان تغییرات سرعت شناور در اثر برخورد با باد را محاسبه کرد. همانطور که در بخش مقدمه اشاره شده؛ چون در این حالت ناوبر تاثیری بر تغییرات سرعت شناور ندارد؛ تغییرات سرعت در این حالت غیرارادی یا ناخواسته می‌باشد. در بعضی از روش‌ها با استفاده از مقاومت اضافه‌شده ناشی از باد و موج و مقاومت شناور در دریای آرام می‌توان تغییرات سرعت شناور را محاسبه کرد. البته این روش‌ها برای محاسبه کاهش سرعت شناور در اثر برخورد با باد و موج می‌باشد و با توجه به اینکه در این تحقیق به دنبال فرمول مناسب برای باد هستیم از مقدار مقاومت ایجادشده ناشی از موج صرف‌نظر می‌کنیم. در این تحقیق از معادلات مولاند و همکاران (۲۰۱۷) [۱۴] و لین و همکاران (۲۰۱۳) [۱۸] استفاده گردید.

جدول ۳ اسامی اجراهای صورت گرفته در این پژوهش جهت محاسبه تغییرات سرعت باد با معادلات مولاند و همکاران (۲۰۱۷) [۱۴] و لین و همکاران (۲۰۱۳) [۱۸] و انواع ضرایب درگ باد بکارگرفته و ضریب درگ آب را نشان می دهد. در ادامه به تشریح روش‌های استفاده شده پرداخته می‌شود.

**جدول ۳- اسامی اجراهای صورت گرفته در این پژوهش**

| ردیف | اسامی اجراها | فرمول محاسبه تغییرات سرعت | فرمول محاسبه ضریب مقاومت باد | فرمول محاسبه ضریب مقاومت آب | عدد بوفورت | زاویه باد و سینه کشتی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | مولاند–ایشروود | مولاند | ایشروود | ITTC1957 | ۵–۸ | ۰–۱۸۰ |
| ۲ | لین–ایشروود | لین | ایشروود | ITTC1957 | ۵–۸ | |
| ۳ | مولاند–فوجیوارا | مولاند | فوجیوار | ITTC1957 | ۵–۸ | |
| ۴ | لین–فوجیوارا | لین | فوجیوارا | ITTC1957 | ۵–۸ | |
| ۵ | مولاند–بلندرمن | مولاند | بلندرمن | ITTC1957 | ۵–۸ | |
| ۶ | لین–بلندرمن | لین | بلندرمن | ITTC1957 | ۵–۸ | |

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

**۳-۲-۱ روش مولاند و همکاران (۲۰۱۷)** [۱۴]

یکی از روش‌ها برای محاسبه میزان کاهش سرعت غیرارادی یا ناخواسته توسط مولاند و همکاران (۲۰۱۷) [۱۴] ارائه شده است که با استفاده از مقادیر مقاومت ایجادشده ($R_{ADD}$) و مقاومت آب آرام ($R_{SW}$) از رابطه تقریبی زیر به دست می‌آید.

$$\frac{\Delta V}{V} = \left[1 + \frac{R_{ADD}}{R_{SW}}\right]^{\frac{1}{2}} - 1 \qquad (۳)$$

که در آن (V) سرعت شناور در دریای آرام یا همان سرعت اسمی بوده برای هر شناور با دور موتور مشخص قابل محاسبه و در دسترس می‌باشد. ($\Delta V$) میزان کاهش سرعت است که برای تعیین مقدار آن باید مقاومت ایجادشده ($R_{ADD}$) ناشی از باد و موج و مقاومت آب آرام ($R_{SW}$) را محاسبه نمود و البته در این تحقیق از مقاومت ایجاد شده ناشی از موج صرف‌نظر شده است. نحوه محاسبه مقاومت ایجاد شده ناشی از باد و مقاومت آب آرام در ادامه توضیح داده خواهد شد.

**۳-۲-۲ روش لین و همکاران (۲۰۱۳)** [۱۸]

یکی دیگر از روش‌ها برای محاسبه میزان کاهش سرعت غیرارادی یا ناخواسته توسط روش لین و همکاران (۲۰۱۳) [۱۸] ارائه شده است که از رابطه تقریبی زیر به دست می‌آید [۹]:

$$V_r = \left[V^3 - 2\frac{R_{ADD} * V}{\rho S C_T}\right]^{\frac{1}{3}} \qquad (۴)$$

در رابطه بالا $V_r$ سرعت کاهش‌یافته شناور، V سرعت شناور در آب آرام، $R_{ADD}$ مقاومت ایجادشده ناشی از باد و موج (در این تحقیق از مقاومت ایجاد شده ناشی از موج صرف‌نظر)، ρ چگالی آب، S مساحت منطقه خیس شده شناور و $C_T$ ضریب مقاومت شناور در آب آرام می‌باشد.

**۳-۲-۳ محاسبه مقاومت آب آرام ($R_{SW}$)**

مقاومت آب آرام از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_{SW} = \frac{1}{2}\rho S C_T \qquad (۵)$$

در رابطه بالا $\rho$ چگالی آب، S سطح خیس شده شناور و $C_T$ ضریب مقاومت آب آرام می‌باشد. سطح خیس شده شناور از رابطه زیر قابل‌محاسبه می‌باشد:

$$S = 1.025\left(\frac{\Delta}{T} + 1.7 * L_{PP} * T\right) \qquad (۶)$$

در رابطه بالا $\Delta$ حجم آب جابجا شده شناور، T میانگین آبخور شناور و $L_{PP}$ طول بین عمودهای شناور می‌باشد.

