

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1401.8.2.4.4](https://doi.org/10.1001.1.24767131.1401.8.2.4.4)

درصد همانندی: ۲٪

ارزیابی روش‌های پیش‌بینی تغییرات سرعت شناور در هنگام مواجهه با امواج

مهیار علی محمدی^{۱*}، حسین کریم پور^۲، حامد سام دلیری^۳، محمد مهدی مهدیزاده^۴

^۱ نویسنده مسئول، استادیار علوم جوی و اقیانوسی دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر، ایران

mhyar_alimohammadi@yahoo.com

^۲ کارشناس ارشد مدیریت علوم ناوربری دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)، نوشهر، ایران

hosseinkarimpour1372@gmail.com

^۳ دانشجوی دکتری فیزیک دریا دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

sam_daliri110@yahoo.com

^۴ دانشیار گروه غیر زیستی، جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

mehdizadeh@hormozgan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷

چکیده

در نرم‌افزار مسیریابی دریایی تعیین سرعت شناور در وضعیت جوی ناآرام بسیار مهم است. این مطالعه، شش روش تعیین میزان اتلاف سرعت کشتی‌ها در اثر برخورد با امواج را در محیط برنامه‌نویسی پایتون اجرا کرده است و درصد این است تا مناسب‌ترین پارامتربندی برای به کارگیری در الگوریتم مسیریابی آب و هوایی شناسایی شود. شش متدولوژی عبارت‌اند از: روش‌های بودویچ، آرتسن، کون، تسو-چنگ، ونگ - شا و لیو؛ که به منظور تکمیل این تحلیل و مقایسه روش‌های بررسی، ویژگی‌های مربوط به وضعیت دریانوردی مانند بزرگی ارتفاع یا جهت امواج و همین‌طور مختصات ذاتی کشتی مورد تحلیل قرار می‌گیرند. با به حساب آوردن شرایط مختلف دریانوردی و تطابق آن‌ها بر شناور انتخاب شده اثر اتلاف سرعت کشتی به علت وجود امواج از طریق اجرای شش روش پیش‌گفته بررسی می‌شود. در پایان، از نتایج به دست آمده تعیین شد که روش آرتسن و ونگ - شا بهترین پارامتربندی را در خصوص اتلاف و کاهش سرعت ارائه داده و نیز مشخص شد چه اختلاف‌هایی بین این روش‌ها با سایر روش‌ها در زمانی که بر یک شناور اعمال می‌شوند وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: امواج، باد، تغییرات سرعت، مسیریابی

۱. مقدمه

تقریباً نود درصد تجارت دنیا از راه کشتی‌ها و دریا انجام می‌شود. برای بخش عظیمی از این دادوستدها، تقریباً هیچ جایگزین دیگری وجود نداشته یا اینکه بسیار کم هستند [۱]. این مسئله باعث افزایش حجم و ظرفیت کشتی‌ها شد. گذشته از آن، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی‌ها بسیار فشرده‌تر شد و در عین حال نیاز به ترسیم مسیر دریانوردی کشتی‌ها و نقش پیش‌بینی آب‌وهوا در تعیین مسیر برجسته‌تر شد. مسیریابی دریانوردی راهی را برای جابه‌جایی از مبدأ به مقصد معین می‌کند.

زمانی که یک مسیر برنامه‌ریزی می‌شود، در همه انواع حمل‌ونقل، یکی از جنبه‌هایی که بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد، مدت‌زمان آن مسیر است و دنیای تجارت دریایی نیز از این قاعده مستثنا نیست. به همین دلیل است که امروزه کشتی‌ها به کاوشگرها، رادارها و سیستم‌های محاسبه مسیر بهینه مجهز شده‌اند تا در کمترین زمان و مصرف سوخت از نقطه شروع "A" به نقطه ورود "B" برسند.

بدین ترتیب مسئله ترسیم یک مسیر ایمن و اقتصادی، نکته‌ای کلیدی در طراحی مسیریابی آب و هوایی است. از جدیدترین مطالعات در خصوص مسیریابی دریایی می‌توان به زو و همکاران، کایتروالی و سیمیلیس، کسویک و همکاران [۲-۴] اشاره کرد.

مسیریابی دریانوردی شامل مراحل زیر است:

۱. فراهم نمودن داده‌های پیش‌بینی وضعیت جوی؛

۲. تولید شبکه با مبنای قرارداد مسیر دایره عظیمه (هر خطی که دو نقطه 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 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. در نظر گرفتن قیود ایمنی شناور؛

۶. جستجوی کوتاه‌ترین مسیر با در نظر گرفتن سرعت شناور به‌دست آمده در مرحله چهارم.

در این پژوهش تمرکز بر مرحله چهارم مسیریابی دریانوردی است. امواج دریایی 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. در واقع می‌توان گفت یکی از مباحث مهم در مسیریابی دریایی، محاسبه کاهش سرعت شناور در اثر برخورد با امواج (مقاومت اضافه‌شده) است. از این رو روش‌های مختلفی برای محاسبه آن ارائه شده است که می‌توان به‌عنوان مثال به کوون، پانیگرافی و همکاران، بودویچ، مولاند و همکاران، لین و همکاران، آرتسن، تسو و چنگ، لیو و همکاران، ونگ و شا، والتر و همکاران، الکساندرسون، گریفلو و همکاران، ژائو و همکاران، پنینو و همکاران، کیم و همکاران و تیلینگ و همکاران [۵-۲۰] اشاره کرد. جریانات اقیانوسی و باد بر راه و سرعت کشتی تأثیر می‌گذارند. جریانات با توجه به جهت برخورد با کشتی می‌توانند باعث افزایش یا کاهش سرعت شناور شوند. جریانات که به پاشنه شناور برخورد می‌کنند باعث افزایش سرعت شناور می‌شوند [۱]. در نرم‌افزار مسیریابی دریایی تعیین سرعت شناور در وضعیت جوی ناآرام بسیار مهم است و حتی در مقاله‌های خارجی هیچ اشاره‌ای به انواع روش‌های ارائه‌شده و برتری آن‌ها نسبت به همدیگر نشده است که در این مطالعه به آن پرداخته می‌شود. بنابراین؛ این پژوهش درصدد این است که فرمول مناسب برای محاسبه سرعت شناور تحت تأثیر وضعیت جوی و به‌طور خاص تعیین فرمول مناسب پیش‌بینی تغییرات سرعت شناور در مواجهه با امواج برای به‌کارگیری در الگوریتم مسیریابی آب و هوایی را به دست آورد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. آثار عوامل محیطی در رسم مسیر دریانوردی

عوامل محیطی مهم در رسم مسیر دریانوردی، عوامل جوئی 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.

۲-۱-۱. تأثیرات باد

تعیین اثر وزش باد بر عملکرد کشتی دشوار است. بادهای تشکیل امواج سهم هستند و درعین حال به‌عنوان مقاومت باد، نیرویی را بر شناور وارد می‌کنند. مقاومت باد بر تمامی سطوح بالای خط آبخور کشتی از جمله بار کشتی هنگامی که 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 (از جمله

بار، پل، تجهیزات) است. به‌طور عادی باد در حدود دو درصد کل مقاومت را تشکیل می‌دهد، البته به‌استثنای کشتی‌های کانتینر که به علت وجود سطح وسیع متقاطع کشتی (به علت وجود کانتینرهای موجود)، این سهم به ده درصد می‌رسد.