هاگیوارا ۱۹۸۹ [۱۹] و اسکیلد ۲۰۱۴ [۲۰] برای محاسبه ضریب مقاومت آب آرام فرمول‌هایی ارائه دادند؛ اما در این پژوهش برای محاسبه مقاومت آب آرام از رابطه تائید شده ITTC1957 استفاده می‌شود:

$$C_T = C_F + C_A + C_{AA} + C_R \qquad (۷)$$

در رابطه بالا $C_F$ ضریب مقاومت اصطکاکی، $C_A$ ضریب مقاومت زبری بدنه کشتی، $C_{AA}$ ضریب مقاومت هوا و $C_R$ ضریب مقاومت باقیمانده می‌باشد.

$C_F$ ضریب مقاومت اصطکاکی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_F = \frac{0.075}{\left((\log R_{N_}2)\right)^2} \qquad (۸)$$
$$R_n = \frac{V.L_{WI}}{v}$$

در رابطه بالا V سرعت شناور، $L_{wi}$ طول شناور در خط آب و v ویسکوزیته آب می‌باشد.

$C_A$ ضریب مقاومت زبری بدنه کشتی از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۱]:

$$1000.C_A = 0.5\log(\Delta)_0.1\left(\log(\Delta)\right)^2 \qquad (۹)$$

در این پژوهش از ضریب مقاومت هوا $C_{AA}$ چشم‌پوشی شده است و برای محاسبه ضریب مقاومت باقی‌مانده (مقاومت ناشی از موج ایجادشده توسط شناور) از فرمول رگرسیون نمایی اسکیلد (۲۰۱۴) [۲۰] به شرح ذیل استفاده‌شده است:

$$C_R = 0.0052e^{0.2039v} \qquad (۱۰)$$

**۳-۲-۴ محاسبه مقاومت باد**

مقاومت باد به‌طورکلی توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_{wind} = COS(\gamma w)C_{wind}\frac{\rho_A.V_{AW}^2}{2}.A_{XV} \qquad (۱۱)$$

در رابطه بالا $C_{wind}$ ضریب مقاومت باد، $\rho_A$ چگالی هوا، ($V_{AW}^2$) سرعت ظاهری یا نسبی باد (رابطه ۱)، γw زاویه برخورد بین جهت حرکت شناور و باد (با استفاده از رابطه ۲) و ($A_{XV}$) بیشینه مقطع عرضی است که در روبروی باد قرار می‌گیرد و در جدول ۲ مقدار آن مشخص شده است.

برای محاسبه‌ی ضریب مقاومت باد فرمول‌های متفاوتی ارائه شده است. در این پژوهش فرمول‌های ایشروود (۱۹۷۲) [۲۲]، فوجی‌وارا و همکاران (۲۰۰۶) [۲۳] و بلندرمن (۱۹۹۴) [۲۴] ارزیابی گردیدند.



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

### ۱-۴-۲-۳ معادله ایشروود (۱۹۷۲) [۲۲] برای محاسبه ضریب مقاومت باد

یکی از فرمول‌های پرکاربرد مربوط می‌شود به معادله رگرسیونی ایشروود (۱۹۷۲) [۲۲] به شرح ذیل:

$$C_{wind} = A_0 + A_1\left(\frac{2_{A_L}}{L^2}\right) + A_2\left(\frac{2_{A_T}}{B^2}\right) + A3\left(\frac{L}{B}\right) + A4\left(\frac{S_P}{L}\right) + A5\left(\frac{C}{L}\right) + A6(M) \quad (۱۲)$$

که L طول سرتاسری، B عرض کشتی، $A_L$ مساحت برجستگی عرضی، $A_T$ مساحت برجستگی متقاطع، $S_P$ طول محدوده برجستگی عرضی مدل (کشتی) به‌جز خط آبخور و اجسام باریک و نازک مانند ونت‌ها و دکل‌ها، C فاصله از سینه‌ی مرکز جسم/ثقل مساحت برجستگی عرضی، M تعداد گروه‌های متمایز دکل‌ها یا شاه‌تیرهای موجود در برجستگی عرضی می‌باشند. برای تعیین ضرایب A0-A6 به ایشروود (۱۹۷۲) [۲۲] مراجعه شود. توجه داشته باشید برای زاویه باد ۱۸۰ درجه از روبرو، A4 و A6، صفر بوده و تخمین $S_P$ و M ضروری نیست. برای تخمین‌های مقدماتی، C/L را می‌توان ۰.۵ در نظر گرفت.

### ۲-۴-۲-۳ معادله فوجی‌وارا و همکاران (۲۰۰۶) [۲۳] برای محاسبه ضریب مقاومت باد

یک فرمول رگرسیون کلی بر اساس آزمایش‌های مدل در تونل‌های باد برای کشتی‌های مختلف توسط فوجی‌وارا و همکاران توسعه داده شده است [۲۳]:

$$C_{wind} = C_{LF}COS\,\Psi_{WR} + C_{XLI}\left\{SIN\,\Psi_{WR} - \frac{1}{2}SIN\,\Psi_{WR}COS^2\,\Psi_{WR}\right\}SIN\,\Psi_{WR}COS\,\Psi_{WR} + C_{ALF}SIN\,\Psi_{WR}COS^3\,\Psi_{WR}$$

$$\boldsymbol{FOR\ 0 \le \Psi_{WR} \le 90(deg)}$$

$$C_{LF} = \beta_{10} + \beta_{11}\frac{A_{YV}}{L_{OA}B} + \beta_{12}\frac{C_{MC}}{L_{OA}}$$

$$C_{XLI} = \delta_{10} + \delta_{11}\frac{A_{YV}}{L_{OA}H_{BR}} + \delta_{12}\frac{A_{XV}}{BH_{BR}}$$

$$C_{ALF} = \varepsilon_{10} + \varepsilon_{11}\frac{A_{OD}}{A_{YV}} + \varepsilon_{12}\frac{B}{L_{OA}}$$

$$\boldsymbol{FOR\ 90 \le \Psi_{WR} \le 180(deg)} \quad (۱۳)$$

$$C_{LF} = \beta_{20} + \beta_{21}\frac{B}{L_{OA}} + \beta_{22}\frac{H_C}{L_{OA}} + \beta_{23}\frac{A_{OD}}{{L_{OA}}^2} + \beta_{24}\frac{A_{XV}}{B^2}$$

$$C_{XLI} = \delta_{20} + \delta_{21}\frac{A_{YV}}{L_{OA}H_{BR}} + \delta_{22}\frac{A_{XV}}{A_{YV}} + \delta_{23}\frac{B}{L_{OA}} + \delta_{24}\frac{A_{XV}}{BH_{BR}}$$

$$C_{ALF} = \varepsilon_{20} + \varepsilon_{21}\frac{A_{OD}}{A_{YV}}$$

$$\boldsymbol{FOR\ \Psi_{WR} = 90(deg)}$$

$$C_{wind} = \frac{1}{2}\left(C_{wind}When(\Psi_{WR} = 90(deg) - \mu) + C_{wind}when(\Psi_{WR} = 90(\deg) + \mu)\right)$$

در معادله بالا $A_{OD}$ سطح جانبی سوپراستراکچر و غیره بر روی عرشه، $A_{XV}$ سطح حداکثر مقطع عرضی در معرض باد، $A_{YV}$ سطح جانبی بالای خط آب، $B$ عرض شناور، $C_{AA}$ ضریب مقاومت باد، $C_{MC}$ فاصله افقی از بخش میانی کشتی تا مرکز سطح پیش‌بینی‌شده جانبی $A_{YV}$، $H_{BR}$ ارتفاع بالای سوپراستراکچر (پل و غیره)، $H_C$ ارتفاع از خط آب تا مرکز سطح پیش‌بینی‌شده جانبی $A_{YV}$، $L_{OA}$ طول کلی، $\mu$ محدوده هموارسازی (به‌طورمعمول ۱۰درجه) و $\Psi_{WR}$ جهت نسبی باد (صفر به معنای بادهای روبرو)

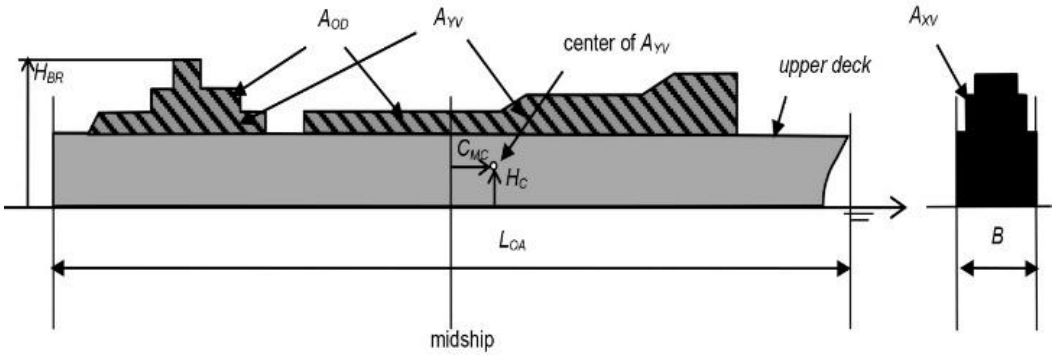
[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

است. پارامترهای بدون بعد $B_{ij}$، $\delta_{ij}$ و $\varepsilon_{ij}$ استفاده‌شده در فرمول در جدول ۴ و سیستم مختصات و قراردادهای علامت و توضیح پارامترهای ورودی در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.

**جدول ۴- پارامترهای بدون بعد فرمول فوجیوارا [۲۳]**

| | J | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ۰ | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
| $\beta_{ij}$ | ۰.۹۲۲ | -۰.۵۰۷ | -۱.۱۶۲ | - | - |
| | ۰.۰۱۸ | ۵.۰۹۱ | -۱۰.۳۶۷ | ۳.۰۱۱ | ۰.۳۴۱ |
| $\delta_{ij}$ | ۰.۴۵۸ | -۳.۲۴۵ | ۲.۳۱۳ | - | - |
| | ۱.۹۰۱ | -۱۲.۷۲۷ | -۲۴.۴۰۷ | ۴۰.۳۱۰ | ۵.۴۸۱ |
| $\varepsilon_{ij}$ | ۰.۵۸۵ | ۰.۹۰۶ | -۳.۲۳۹ | - | - |
| | ۰.۳۱۴ | ۱.۱۱۷ | - | - | - |




**شکل ۴- پارامترهای ورودی برای فرمول رگرسیون توسط فوجیوارا [۲۳].**

### ۳-۴-۲-۳ معادله بلندرمن (۱۹۹۵) [۲۴] برای محاسبه ضریب مقاومت باد

فرمول دیگر برای محاسبه ضریب درگ باد توسط بلندرمن (۱۹۹۵) ارائه شده است [۲۴]:

$$C_{wind}(\gamma_\omega) = -CD_I \frac{A_{L\omega}}{A_{F\omega}} \frac{COS(\gamma_\omega)}{1-\frac{\delta}{2}\left(1-\frac{CD_l}{CD_t}\right)SIN^2(2\gamma_\omega)} \qquad (۱۴)$$

$$CD_I = CD_{lAF}(\gamma_\omega)\frac{A_{F\omega}}{A_{L\omega}}$$

در معادله بالا γw زاویه برخورد بین جهت حرکت شناور و باد (با استفاده از رابطه ۲) ، $A_{F\omega}$ سطح حداکثر مقطع عرضی در معرض باد و $A_{L\omega}$ سطح جانبی بالای خط آب می‌باشد. برای تعیین پارامترهای بدون بعد استفاده شده در فرمول ۷ به بلندرمن (۱۹۹۵) [۲۴] مراجعه شود.