در زمان مواجهه با بادهای خفیف (کمتر از ۲۰ گره)، اغلب، در صورتی که باد دقیقاً از سینه کشتی بوزد مقدار کاهش سرعت کشتی یا در صورتی که 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 گفته‌شده کاهش می‌یابد. این به دلیل افزایش تلاطم امواج است که موجب کشیده شدن و انحراف بیشتری از تصحیحات سکان در امواج از پاشنه (همسو با راه کشتی) می‌شود و نشان‌دهنده اهمیت وضعیت دریا در عملکرد کشتی است.

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

جدول ۱. عدد بوفورت مربوط به سرعت باد و جهت موج

ارتفاع تقریبی موج به متر	بازه سرعت		وضعیت دریا	عدد بوفورت
	متر بر ثانیه (m/s)	گره دریایی (knot)		
-	۰/۳	۱	آرام (Calm)	۰
-	۰/۳ - ۱/۵	۱ - ۳	نسیم دریایی (Light Air)	۱
۰	۱/۶ - ۳/۳	۴ - ۶	نسیم ملایم (Light Breeze)	۲
۱/۲	۳/۴ - ۵/۴	۷ - ۱۰	باد آرام (Gentle Breeze)	۳
۲	۵/۵ - ۷/۹	۱۱ - ۱۶	باد متوسط (Moderate Breeze)	۴
۳/۱	۸ - ۱۰/۷	۱۷ - ۲۱	باد نسبتاً تند (Fresh Breeze)	۵
۴	۱۰/۸ - ۱۳/۸	۲۲ - ۲۷	باد تند (Strong Breeze)	۶
۵/۵	۱۳/۹ - ۱۷/۱	۲۸ - ۳۳	باد طوفانی (Near Gale)	۷
۷/۱	۱۷/۲ - ۲۰/۷	۳۴ - ۴۰	تندباد (Gale)	۸
۹/۱	۲۰/۸ - ۲۴/۴	۴۱ - ۴۷	تندباد قوی (Strong Gale)	۹
۱۱/۳	۲۴/۵ - ۲۸/۴	۴۸ - ۵۵	طوفان (Storm)	۱۰
۱۳/۲	۲۸/۵ - ۳۲/۶	۵۶ - ۶۳	طوفان سهمناک (Violent Storm)	۱۱
-	بالاتر از ۳۲/۷	بالاتر از ۶۴	طوفان دریایی همراه گردباد (Hurricane)	۱۲

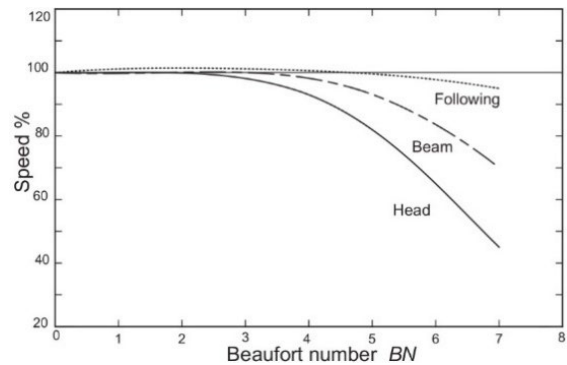
موج شبیه همان تناسب با وزش باد است. در زمان وجود امواج بلند، تخمین دقیق عملکرد، به دلیل تصحیح‌ها و تغییرات راه کشتی که به منظور هدایت بهتر و راحتی (کمتر تکان خوردن در دریا) اعمال می‌شود، آسان نیست. اگرچه اثر موج برخاسته از وزش باد و موج مرده بر شناورهای تجاری بزرگ بسیار بیشتر از اثر وزش صرف باد (بدون وجود موج بلند) است، با این حال تفکیک این دو اثر از هم در مسیر دریانوردی دشوار است. موج در مقایسه با باد بیشترین تأثیر را بر سرعت شناور دارد و فرمول‌های متفاوتی برای محاسبه مقاومت موج ارائه شده است که به عنوان یک موضوع جداگانه این فرمول‌ها در یک پژوهش دیگر موازی با این پژوهش ارائه و باهم مقایسه می‌شوند.

۲-۱-۳. اثر جریان

جریان‌ات اقیانوسی برای مسیرهای دریانوردی مشکل خیلی بزرگی ایجاد نمی‌کنند، اما می‌توانند عامل تعیین‌کننده‌ای در انتخاب مسیر و انحراف از آن باشند. این نکته به‌ویژه در مقاطعی که مبدأ و مقصد در عرض‌های جغرافیایی نسبتاً پایین قرار دارند صدق می‌کند. از موارد مهمی که بایستی ارزیابی شوند؛ محاسبه اختلاف فاصله بین یک مسیر دایره عظیمه و یک مسیر انتخابی است که اثر جریان در آن تصحیح داده‌شده، افزایش سرعت پیشروی (SOA) حاصل از همسویی جریان مورد انتظار بوده و احتمال انحراف ناشی از شرایط جوی و دریا کاهش یافته است.

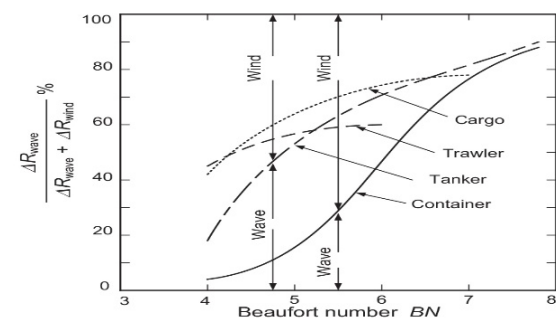
جهت و سرعت جریان‌های اقیانوسی قابل پیش‌بینی تر از وضعیت دریا و باد است، ولی بعضی از متغیرها ممکن است غیرقابل پیش‌بینی شوند. اکثر جریان‌ات اقیانوسی می‌توانند تا چندین روز دستخوش سامانه‌های قوی جوی محلی از جمله هاریکان‌ها و سایر پدیده‌های جهانی مانند ال نینو شوند.

منحنی‌های اتلاف سرعت در اثر امواج و باد، بر اساس BN جدول ۱، به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱. کاهش سرعت حاصل از افزایش عدد بوفورت

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 استخراج شده نتیجه می‌شود که در $BN=4$ ، در حدود ۱۰-۲۰ درصد افزایش قدرت در سرعت ثابت (با توجه به تمامیت بدنه و نوع کشتی) به دلیل برخورد موج است، در حالی که در $BN=7$ ، در حدود ۸۰ درصد به دلیل برخورد موج است (شکل ۲). تعادل به دلیل وجود مقاومت باد است. یک بررسی مفصل درباره برخورد موج و تناسب موج - باد توسط تونسن و همکاران [۲۱] و کوون [۵] انجام شده است.



شکل ۲. تأثیرات موج و باد بر سرعت شناور برای شناورهای مختلف در فورس‌های متفاوت

۲-۱-۲. آثار امواج

ارتفاع موج، عمده‌ترین عامل مؤثر بر عملکرد کشتی است. تلاطم امواج باعث تکانه‌ای کشتی شده که این خود موجب کاهش قدرت پیشرانده پروانه‌ها و انحراف از تصحیحات راه سکان می‌شود. تناسب بین سرعت کشتی با جهت و ارتفاع

۳. تئوری و محاسبات

۳-۱. شناور مورد مطالعه

مشخصات شناور ro-ro انتخاب شده برای انجام مقایسه‌ها و استفاده در فرمول‌های گفته شده در بخش بعد در جدول ۲ به طور کامل بیان شده است.