## ۴-یافته‌ها و نتایج

### ۴-۱ مقایسه روش‌های مولاند و لین با استفاده از ضرایب درگ ایشروود (مقایسه اجرای اول و دوم در جدول ۳)

**الف- حالت باد از سینه:**

با مقایسه تغییرات سرعت در شکل ۵ در حالت باد از سینه در هر دو معادله افت سرعت مشاهده می شود و در مقادیر باد بالای ۲۰ متر بر ثانیه میزان افت سرعت بیش از دو برابر می‌شود. فرمول مولاند در مقایسه با فرمول لین افت سرعت بیشتری را نشان می‌دهد. فرمول مولاند و لین در باد ۳۰ متر بر ثانیه مقدار افت سرعت به ترتیب ۷/۴ و ۵/۸۸ متر را نشان می دهند.

**ب-باد از پهلو:**

در حالت وزش باد از پهلو در هر دو معادله شاهد افت سرعت به مقدار اندکی می‌باشیم. فرمول مولاند در مقایسه با فرمول لین افت سرعت بیشتری را نشان می‌دهد. فرمول مولاند و لین در این حالت در باد ۳۰ متر بر ثانیه مقدار افت سرعت به ترتیب ۱/۰۹ و ۰/۷۴ متر را نشان می دهند.

**پ-باد از پاشنه:**

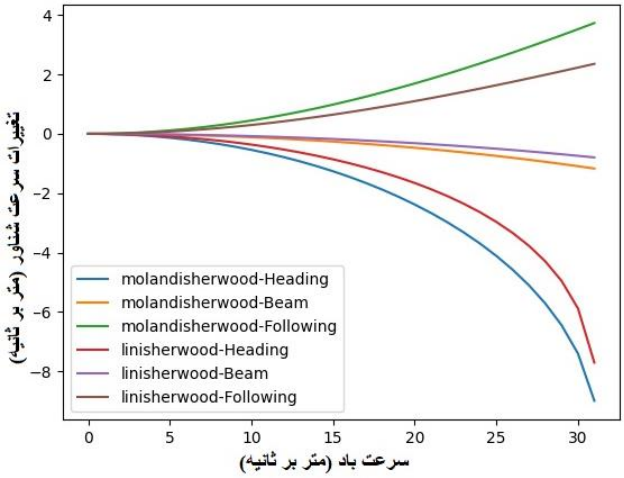
در حالت وزش باد از پاشنه در هر دو معادله افزایش سرعت را شاهد هستیم که در مقادیر بالای باد با اختلاف تقریباً ۱ متر بر ثانیه می‌باشد. فرمول مولاند در مقایسه با فرمول لین افزایش سرعت بیشتری را نشان می‌دهد.



[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

نکته قابل توجه این است که کاهش سرعت شناور در حالت باد از سینه تقریبا دو برابر افزایش سرعت شناور در حالت باد از پاشنه می باشد. فرمول مولاند و لین در باد ۳۰ متر بر ثانیه مقدار افزایش سرعت به ترتیب ۳/۵۲ و ۲/۲۳ متر را نشان می‌دهند.




**شکل ۵- روش مولاند و لین با استفاده از ضرایب درگ ایشروود در حالت باد از سینه، پهلو و پاشنه**

## ۴-۲- مقایسه روش‌های مولاند و لین با استفاده از ضرایب درگ فوجی‌وارا (مقایسه اجرای سوم و چهارم در جدول ۳)

**الف- حالت باد از سینه:**

با مقایسه تغییرات سرعت در شکل ۶ در حالت باد از سینه در هر دو معادله افت سرعت با اختلاف تقریباً ۱ متر بر ثانیه در مقادیر بالای باد مشاهده می شود. فرمول مولاند و لین در باد ۳۰ متر بر ثانیه مقدار افت سرعت به ترتیب ۴/۰۱ و ۲/۵۳ متر را نشان می‌دهند.

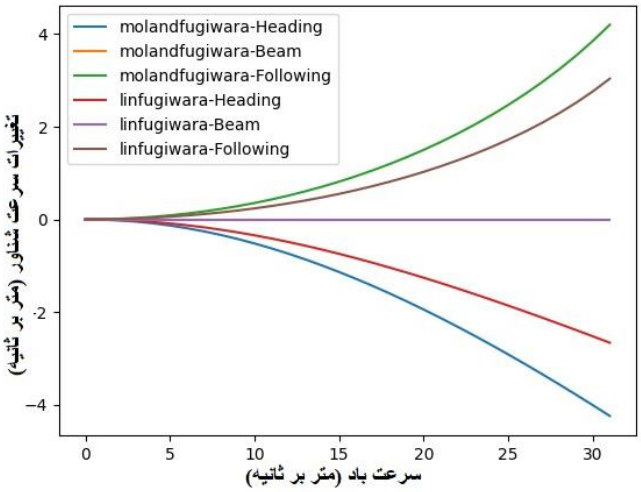
**ب- باد از پهلو:**

در حالت وزش باد از پهلو با استفاده از ضرایب فوجیوارا ما شاهد هیچ‌گونه تغییری در سرعت نیستیم که این می‌تواند از نقایص این معادله به‌حساب آید.