جدول ۲. مشخصات شناور مورد مطالعه

مشخصه	مقدار	واحد
Length overall	۱۸۰/۶	متر
Beam	۲۲/۹	متر
Depth	۱۴/۱	متر
Displacement	۱۴۳۱۲	تن
Deadweight	۷۵۰۰	تن
Block coefficient (C _b)	۰/۶	
Velocity at 85% of MCR	۱۸	نات
Draught at Forward Perpendicular	۵/۶۹	متر
Draught at After Perpendicular	۵/۹۸	متر
Draught Amidships	۵/۸۳	متر
Wetted area	۴۵۶۹	مترمربع
Transversal metacentric height	۱/۹۲	متر
Longitudinal metacentric height	۴۷۸/۷۳	متر
Lateral projected area of superstructures, deckhouses, etc. on deck (A _{OD})	۴۵۰/۶	مترمربع
Area of maximum transverse section exposed to the winds (A _{XV})	۳۱۵/۸	مترمربع
Projected lateral area above the waterline (A _{YV})	۱۳۳۷	مترمربع
Horizontal distance from midship section to center of lateral projected area A _{YV} (C _{MC})	۰/۹	متر
Height of top of superstructure (navigation bridge, etc.) (h _{BR})	۱۷/۵	متر
Height from waterline to center of lateral projected area A _{YV} (h _c)	۶/۷	متر
Smoothing range; normally 10 (deg) μ	۰	درجه
Relative wind direction; 0 means heading winds (Ψ _{WR})	۱۸۰	درجه

۳-۲. روش‌ها

با استفاده از چند روش می‌توان کاهش سرعت شناور در اثر برخورد با موج را محاسبه کرد که در ادامه به توصیف آن‌ها می‌پردازیم.

۳-۲-۱. روش بودویچ^۱

ساده‌ترین روش تخمین کاهش سرعت ناشی از امواج را بودویچ در سال ۲۰۰۲ پیشنهاد داده است که در آن سرعت نهایی با رابطه زیر به دست می‌آید [۷]:

$$V = V_0 - f(\theta) \cdot H_s^2 \quad (1)$$

که در آن (H_s) نشان‌دهنده ارتفاع موج قابل توجه بر حسب فوت و f(θ) یک تابع پارامتریک بر حسب نات بر فوت مربع است که عملکرد موج نسبی که به کشتی در زاویه (β) برخورد می‌کند را برآورد می‌کند و در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. مقادیر ضریب f در تابع جهت نسبی موج کشتی (θ)

Ship wave relative direction (θ)	Wave direction	f(kn/ft ²)
۰° ≤ θ ≤ ۴۵°	Following seas	۰/۰۰۸۳
۴۵° < θ < ۱۳۵°	Beam seas	۰/۰۱۶۵
۱۳۵° ≤ θ ≤ ۲۲۵°	Head seas	۰/۰۲۴۸
۲۲۵° < θ < ۲۷۰°	Beam seas	۰/۰۱۶۵
۲۷۰° ≤ θ ≤ ۳۶۰°	Following seas	۰/۰۰۸۳

۳-۲-۲. روش لیو^۲

$$V_a = V_0 - (1.08h - 0.126qh + 2.77 * F \cos \alpha)(1 - 2.33 * 10^{-7} W V_0) \quad (2)$$

در معادله بالا V_a سرعت واقعی کشتی بر حسب نات، V₀ سرعت کشتی در دریای آرام بر حسب نات، h ارتفاع موج شاخص بر حسب متر، q زاویه بین سینه کشتی و جهت موج بر حسب رادیان، F سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه، α زاویه بین سینه کشتی و جهت باد بر حسب رادیان و W جابه‌جایی واقعی شناور بر حسب تن می‌باشد [۱۲].

جدول ۴. ضرایب روش آرتسن

عدد		باد مقابل		باد سینه		باد عرضی		باد پاشنه	
بوفورت		n	m	n	m	n	m	n	m
۵	۹۰۰	۲	۷۰۰	۲	۷۰۰	۱	۳۵۰	۱	۱۰۰
۶	۱۳۰۰	۶	۱	۵	۱	۳	۵۰۰	۲	۲۰۰
۷	۲۱۰۰	۱۱	۱۴۰۰	۸	۷۰۰	۵	۴۰۰	۴	۴۰۰
۸	۳۶۰۰	۱۸	۲۳۰۰	۱۲	۱۰۰۰	۷	۷۰۰	۵	۷۰۰

where Head sea = up to 30° off bow; Bow sea = 30°–60° off bow; Beam sea = 60°–150° off bow; Following sea = 150°–180° off bow.

۳-۲-۵. روش ونگ و شا (اصلاح شده روش آرتسن)^۵ [۱۳]

$$100 \frac{\Delta V}{V} = \left(\frac{M}{L} + n \right) K \left(\frac{B}{T} \right) X \quad (5)$$

در رابطه بالا B عرض شناور، T میانگین آبخور شناور و k و X هم به ترتیب برابر (۰/۳۶) و (۱) انتخاب شدند [13].

۳-۲-۶. روش کوون^۶

کوون در سال ۲۰۰۸ از معادله زیر برای تخمین سرعت کشتی در اثر برخورد با امواج استفاده کرده است [۵]:

$$\frac{\Delta V}{V} 100\% = C_{\beta} \cdot C_U \cdot C_{Form} \quad (6)$$

که در آن C_{β} ضریب کاهش جهت سرعت بوده و تابعی از عدد بوفورت (BN) و جهت وزش باد و برخورد موج است. برای محاسبه این ضریب، با تعیین جهت برخورد موج و باد از جدول ۵ کمک گرفته می‌شود.

جدول ۵. نحوه محاسبه ضریب کاهش جهت سرعت (C_{β})

جهت موج و باد	بازه زاویه برخورد موج و باد	ضریب کاهش جهت سرعت (C_{β})
جلو (Head)	۰۰۰	$2C_{\beta} = 2$
مایل (Bow)	۳۰ – ۶۰	$2C_{\beta} = 1.7 - 0.03(BN - 4)^2$
عرضی (Beam)	۶۰ – ۱۵۰	$2C_{\beta} = 0.9 - 0.06(BN - 6)^2$
پاشنه (Following)	۱۵۰ – ۱۸۰	$2C_{\beta} = 0.4 - 0.03(BN - 8)^2$

(CU) ضریب کاهش سرعت و تابعی از وضعیت بارگیری و ضریب گنجایش شناور (BC) و عدد فراد (FN) است. عدد فراد از تقسیم سرعت شناور بر مجذور شتاب جاذبه در طول شناور به دست می‌آید. برای محاسبه این ضریب با توجه به عدد فراد و ضریب گنجایش شناور از جدول ۶ استفاده می‌شود.

۳-۲-۳. روش تسو-چنگ^۳

بعضی از محققان نیز فرمول جدیدی بر اساس نتایج تحقیقاتشان ارائه داده‌اند که به شرح زیر است [۱۱].

$$V = V_0 - (0.745h - 0.257qh)(1.0 - 1.35 \times 10^{-6} DV_0) \quad (3)$$

در این عبارت، V سرعت واقعی در دریاست، V_0 سرعت در دریای آرام، h ارتفاع موج، q زاویه بین هدینگ کشتی و جهت موج و D مقدار آب جابه‌جاشده به خاطر وجود کشتی در آب (به تن) است.

این فرمول برای شناورهای با حجم جابه‌جایی ۵۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ و سرعت شناور ۹ تا ۲۰ نات و ارتفاع موج ۰ تا ۵ متر کاربرد دارد [۱۱]. تحقیقات نشان داده است که وقتی ارتفاع موج بین ۰ تا ۵ متر باشد، تفاوت سرعت محاسبه شده با استفاده از این فرمول و سرعت واقعی کمتر از ۱ مایل دریایی است؛ اما زمانی که ارتفاع موج بین ۵ تا ۸ متر باشد سرعت محاسبه شده کمی بیشتر از سرعت واقعی می‌شود [۱۱].

۳-۲-۴. روش آرتسن^۴

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100\% = \frac{m}{L_{BP}} + n \quad (4)$$

در رابطه بالا L_{BP} طول شناور و m و n پارامترهایی هستند که با سرعت باد و جهت بادها و امواج تغییر می‌کنند. در واقع m و n اعدادی هستند که همراه با عدد بوفورت تغییر می‌کنند اما با نوع کشتی، وضعیت یا خرابی تغییر نمی‌کنند. مقادیر m و n در جدول ۴ نشان داده شده است [۱۰].

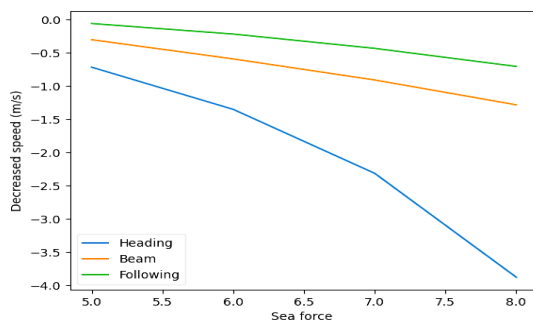
جدول ۶. نحوه محاسبه ضریب کاهش سرعت [۲۲]

ضریب گنجایش	شرایط بارگیری	ضریب کاهش سرعت (C_U)
۰/۵۵	نرمال	$1.7 - 1.4Fn - 7.4(Fn)^2$
۰/۶۰	نرمال	$2.2 - 2.5Fn - 9.7(Fn)^2$
۰/۶۵	نرمال	$2.6 - 3.7Fn - 11.6(Fn)^2$
۰/۷۰	نرمال	$3.1 - 5.3Fn - 12.4(Fn)^2$
۰/۷۵	نرمال یا بارگیری شده	$2.4 - 10.6Fn - 9.5(Fn)^2$
۰/۸۰	نرمال یا بارگیری شده	$2.6 - 13.1Fn - 15.1(Fn)^2$
۰/۸۵	نرمال یا بارگیری شده	$3.1 - 18.7Fn - 28.0(Fn)^2$
۰/۷۵	بالاست	$2.6 - 12.5Fn - 13.5(Fn)^2$
۰/۸۰	بالاست	$3.0 - 16.3Fn - 21.6(Fn)^2$
۰/۸۵	بالاست	$3.4 - 20.9Fn - 31.8(Fn)^2$

همچنین (C_{Form}) ضریب شکل بدنه شناور و تابعی از عدد بوفورت، نوع شناور و حجم جابه‌جایی آن است. با مشخص بودن این سه پارامتر (نوع شناور، عدد بوفورت و حجم جابه‌جایی)، با استفاده از جدول ۷ این ضریب محاسبه می‌شود.

جدول ۷. نحوه محاسبه ضریب شکل شناور

نوع شناور	ضریب شکل شناور (C_{Form})
انواع شناور به جز کانتینر در شرایط بارگیری شده	$0.5BN + BN^{6.5} / (2.7\sqrt{3})^2$
انواع شناور به جز کانتینر در شرایط بالاست	$0.7BN + BN^{6.5} / (2.7\sqrt{3})^2$
شناور کانتینر در شرایط نرمال	$0.5BN + BN^{6.5} / (22.0\sqrt{3})^2$



شکل ۳. نمودار تغییرات سرعت شناور در اثر برخورد موج از روبرو، پهلو و پشت به شناور با استفاده از روش آرتسن

۴. یافته‌ها و نتایج

۴-۱. بررسی میزان تغییرات سرعت شناور در مواجهه با امواج

۴-۱-۱. روش آرتسن

در این روش از سرعت اولیه، ارتفاع و جهت موج و طول کشتی استفاده می‌شود.

با مقایسه میزان اتلاف سرعت در شکل ۳ بین شرایط موج از سینه، پهلو و پاشنه، مشاهده می‌شود در حالت موج از پهلو و پاشنه کم‌وبیش رابطه‌ای دائماً یکسان بین فورث دریا و کاهش سرعت وجود دارد، اما در خصوص درصد اتلاف سرعت ناشی از برخورد موج از سینه درصد اتلاف سرعت بیشتر است. در ضمن کاربرد این معادله برای حالت‌های دریا در فورث ۵-۸ است. جدول ۸ مقدار کمی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش آرتسن را نشان می‌دهد.

جدول ۹. جدول بررسی تغییرات سرعت شناور با استفاده از

روش بودوویچ

RO-RO				
BN		α	بودوویچ	
			$V_f(kn)$	$\downarrow \%$
۱	۵	۰۰۰°	۱۷/۳	۱۳/۵
۲	۶	۰۰۰°	۱۵/۵	۲۲/۵
۳	۷	۰۰۰°	۱۲/۲	۳۹
۴	۸	۰۰۰°	۶/۴	۶۸
۵	۵	۰۹۰°	۱۸/۵	۷/۵
۶	۶	۰۹۰°	۱۷/۵	۱۲/۵
۷	۷	۰۹۰°	۱۴/۴	۲۸
۸	۸	۰۹۰°	۱۰/۹	۴۵/۵
۹	۵	۱۸۰°	۱۹/۹	۰/۵
۱۰	۶	۱۸۰°	۱۸/۷	۶/۵
۱۱	۷	۱۸۰°	۱۷/۳	۱۳/۵
۱۲	۸	۱۸۰°	۱۷/۳	۱۳/۵

۳-۱-۴. روش کوون

در این روش از سرعت اولیه، ارتفاع و جهت موج، نوع شناور، عدد بوفورت و حجم جابه‌جایی استفاده می‌شود.

با توجه به کاربرد این معادله در تمام حالت‌های دریا (فورث ۱۲-۰) با مقایسه میزان اتلاف سرعت در شکل (۵) بین شرایط موج از سینه، پهلو و پاشنه، مشاهده می‌شود حالت برخورد موج از سینه میزان کاهش سرعت مقدار بسیار زیاد و غیرمنطقی است و درضمن در حالت موج از پهلو در فورث‌های بالای ۱۰ معادله دارای خطاست و نمودار افزایش سرعت را نشان می‌دهد که دارای خطاست. جدول ۱۰ مقدار کمی تغییرات سرعت شناور را با استفاده از روش کوون نشان می‌دهد.