**پ- باد از پاشنه:**

در حالت وزش باد از پاشنه در هر دو معادله افزایش سرعت را شاهد هستیم.

افزایش و کاهش سرعت فرمول مولاند بیشتر از لین می باشد. در این مقایسه کاهش سرعت شناور در حالت باد از سینه تقریبا به اندازه افزایش سرعت شناور در حالت باد از پاشنه می‌باشد. فرمول مولاند و لین در باد ۳۰ متر بر ثانیه مقدار افزایش سرعت به ترتیب ۳/۸۵ و ۲/۷۶ متر را نشان می‌دهند.




**شکل ۶- روش مولاند و لین با استفاده از ضرایب درگ فوجیوارا در حالت باد از سینه، پهلو و پاشنه**

## ۴-۳- مقایسه روش‌های مولاند و لین با استفاده از ضرایب درگ بلندرمن (مقایسه اجرای پنجم و ششم در جدول ۳)

**الف- حالت باد از سینه:**

با مقایسه تغییرات سرعت در شکل ۷ در حالت باد از سینه در هر دو معادله افت سرعت با اختلاف تقریباً ۱ متر بر ثانیه در مقادیر بالای باد مشاهده می‌شود. فرمول مولاند و لین در باد ۳۰ متر بر ثانیه مقدار افت سرعت به ترتیب ۴/۴۹ و ۳/۲۷ متر را نشان می‌دهند.

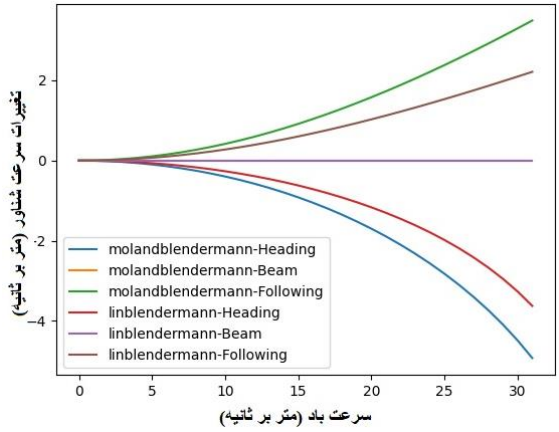
**ب- باد از پهلو:**

در حالت وزش باد از پهلو با استفاده از ضرایب بلندرمن همانند ضریب فوجیوارا ما شاهد هیچ‌گونه تغییری در سرعت نیستیم که این می‌تواند از نقایص این معادله به‌حساب آید.

**پ- باد از پاشنه:**

در حالت وزش باد از پاشنه در هر دو معادله افزایش سرعت با اختلاف تقریباً ۱ متر بر ثانیه را شاهد هستیم.

در این مقایسه کاهش سرعت شناور در حالت باد از سینه بیشتر از افزایش سرعت شناور در حالت باد از پاشنه می‌باشد.



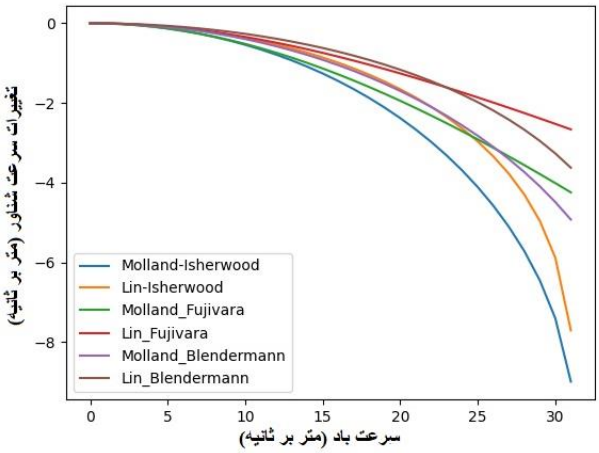

**شکل ۷- روش مولاند و لین با استفاده از ضرایب درگ بلندرمن در حالت باد از سینه، پهلو و پاشنه**

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

**۴-۴- مقایسه ضرایب مقاومت باد ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن در حالت باد (000 یا $360^{\circ}$) در دو معادله مولاند و لین:**

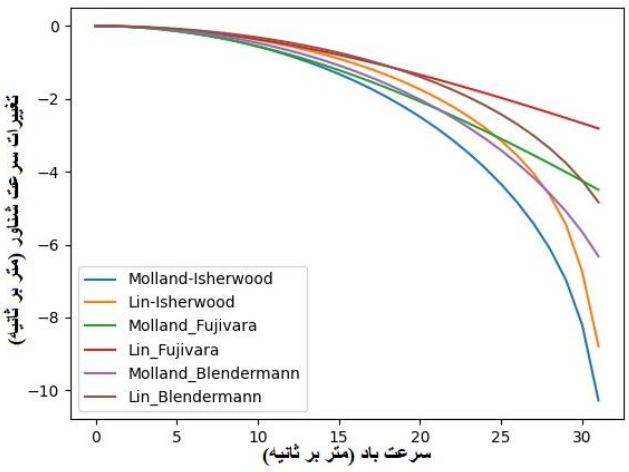
با مقایسه تغییرات سرعت در شکل ۸ در حالت باد از سینه در هر دو معادله با استفاده از ضرایب ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن شاهد افت سرعت واحد شناور می‌باشیم که این افت سرعت در حالت استفاده از ضرایب ایشروود در مقادیر بالای باد به میزان بسیار بیشتری نسبت ضرایب فوجیوارا و بلندرمن می‌باشد.