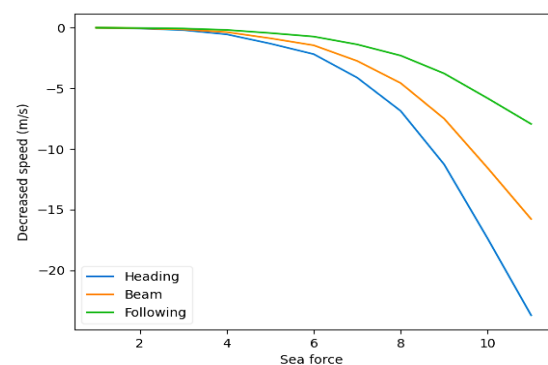
جدول ۸. بررسی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش آرتسن

RO-RO				
BN		α	آرتسن	
			$V_f(kn)$	$\downarrow \%$
۱	۵	۰۰۰°	۱۸/۶	۷
۲	۶	۰۰۰°	۱۷/۵	۱۲/۵
۳	۷	۰۰۰°	۱۵/۵	۲۲/۹
۴	۸	۰۰۰°	۲/۷	۳۶/۵
۵	۵	۰۹۰°	۱۹/۴	۳
۶	۶	۰۹۰°	۱۸/۸	۶
۷	۷	۰۹۰°	۱۸/۳	۸/۵
۸	۸	۰۹۰°	۱۷/۵	۱۲/۵
۹	۵	۱۸۰°	۱۹/۹	۰/۵
۱۰	۶	۱۸۰°	۱۹/۵	۲
۱۱	۷	۱۸۰°	۱۹/۲	۴
۱۲	۸	۱۸۰°	۱۸/۶	۸

۴-۱-۲. روش بودوویچ

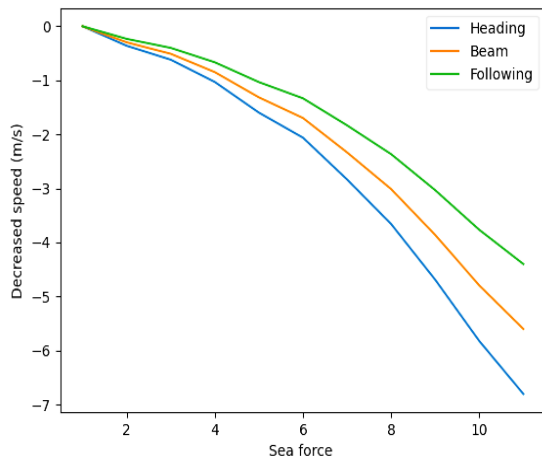
در این روش از سرعت اولیه، ارتفاع و جهت موج و مقادیر پارامتریک $f\theta$ استفاده می‌شود.

با توجه به کاربرد این معادله در تمام حالت‌های دریا (فورث ۱۲-۰) با مقایسه میزان اتلاف سرعت در شکل ۴ بین شرایط موج از سینه، پهلو و پاشنه، مشاهده می‌شود که در تمامی جهت‌های برخورد موج میزان اتلاف سرعت مقدار قابل ملاحظه و درعین حال غیرمنطقی است. جدول ۹ مقدار کمی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش بودوویچ را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نمودار تغییرات سرعت شناور در اثر برخورد موج از روبرو، پهلو و پشت به شناور با استفاده از روش بودوویچ

کمی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش لیو را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نمودار تغییرات سرعت شناور در اثر برخورد موج از روبرو، پهلو و پشت به شناور با استفاده از روش لیو

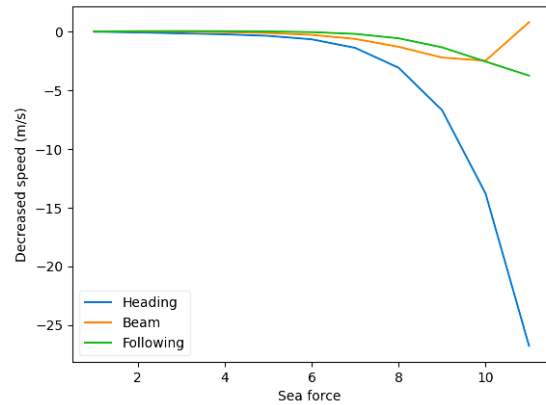
جدول ۱۱. بررسی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش لیو

RO-RO				
BN		α	لیو	
			$V_f (kn)$	$\downarrow \%$
۱	۵	000°	۱۶	۱۰/۵
۲	۶	000°	۱۴/۴	۲۸
۳	۷	000°	۱۳	۱۸
۴	۸	000°	۱۰/۹	۴۵/۵
۵	۵	090°	۱۶/۷	۱۶/۵
۶	۶	090°	۱۵/۵	۲۲/۵
۷	۷	090°	۱۴	۳۰
۸	۸	090°	۱۲/۷	۳۶/۵
۹	۵	180°	۱۷/۵	۱۲/۵
۱۰	۶	180°	۱۶/۵	۱۷/۵
۱۱	۷	180°	۱۵/۵	۲۲/۵
۱۲	۸	180°	۱۴/۲	۲۹

۴-۱-۵. روش تسو و چنگ

در این روش از سرعت اولیه، ارتفاع و جهت موج، و ضریب جابه‌جایی استفاده می‌شود.

با توجه به کاربرد این معادله در تمام حالت‌های دریا (فورث ۱۲-۰) با مقایسه میزان اتلاف سرعت در شکل ۷ بین شرایط



شکل ۵. نمودار تغییرات سرعت شناور در اثر برخورد موج از روبرو، پهلو و پشت به شناور با استفاده از روش کوون

جدول ۱۰. بررسی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش کوون

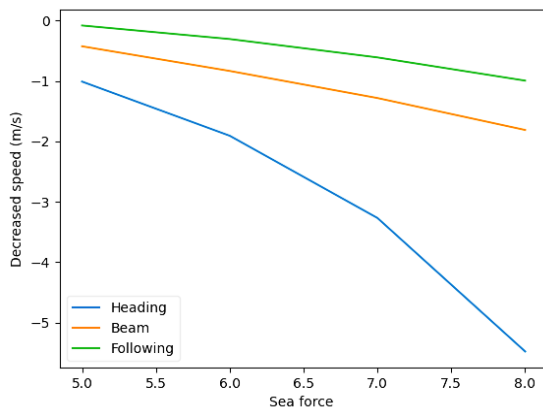
RO-RO				
BN		α	کوون	
			$V_f (kn)$	$\downarrow \%$
۱	۵	000°	۱۸/۸	۶
۲	۶	000°	۱۷/۳	۱۳/۵
۳	۷	000°	۱۳/۶	۳۲
۴	۸	000°	۸/۴	۵۸
۵	۵	090°	۱۹/۴	۳
۶	۶	090°	۱۸/۸	۶
۷	۷	090°	۱۷/۷	۱۱/۵
۸	۸	090°	۱۵/۸	۲۱
۹	۵	180°	۱۹/۸	۱
۱۰	۶	180°	۱۹/۶	۲
۱۱	۷	180°	۱۸/۸	۶
۱۲	۸	180°	۱۷/۵	۱۲/۵

۴-۱-۴ روش لیو

در این روش از سرعت اولیه، ارتفاع و جهت موج، سرعت باد و تناژ کشتی استفاده می‌شود.

با توجه به کاربرد این معادله در تمام حالت‌های دریا (فورث ۱۲-۰) با مقایسه میزان اتلاف سرعت در شکل ۶ بین شرایط موج از سینه، پهلو و پاشنه، مشاهده می‌شود در تمامی حالت‌ها برخورد موج کم‌وبیش رابطه‌ای دائماً یکسان در خصوص درصد اتلاف سرعت وجود دارد. جدول ۱۱ مقدار

با مقایسه میزان اتلاف سرعت در شکل ۸ بین شرایط موج از سینه، پهلو و پاشنه، مشاهده می‌شود در حالت موج از پهلو و پاشنه کم‌وبیش رابطه‌ای دائماً یکسان بین درصد اتلاف سرعت وجود دارد، اما در خصوص درصد اتلاف سرعت ناشی از برخورد موج از سینه درصد اتلاف سرعت بیشتر می‌باشد. در ضمن کاربرد این معادله برای حالت‌های دریا در فورث ۵-۸ است. جدول ۱۳ مقدار کمی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش ونگ و شا را نشان می‌دهد.