**شکل ۸- جهت وزش باد از سمت سینه (000 یا $360^{\circ}$))**

**۴-۲-۴- مقایسه ضرایب مقاومت باد ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن در حالت باد ($30^{\circ}$) در دو معادله مولاند و لین:**

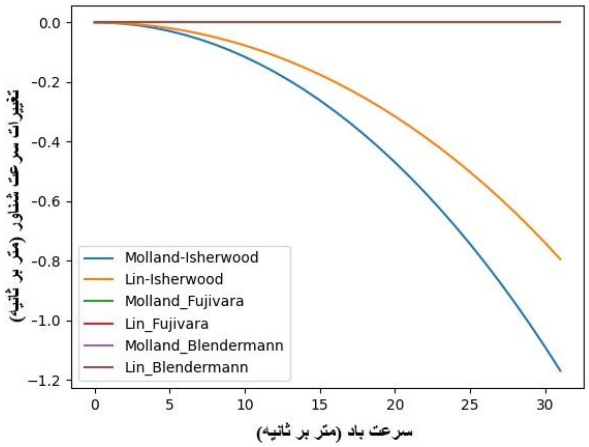
با مقایسه تغییرات سرعت در شکل ۹ در حالت باد از سمت ($030^{\circ}$) در هر دو معادله با استفاده از ضرایب ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن شاهد افت سرعت واحد شناور می‌باشیم که این افت سرعت در مقایسه با حالت باد از سینه دارای مقادیر بالاتری می‌باشد که این می‌تواند به دلیل مساحت بیشتر در معرض وزش باد باشد.




**شکل ۹-جهت وزش باد از سمت ($030^{\circ}$)**

**۴-۲-۳- مقایسه ضرایب مقاومت باد ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن در حالت باد ($90^{\circ}$) در دو معادله مولاند و لین:**

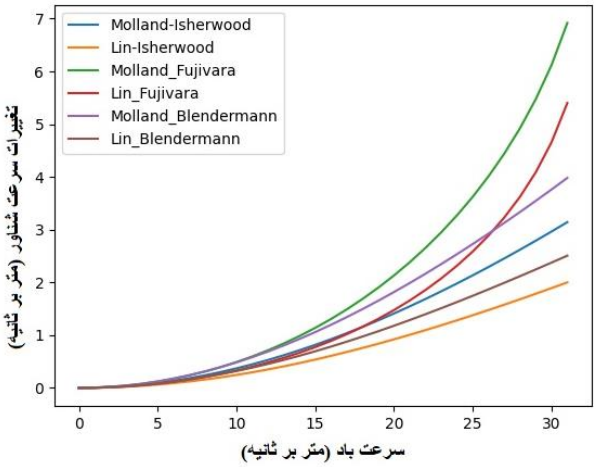
با مقایسه تغییرات سرعت در شکل ۱۰ در حالت قرار گرفتن واحد شناور در معرض باد از سمت پهلو در معادلات با استفاده از ضرایب فوجیوارا و بلندرمن شاهد هیچ‌گونه تغییری در سرعت واحد شناور نمی‌باشیم این در صورتی می‌باشد که در حالت استفاده از ضرایب ایشروود شاهد افت سرعت در هر دو معادله می‌باشیم.




**شکل ۱۰-جهت وزش باد از سمت پهلو ($090^{\circ}$)**

**۴-۲-۴- مقایسه ضرایب مقاومت باد ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن در حالت باد ($150^{\circ}$) در دو معادله مولاند و لین:**

با مقایسه تغییرات سرعت در شکل ۱۱ در حالت باد از سمت ($150^{\circ}$) در هر دو معادله با استفاده از ضرایب ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن شاهد افزایش سرعت واحد شناور می‌باشیم که این افزایش سرعت در معادله مولاند با استفاده از ضریب فوجیوارا از سایر حالت‌ها بیشتر می‌باشد ضمناً این افزایش سرعت در هر دو معادله در مقایسه باحالت باد از پاشنه دارای مقادیر بالاتری می‌باشد که این می‌تواند به دلیل مساحت بیشتر در معرض وزش باد باشد.




**شکل ۱۱-جهت وزش باد از سمت ($150^{\circ}$)**

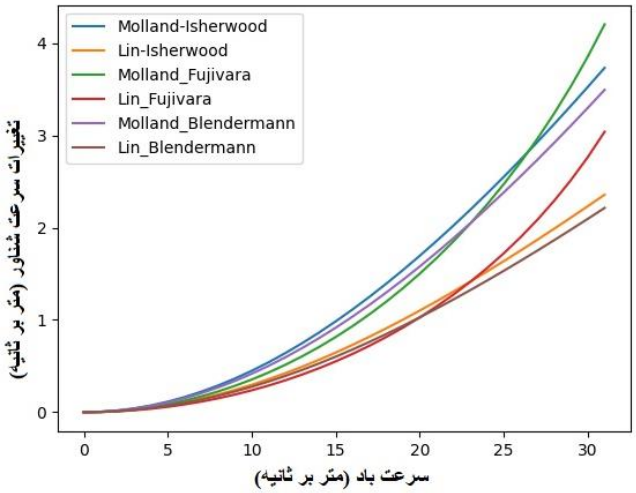


[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

### ۵-۲-۴- مقایسه ضرایب مقاومت باد ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن در حالت باد ($180^{\circ}$) در دو معادله مولاند و لین:

با مقایسه تغییرات سرعت در شکل ۱۲ در حالت باد از پاشنه در هر دو معادله با استفاده از ضرایب ایشروود، فوجیوارا و بلندرمن شاهد افزایش سرعت واحد شناور می‌باشیم که این افزایش سرعت در معادله مولاند با استفاده از ضریب فوجیوارا بیشتر از سایر حالت‌ها می‌باشد.




**شکل ۱۲-جهت وزش باد از سمت پاشنه ($180^{\circ}$)**

## ۵ – نتیجه‌گیری

در نرم‌افزار مسیریابی آب و هوایی تعیین سرعت شناور در وضعیت جوی ناآرام بسیار مهم می‌باشد. امواج، باد و جریان پارمترهایی هستند که بر سرعت شناور تاثیرگذار می‌باشند. معادلات مختلفی برای تعیین سرعت شناور تحت تاثیر امواج، باد و جریان ارائه شدند اما پژوهشی که این معادلات را با هم مقایسه و ارزیابی کند تا کنون انجام نگرفته است. در این پژوهش به ارزیابی معادلات تعیین سرعت شناور تحت تاثیر باد پرداخته شد. معادله مولاند و معادله لین به عنوان معادلات اصلی در نظر گرفته شدند. هر کدام از این معادلات به ضریب مقاومت باد وابسته هستند. برای ضریب مقامت باد هم سه معادله با اسامی ایشروود، بلندرمن و فوجیوارا در نظر گرفته شد. در نهایت شش روش مولاند-ایشروود، لین-ایشروود، مولاند-فوجیوارا، لین- فوجیوارا، مولاند-بلندرمن و لین-بلندرمن برای حالت‌های باد از سمت سینه، زاویه ۳۰ درجه، ۹۰ درجه، ۱۵۰درجه و پاشنه با سرعت باد تا ۳۰ متر بر ثانیه ارزیابی گردیدند که نتایج کلی در جدول ۵ نشان داده شدند.

هر شش روش برای حالت‌های باد از سمت سینه و زاویه ۳۰ درجه کاهش سرعت شناور را نشان دادند. موقعی که از ضریب مقاومت باد فوجیوارا استفاده می‌شد برای حالت باد از زاویه ۹۰ درجه تغییری در سرعت شناور مشاهده نمی‌شد. هر شش روش برای حالت‌های باد از سمت پاشنه و زاویه ۱۵۰ درجه افزایش سرعت شناور را نشان می‌دادند. نتایج نشان می‌داد کاهش سرعت شناور در مقایسه با افزایش سرعت شناور مقدارهای بیشتری می‌باشد. بیشترین کاهش سرعت مربوط می‌شود به روش مولاند-ایشروود به اندازه ۸/۲۱ متر بر ثانیه هنگامی که باد با زاویه ۳۰ درجه به شناور می‌وزد.

در این پژوهش انواع روش‌های تغییرات سرعت شناور تحت تاثیر باد با همدیگر مقایسه شدند و امکان مقایسه با داده‌های میدانی وجود نداشت. نویسندگان قصد دارند در آینده در صورت فراهم بودن شرایط از داده‌های میدانی جهت اعتبارسنجی استفاده کنند.

**جدول ۵: تغییرات سرعت برای کلیه اجراهای صورت گرفته در این پژوهش**

| لین-بلندرمن | مولاند-بلندرمن | لین-فوجیوارا | مولاند-فوجیوارا | لین-ایشروود | مولاند-ایشروود | زاویه باد و سینه شناور | سرعت باد (متر بر ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تغییرات سرعت شناور (متر بر ثانیه) | | | | | | | |
| -۰/۶۲ | -۰/۹۱ | -۰/۷۴ | -۱/۱۴ | -۰/۸۶ | -۱/۲۶ | $000^{\circ}$ | ۱۵ |
| -۱/۱۷ | -۱/۷ | -۱/۲۶ | -۱/۹۵ | -۱/۶۶ | -۲/۳۸ | $000^{\circ}$ | ۲۰ |
| -۱/۹۷ | -۲/۸۲ | -۱/۸۶ | -۲/۹۲ | -۲/۹۷ | -۴/۱۱ | $000^{\circ}$ | ۲۵ |
| -۳/۲۷ | -۴/۴۹ | -۲/۵۳ | -۴/۰۱ | -۵/۸۸ | -۷/۴ | $000^{\circ}$ | ۳۰ |
| -۰/۷۳ | -۱/۰۸ | -۰/۷۹ | -۱/۲۱ | -۰/۹ | -۱/۳۱ | $030^{\circ}$ | ۱۵ |
| -۱/۴ | -۲/۰۲ | -۱/۳۴ | -۲/۰۷ | -۱/۷۴ | -۲/۴۹ | $030^{\circ}$ | ۲۰ |
| -۲/۴۳ | -۳/۴۱ | -۱/۹۷ | -۳/۱ | -۳/۱۵ | -۴/۳۴ | $030^{\circ}$ | ۲۵ |
| -۴/۲۵ | -۵/۶۶ | -۲/۶۷ | -۴/۲۵ | -۶/۷۵ | -۸/۲۱ | $030^{\circ}$ | ۳۰ |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | -۰/۱۸ | -۰/۲۶ | $090^{\circ}$ | ۱۵ |