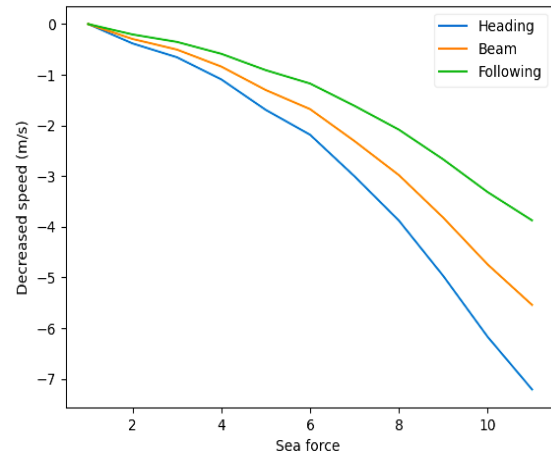


شکل ۸. نمودار تغییرات سرعت شناور در اثر برخورد موج از روبرو، پهلو و پشت به شناور با استفاده از روش ونگ و شا

جدول ۱۳. بررسی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش ونگ و شا

RO-RO				
BN	α	تسو		
		$V_f (kn)$	$\downarrow \%$	
۱	۵	۰۰۰°	۱۸	۱۰
۲	۶	۰۰۰°	۱۶/۳	۱۸/۵
۳	۷	۰۰۰°	۰۳/۸	۳۱
۴	۸	۰۰۰°	۹/۵	۵۲/۵
۵	۵	۰۹۰°	۱۹/۱	۴/۵
۶	۶	۰۹۰°	۱۸/۵	۷/۵
۷	۷	۰۹۰°	۱۷/۷	۱۱/۵
۸	۸	۰۹۰°	۱۶/۵	۱۷/۵
۹	۵	۱۸۰°	۱۹/۷	۱/۵
۱۰	۶	۱۸۰°	۱۹/۴	۳
۱۱	۷	۱۸۰°	۱۸/۸	۶
۱۲	۸	۱۸۰°	۱۸	۱۰

موج از سینه، پهلو و پاشنه، مشاهده می‌شود در تمامی حالت‌ها برخورد موج کم‌وبیش رابطه‌ای دائماً یکسان در خصوص درصد اتلاف سرعت وجود دارد. جدول ۱۲ مقدار کمی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش تسو و چنگ را نشان می‌دهد.



شکل ۷. نمودار تغییرات سرعت شناور در اثر برخورد موج از روبرو، پهلو و پشت به شناور با استفاده از روش تسو

جدول ۱۲. بررسی تغییرات سرعت شناور با استفاده از روش تسو

RO-RO				
BN	α	تسو		
		$V_f (kn)$	$\downarrow \%$	
۱	۵	۰۰۰°	۱۶	۲۰
۲	۶	۰۰۰°	۱۴/۲	۲۹
۳	۷	۰۰۰°	۱۲/۴	۳۸
۴	۸	۰۰۰°	۱۰/۳	۴۸/۵
۵	۵	۰۹۰°	۱۶/۷	۱۶/۵
۶	۶	۰۹۰°	۱۵/۵	۲۲/۵
۷	۷	۰۹۰°	۱۴/۴	۲۸
۸	۸	۰۹۰°	۱۲/۵	۳۷/۵
۹	۵	۱۸۰°	۱۷/۷	۱۱/۵
۱۰	۶	۱۸۰°	۱۷	۱۵
۱۱	۷	۱۸۰°	۱۶	۲۰
۱۲	۸	۱۸۰°	۱۵	۲۵

۴-۱-۶. روش ونگ و شا

در این روش از طول و عرض شناور، میانگین آب‌خور و ضرایب x و k استفاده می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق ارائه‌شده تعیین میزان تغییرات سرعت واحد شناور با توجه به شرایط آب‌وهوایی محیط ناوبری دریایی است. در نتیجه اطلاع از این شرایط آب‌وهوایی پیش روی شناور در حین سفر دریایی اهمیت زیادی دارد. داده‌های آب‌وهوایی به‌کاررفته در این تحقیق به‌عنوان ورودی فرایند مسیریابی و همچنین داده‌های موج و جهت موج برای بررسی تغییرات سرعت شناورند.

۵-۱. نتایج حاصل از معادلات مربوط به موج

زمانی که هر شش روش مشاهده و نتایج هر مورد مطالعاتی جمع‌آوری شد، در شکل‌های ۹ تا ۱۳ نتایج زیر از آن‌ها استخراج شده‌اند تا مشخص کنند کدام روش بهتر از همه، اتلاف سرعت را پارامتر بندی کرده و اینکه چگونه این کمیت‌ها، شناور را در کاهش سرعت، تحت تأثیر قرار می‌دهند.

به همین منظور، نتایج به‌دست آمده در زیر تحلیل شده و درصد‌های اتلاف سرعت بین وضعیت‌های دریانوردی که سمت موج در آن مختلف است مقایسه شده است تا دریابیم که چگونه بر سرعت شناور اثر می‌گذارد. همچنین نتایج به‌صورت کمی در جدول ۱۴ بیان شده‌اند.

۵-۱-۱. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کوون در حالت موج از سینه (000 یا ۳۶۰°)

در مقایسه وضعیت موج از سینه مشاهده می‌شود که میزان اتلاف سرعت در فورث‌های بالای ۸ در معادله‌های بودوویچ و کوون بسیار زیاد است و از طرفی روش آرتسن و ونگ فقط برای فورث‌های بین ۵-۸ پاسخگوست، اما روش لیو و تسو در تمامی حالت‌های دریا کم‌وبیش میزان اتلاف سرعت رابطه یکسانی دارد (درضمن بیشترین مقدار افت سرعت در تمامی معادله‌ها در حالت برخورد موج از سینه است) (شکل ۹).

۵-۱-۲. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کوون در حالت موج از سمت (۰۳۰°)

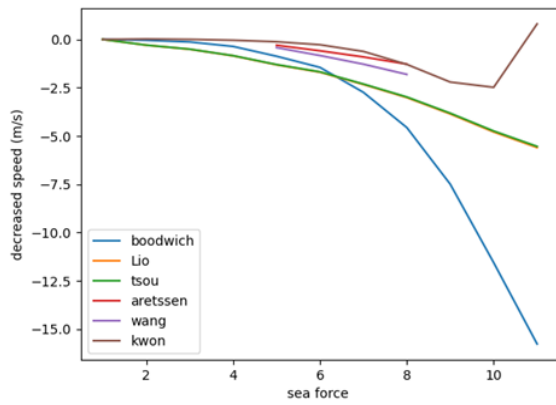
در مقایسه وضعیت موج (۰۳۰°) مشاهده می‌شود که میزان اتلاف سرعت در فورث‌های بالای ۸ در معادله بودوویچ بسیار زیاد است و از طرفی نیز روش آرتسن و ونگ فقط برای فورث‌های بین ۵-۸ کاربرد دارد و در روش کوون تا فورث ۶ تقریباً میزان اتلاف سرعت صفر است؛ اما روش لیو و تسو در تمامی حالت‌های دریا کم‌وبیش میزان اتلاف سرعت رابطه یکسانی دارد (شکل ۱۰).