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

| ۲۰ | 090° | −۰/۴۷ | −۰/۳۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۵ | 090° | −۰/۷۵ | −۰/۵۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۳۰ | 090° | −۱/۰۹ | −۰/۷۴ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۵ | 150° | +۰/۸۲ | +۰/۵۴ | +۱/۱۴ | +۰/۷۷ | +۱/۰۶ | +۰/۶۹ |
| ۲۰ | 150° | +۱/۴۱ | +۰/۹۲ | +۲/۱۳ | +۱/۴۸ | +۱/۸۲ | +۱/۱۸ |
| ۲۵ | 150° | +۲/۱۳ | +۱/۳۸ | +۳/۶۲ | +۲/۵۹ | +۲/۷۳ | +۱/۷۵ |
| ۳۰ | 150° | +۲/۹۶ | +۱/۸۹ | +۶/۱۲ | +۴/۶۶ | +۳/۷۶ | +۲/۳۸ |
| ۱۵ | 180° | +۰/۹۹ | +۰/۶۵ | +۰/۸۱ | +۰/۵۵ | +۰/۹۲ | +۰/۶ |
| ۲۰ | 180° | +۱/۷ | +۱/۱ | +۱/۵ | +۱/۰۳ | +۱/۵۸ | +۱/۰۳ |
| ۲۵ | 180° | +۲/۵۵ | +۱/۶۴ | +۲/۴۷ | +۱/۷۲ | +۲/۳۸ | +۱/۵۳ |
| ۳۰ | 180° | +۳/۵۲ | +۲/۲۳ | +۳/۸۵ | +۲/۷۶ | +۳/۳ | +۲/۱ |


## تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از داوران و ویراستاران محترم نشریه مهندسی دریا که در بهبود کیفیت مقاله کمک شایانی داشته‌اند، کمال تقدیر و تشکر داریم.


## ۶ - مراجع


1- Samdaliri, H., Mohammad Mahdizade, M., alimohammadi, M., & mohamadi, A. (2023). *Evaluation of influential factors in weather routing from the two dimensions of safety and economic savings*. Iranian journal of Marine technology, 10(3), 97-115. doi: 10.22034/ijmt.2023.544171.1818 (In Persian)

2- Zhou, P., Zhou, Z., Wang, Y., & Wang, H. (2023). *Ship weather routing based on hybrid genetic algorithm under complicated sea conditions*. Journal of Ocean University of China, 22(1), 28-42.

3- Kytariolou, A., & Themelis, N. (2023, March). *An Investigation on the Effect of Sea Currents on Weather Routing Optimisation.* In SNAME International Symposium on Ship Operations, Management and Economics (p. D021S007R006). SNAME.

4- Ksciuk, J., Kuhlemann, S., Tierney, K., & Koberstein, A. (2023). *Uncertainty in maritime ship routing and scheduling:* A Literature review. European Journal of Operational Research, 308(2), 499-524.

5- Bahrami, N., & Siadatmousavi, S. M. (2024). *Ship voyage optimisation considering environmental forces using the iterative Dijkstra's algorithm*. Ships and Offshore Structures, 19(8), 1173-1180.

6- Grifoll, M., Borén, C., & Castells-Sanabra, M. (2022). *A comprehensive ship weather routing system using CMEMS products and A* algorithm.* Ocean Engineering, 255, 111427.

7- Guo, Z., Hong, M., Zhang, Y., Shi, J., Qian, L., & Li, H. (2024). *Research on safety evaluation and weather routing optimization of ship based on roll dynamics and improved A* algorithm*. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 100605.

8- Ma, D., Zhou, S., Han, Y., Ma, W., & Huang, H. (2024). *Multi-objective ship weather routing method based on the improved NSGA-III algorithm*. Journal of Industrial Information Integration, 38, 100570.

9- Mannarini, G., Salinas, M. L., Carelli, L., Petacco, N., & Orović, J. (2024). *VISIR-2: ship weather routing in Python.* Geoscientific Model Development, 17(10), 4355-4382.

10- Balas, M., Prpić-Oršić, J., & Valčić, M. (2024). *Emerging Stochastic Methods for Weather-Aware Ship Routing*. In Theory and Practice of Shipbuilding (pp. 289-297). IOS Press.

11- YJ, K. (2008). *Speed loss due to added resistance in wind and waves.* Nav Archit, 3, 14-16.

12- Panigrahi, J. K., Padhy, C. P., Sen, D., Swain, J., & Larsen, O. (2012). Optimal ship tracking on a


[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]

navigation route between two ports: a hydrodynamics approach. Journal of marine science and technology, 17, 59-67.

13- Cai, Y., Wen, Y., & Wu, L. (2014). *Ship route design for avoiding heavy weather and sea conditions.* TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 8.

14- Molland, A. F. (2017). *Ship resistance and propulsion.* Cambridge university press.

15- Alimohammadi, M. , Karimpoor, H. , Samdaliri, H. and Mohammad Mahdizadeh, M. (2023). *Studying the methods of predicting changes in ship speed when encountering waves*. Hydrophysics, 8(2), 145-158. (In Persian)

16- Townsin, R. L., & Kwon, Y. J. (1993). *Estimating the influence of weather on ship performance*.

17- Windeck, V., & Windeck, V. (2013). *Environmental routing.* A Liner Shipping Network Design: Routing and Scheduling Considering Environmental Influences, 39-78.

18- Lin, Y. H., Fang, M. C., & Yeung, R. W. (2013). *The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements*. Applied Ocean Research, 43, 184-194.

19- Hagiwara, H. (1989). *Weather routing of (sail-assisted) motor vessels* (Doctoral dissertation, Technische Universiteit Delft).

20- Eskild, H. (2014). *Development of a method for weather routing of ships* (Master's thesis, Institutt for marin teknikk).

21- Kristensen, H. O., & Lützen, M. (2012). *Prediction of resistance and propulsion power of ships*. Clean Shipping Currents, 1(6), 1-52.

22- Isherwood, R. M. (1973). *Wind resistance of merchant ships*. Trans. RINA, 115, 327-338.

23- Fujiwara, T. (2006). *A new estimation method of wind forces and moments acting on ships on the basis of physical components models*. Journal of the Japan society of naval architects and ocean engineers, 2, 243-255.

24- Blendermann, W. *Estimation of wind loads on ships in wind with a strong gradient*. in OMAE. 1995.

[ Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24 ]

[ DOI: 10.61882/marineeng.21.46.3 ]