۵-۱-۳. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کوون در حالت موج از پهلو (۰۹۰°)

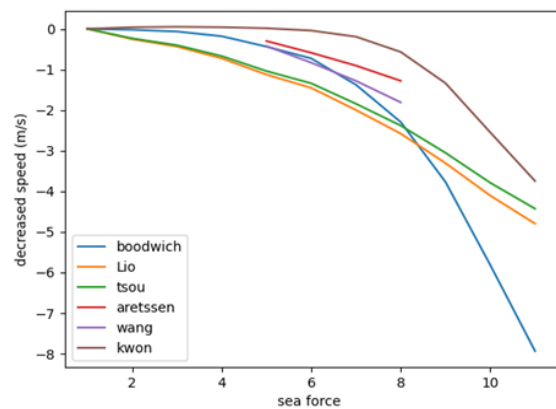
در مقایسه وضعیت موج از پهلو (۰۹۰°) مشاهده می‌شود که میزان اتلاف سرعت در فورث‌های بالای ۸ در معادله بودوویچ بسیار زیاد است، از طرفی روش آرتسن و ونگ فقط برای فورث‌های بین ۵-۸ کاربرد دارد و در روش کوون تا فورث ۶ تقریباً میزان اتلاف سرعت صفر بوده و از طرفی در فورث بالای ۱۰ معادله کاربرد نداشته و خطا دارد و همان‌طور که در نمودار مشخص است با افزایش سرعت روبرو هستیم که از لحاظ منطقی کاملاً اشتباه است، اما روش لیو و تسو در تمامی حالت‌های دریا کم‌وبیش میزان اتلاف سرعت رابطه یکسان و قابل قبولی دارد (شکل ۱۱).

۵-۱-۵. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کوون در حالت موج از سمت (۱۵۰°)

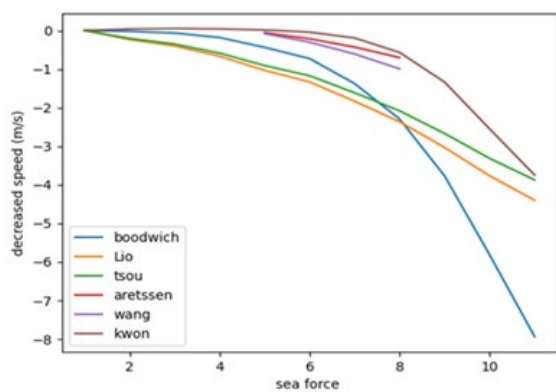
در مقایسه وضعیت موج از (۱۵۰°) مشاهده می‌شود که میزان اتلاف سرعت در فورث‌های بالای (۸) در معادله بودوویچ بسیار زیاد است و از طرفی روش آرتسن و ونگ فقط برای فورث‌های بین ۵-۸ کاربرد دارد و در روش کوون تا فورث ۶ تقریباً میزان اتلاف سرعت صفر است. اما روش لیو و تسو در تمامی حالت‌های دریا کم‌وبیش میزان اتلاف سرعت رابطه یکسانی دارد (شکل ۱۲).



شکل ۱۱. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کون در حالت موج از سمت (090°)



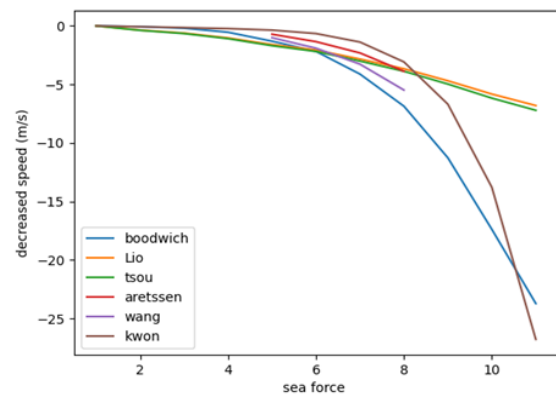
شکل ۱۲. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کون در حالت موج از سمت (150°)



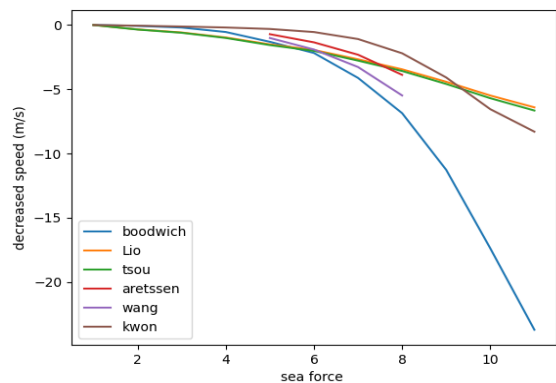
شکل ۱۳. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کون در حالت موج از پاشنه (180°)

۵-۱-۵. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کون در حالت موج از پاشنه (180°)

در مقایسه وضعیت موج از پاشنه (180°) مشاهده می‌شود که میزان اتلاف سرعت در فورث‌های بالای ۸ در معادله بودوویچ بسیار زیادی و از طرفی روش آرتسن و ونگ فقط برای فورث‌های بین ۵-۸ کاربرد دارد و در روش کون تا فورث ۶ تقریباً میزان اتلاف سرعت صفر است. اما روش لیو و تسو در تمامی حالت‌های دریا کم‌ویش میزان اتلاف سرعت رابطه‌ی یکسانی دارد. با مقایسه تمامی حالت‌ها درمی‌یابیم که امواج در تمامی حالت‌ها و جهت‌ها باعث کاهش سرعت واحد شناور شده و هرچقدر جهت موج از سمت سینه به سمت پاشنه تغییر جهت می‌دهد میزان افت سرعت تا حدودی کاهش می‌یابد (شکل ۱۳).



شکل ۹. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کون در حالت موج از سینه $(360^\circ \text{ یا } 000^\circ)$



شکل ۱۰. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کون در حالت موج از سمت (030°)

جدول ۱۴. مقایسه روش‌های بودوویچ، لیو، تسو، آرتسن، ونگ و کوون در حالت‌های متفاوت

RO-RO														
BN	α	کوون		آرتسن		بودوویچ		تسو و چنگ		لیو		ونگ و شا		
		$V_f(kn)$	↓ %	$V_f(kn)$	↓ %	$V_f(kn)$	↓ %	$V_f(kn)$	↓ %	$V_f(kn)$	↓ %	$V_f(kn)$	↓ %	
۱	۵	۰۰۰°	۱۸/۸	۶	۱۸/۶	۷	۱۷/۳	۱۳/۵	۱۶	۲۰	۱۶	۱۰/۵	۱۸	۱۰
۲	۶	۰۰۰°	۱۷/۳	۱۳/۵	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۵/۵	۲۲/۵	۱۴/۲	۲۹	۱۴/۴	۲۸	۱۶/۳	۱۸/۵
۳	۷	۰۰۰°	۱۳/۶	۳۲	۱۵/۵	۲۲/۹	۱۲/۲	۳۹	۱۱۲/۴	۳۸	۱۳	۱۸	۱۳/۸	۳۱
۴	۸	۰۰۰°	۸/۴	۵۸	۱۲/۷	۳۶/۵	۶/۴	۶۸	۱۰/۳	۴۸/۵	۱۰/۹	۴۵/۵	۹/۵	۵۲/۵
۵	۵	۰۳۰°	۱۸/۸	۶	۱۸/۶	۷	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۶/۱	۱۹/۵	۱۶/۳	۱۸/۵	۱۸	۱۰
۶	۶	۰۳۰°	۱۷/۹	۱۰/۵	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۶/۴	۲۳	۱۵	۲۵	۱۴/۸	۲۶	۱۶/۵	۱۶
۷	۷	۰۳۰°	۱۵/۵	۲۲/۵	۱۵/۵	۲۲/۵	۱۲/۲	۳۹	۱۳	۳۵	۱۳/۴	۳۳	۱۴	۳۰
۸	۸	۰۳۰°	۱۲/۱	۳۹/۵	۱۲/۷	۳۶/۵	۶/۸	۶	۱۱	۴۵	۱۱/۵	۴۲/۵	۹/۷	۵۱/۵
۹	۵	۰۹۰°	۱۹/۴	۳	۱۹/۴	۳	۱۸/۵	۷/۵	۱۶/۷	۱۶/۵	۱۶/۷	۱۶/۵	۱۹/۱	۴/۵
۱۰	۶	۰۹۰°	۱۸/۸	۶	۱۸/۸	۶	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۵/۵	۲۲/۵	۱۵/۵	۲۲/۵	۱۸/۵	۷/۵
۱۱	۷	۰۹۰°	۱۷/۷	۱۱/۵	۱۸/۳	۸/۵	۱۴/۴	۲۸	۱۴/۴	۲۸	۱۴	۳۰	۱۷/۷	۱۱/۵
۱۲	۸	۰۹۰°	۱۵/۸	۲۱	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۰/۹	۴۵/۵	۱۲/۵	۳۷/۵	۱۲/۷	۳۶/۵	۱۶/۵	۱۷/۵
۱۳	۵	۱۵۰°	۱۹/۸	۱	۱۹/۴	۳	۱۹/۲	۳/۹	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۷/۱	۱۴/۵	۱۹/۲	۷/۴
۱۴	۶	۱۵۰°	۱۹/۶	۲	۱۸/۸	۶	۱۸/۷	۶/۵	۶/۳	۱۸/۵	۱۶	۲۰	۱۸/۵	۷/۵
۱۵	۷	۱۵۰°	۱۸/۸	۶	۱۸	۱۰	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۵/۴	۲۳	۱۵	۲۵	۱۷/۷	۱۱/۵
۱۶	۸	۱۵۰°	۱۷/۳	۱۳/۵	۱۷/۷	۱۱/۵	۱۵/۵	۲۲/۵	۱۴/۲	۲۹	۱۳/۶	۳۲	۱۶/۵	۱۷/۵
۱۷	۵	۱۸۰°	۱۹/۸	۱	۱۹/۹	۰/۵	۱۹/۹	۰/۵	۱۷/۷	۱۱/۵	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۹/۷	۱/۵
۱۸	۶	۱۸۰°	۱۹/۶	۲	۱۹/۶	۲	۱۸/۷	۶/۵	۱۷	۱۵	۱۶/۵	۱۷/۵	۱۹/۴	۳
۱۹	۷	۱۸۰°	۱۸/۸	۶	۱۹/۲	۴	۱۷/۳	۱۳/۵	۱۶	۲۰	۱۵/۵	۲۲/۵	۱۸/۸	۶
۲۰	۸	۱۸۰°	۱۷/۵	۱۲/۵	۱۸/۶	۷	۱۵/۴	۲۳	۱۵	۲۵	۱۴/۲	۲۹	۱۸	۱۰

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

[3] Kytariolou A, Themelis N. An Investigation on the Effect of Sea Currents on Weather Routing Optimisation. In: SNAME International Symposium on Ship Operations, Management and Economics 2023 Mar 7 (p. D021S007R006). SNAME.

[4] Ksciuk J, Kuhlemann S, Tierney K, Koberstein A. Uncertainty in maritime ship routing and scheduling: A Literature review. European

سپاسگزاری

بدین وسیله از داوران و ویراستاران محترم نشریه هیدروفیزیک که در بهبود کیفیت مقاله کمک شایانی داشته‌اند، کمال تقدیر و تشکر داریم.

مراجع

[1] Cai Y, Wen Y, Wu L. Ship route design for avoiding heavy weather and sea conditions. TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2014;8.

- Machinery, Materials, Environment, Biotechnology and Computer 2016 Jun (pp. 696-699). Atlantis Press.
- [18] Pennino S, Gaglione S, Innac A, Piscopo V, Scamardella A. Development of a new ship adaptive weather routing model based on seakeeping analysis and optimization. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020 Apr 10;8(4):270.
- [19] Kim M, Hizir O, Turan O, Day S, Incecik A. Estimation of added resistance and ship speed loss in a seaway. *Ocean Engineering*. 2017 Sep 1;141:465-76.
- [20] Tillig F, Ringsberg JW, Psaraftis HN, Zis T. Reduced environmental impact of marine transport through speed reduction and wind assisted propulsion. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020 Jun 1;83:102380.
- [21] Townsin RL, Kwon YJ. Estimating the influence of weather on ship performance. 1993.
- [22] Buhaug Ø, Corbett J, Endresen Ø, Eyring V, Faber J, Hanayama S, Lee DS, Lee D, Lindstad H, Markowska AZ, Mjelde A. Second imo ghg study 2009.
- Journal of Operational Research. 2023 Jul 16;308(2):499-524.
- [5] YJ K. Speed loss due to added resistance in wind and waves. *Nav Archit*. 2008;3:14-6.
- [6] Panigrahi JK, Padhy CP, Sen D, Swain J, Larsen O. Optimal ship tracking on a navigation route between two ports: a hydrodynamics approach. *Journal of marine science and technology*. 2012 Mar;17:59-67.
- [7] Bowditch N. *The American practical navigator, Bicentennial edition*, National Imagery and Mapping Agency, Bethesda, Maryland, 879. 2002
- [8] Molland AF, Turnock SR, Hudson DA. *Ship resistance and propulsion*. Cambridge university press; 2017 Aug 17.
- [9] Lin YH, Fang MC, Yeung RW. The optimization of ship weather-routing algorithm based on the composite influence of multi-dynamic elements. *Applied Ocean Research*. 2013 Oct 1;43:184-94.
- [10] Aertssen G. The effect of weather on two classes of container ships in the North Atlantic. *Naval Architect*. 1975 Jan(1).
- [11] Tsou MC, Cheng HC. An Ant Colony Algorithm for efficient ship routing. *Polish Maritime Research*. 2013 Sep 1;20(3):28-38.
- [12] Liu H, Wang H, Shen Z. An Improved A* Algorithm for Fuel-efficient Ship Weather Routing. In *Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics. Abstracts of the International Conference. Dedicated to the Memory of Professor VF Demyanov 2017* (pp. 122-123).
- [13] Wang WY, Shao HF. An approximate method of estimating ship's speed loss in seaway. *Navig China*. 1982;1:64-9.
- [14] Walther L, Rizvanolli A, Wendebourg M, Jahn C. Modeling and optimization algorithms in ship weather routing. *International journal of e-navigation and maritime economy*. 2016 Jun 1;4:31-45.
- [15] Alexandersson M. A study of methods to predict added resistance in waves. Master's thesis, KTH Centre for Naval Architecture. 2009 Jan.
- [16] Grifoll M, Martorell L, de Osés FX. Ship weather routing using pathfinding algorithms: the case of Barcelona–Palma de Mallorca. *Transportation research procedia*. 2018 Jan 1;33:299-306.
- [17] Zhu X, Wang H, Shen Z, Lv H. Ship weather routing based on modified Dijkstra algorithm. In *2016 6th International Conference on*

پی‌نوشت‌ها

1. Bowditch
2. LIO
3. TSOU & cheng
4. Aertssen
5. wang & Shao
6. kwon