

ارائه مدل مسیریابی دریایی زمانمند جهت بهینه‌سازی زمان سفر با در نظر گرفتن عوامل محیط ناوربری

مجید ملک‌پور گلسفیدی^{۱*}، فرید کریمی‌پور^۲، محمدعلی شریفی^۳

^۱ کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس

دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

majid.golsefidi@ut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

fkarimipr@ut.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

sharifi@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۴، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۵)

چکیده

نظارت بر حرکت شناور و تعیین مسیر ناوربری جهت افزایش اعتماد ناوگان‌های تجاری دریایی و امنیت در سفرهای دریایی حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به تاثیر شرایط آب‌وهوایی و فیزیکی محیط ناوربری بر حرکت شناور، بهینه‌سازی تاثیر این شرایط بر حرکت شناور در سفر دریایی الزامی است. مسیریابی دریایی به کمک شرایط آب‌وهوایی، بصورت یک مسئله بهینه‌سازی تعریف می‌شود که هدف آن بسته به کاربری شناور و سرویس ارائه‌شده متفاوت است. به دلیل هزینه‌های بالای سفرهای دریایی یکی از اهدافی که در مسیریابی دریایی بهینه می‌گردد زمان سفر می‌باشد. در این تحقیق یک مدل مسیریابی دریایی زمانمند با استفاده از الگوریتم دیکسترا و با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی و عمق محیط ناوربری ارائه شده‌است. در این مدل محیط دریا به محیطی گسسته متشکل از داده‌های آب‌وهوایی باد تبدیل می‌شود که در بازه‌های زمانی مشخصی به‌نگام می‌گردند. با تبدیل محیط ناوربری به محیطی گسسته، در فرایند مسیریابی تاثیر عوامل باد و موج به کمک روش Kwon، با توجه به سرعت محاسباتی قابل قبول، ضمن در نظر گرفتن پارامترهای هندسی شناور تعیین شده‌است. با توجه به کم عمق بودن قسمتی از محیط ناوربری مورد مطالعه در این تحقیق، تاثیر عامل عمق بر سرعت شناور توسط رابطه Lackenby محاسبه شده‌است. در نهایت به منظور تعیین مسیر بهینه زمانمند بین بندر پیاپاو در کشور هند و بندر بوشهر، از الگوریتم دیکسترا به دلیل پیچیدگی محاسباتی کمتر این الگوریتم در فضای گسسته استفاده شده است. با بررسی نتایج این تحقیق، ناوربری در مسیر زمانمند پیشنهادی به رغم افزایش مسافت سفر باعث کاهش زمان و در نتیجه کاهش هزینه‌های سفر دریایی شده‌است. با توجه به نتایج حاصل، میزان کاهش زمان سفر با ناآرام‌تر شدن شرایط آب‌وهوایی محیط ناوربری محسوس‌تر می‌گردد. همچنین در شرایط آب‌وهوایی مساعد عامل عمق، عامل تعیین‌کننده مسیر بهینه می‌باشد در صورتیکه با نامساعد شدن شرایط آب‌وهوایی تاثیر عوامل آب‌وهوایی بیشتر از عامل عمق می‌شود.

واژگان کلیدی: مسیریابی، بهینه‌سازی، الگوریتم دیکسترا، ناوربری دریایی، روش Kwon

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

تجارت دریایی به عنوان یک روش اقتصادی قابل قبول در حمل‌ونقل‌های عظیم به ویژه در مسافت‌های طولانی بوده و سازندگان، تولیدکنندگان و بازارهای فروش بوسیله تجارت دریایی به هم مرتبط هستند، بطوریکه امروزه بیش از ۹۰ درصد تجارت جهانی از طریق دریا صورت می‌گیرد [۱]. با توجه به اهمیت تجارت دریایی، جهت بالا بردن اعتماد ناوگان‌های تجاری دریایی و افزایش راحتی و ایمنی خدمه و مسافران در سفرهای دریایی، یکی از موضوعاتی که بسیار به آن توجه می‌شود نظارت بر حرکت شناور و تعیین مسیر ناوبری است. در نگاه اول، مسیر ناوبری، کوتاهترین مسیر بین دو نقطه در راستای دایره عظیمه متصل کننده آن‌ها در محیط دریا در نظر گرفته می‌شود. ناوبری در این مسیر به دلیل وجود موانعی همچون جزایر، موانع ساخت بشر، محدودیت‌های عمق و مرزهای آبی همواره امکان‌پذیر نیست [۲]. در صورت رفع موانع ذکر شده، ناوبری در کوتاهترین مسیر به دلیل تاثیر شرایط محیطی بر حرکت شناور در آب همواره بهینه نمی‌باشد. این شرایط محیطی بصورت وضعیت آب‌وهوایی پیش روی شناور و عمق محیط ناوبری تعریف می‌گردد. در نتیجه آگاهی از شرایط آب‌وهوایی و عمق محیط ناوبری و تاثیر آن بر حرکت شناور جهت بهینه‌سازی اثرات این شرایط امری ضروری است.

با توجه به توضیحات بالا تعیین مسیر بهینه با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی محیط ناوبری حائز اهمیت می‌گردد. به‌طور کلی مسیریابی دریایی به کمک داده‌های آب‌وهوایی بصورت تعیین مسیر بهینه در محیط ناوبری دریایی با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی و خصوصیات شناور تعریف می‌شود. در نتیجه برای تعیین این مسیر باید از شرایط آب‌وهوایی پیش روی شناور در یک سفر دریایی و همچنین خصوصیات این شناور آگاه بود [۳]. منظور از شرایط آب‌وهوایی و فیزیکی محیط ناوبری، عوامل محیطی تاثیرگذار بر حرکت شناور بوده که سرعت شناور در محیط ناوبری را کاهش می‌دهند. از این عوامل می‌توان به موج، باد، جریان‌های دریایی، عمق و مه اشاره کرد که از این میان موج، باد و عمق مهم‌ترین عوامل محیطی کاهنده سرعت شناور می‌باشند [۴]. برای تعیین موج و باد

پیش‌روی شناور از پیش‌بینی‌های هواشناسی و به عبارتی خروجی مدل‌های عددی موج و باد استفاده می‌شود [۵]. مسیریابی دریایی با توجه به شرایط آب‌وهوایی، بصورت یک مسئله بهینه‌سازی تعریف شده که بسته به کاربری شناور و سرویسی که ارائه می‌دهد اهداف آن متفاوت است که این اهداف به صورت زیر تعریف می‌گردد [۶]:

- تعیین مسیر بهینه دریایی با زمان سفر کمینه
- تعیین مسیر بهینه دریایی با مصرف سوخت کمینه در زمان سفر مشخص
- تعیین مسیر بهینه دریایی با ایمنی بیشینه شناور، محموله دریایی، خدمه و مسافران آن.

به دلیل هزینه‌های بالای سفرهای دریایی و افزایش این هزینه‌ها، زمان سفر یکی از پارامترهای اساسی در تعیین مسیر ناوبری می‌باشد [۷]. در نتیجه در این نوع مسیریابی پارامتر زمان از اهمیت بالاتری نسبت به مسافت پیموده‌شده برخوردار گشته و هدف تعیین مسیری با زمان سفر کمینه است.

در سال ۲۰۰۶، A Mones سامانه مسیریابی خودکاری بر اساس داده‌های آب‌وهوایی محیط ناوبری در اقیانوس آرام ارائه داده‌است [۸]. در این تحقیق تاثیر پارامترهای باد و موج بر روی سرعت شناور محاسبه گردیده و به کمک الگوریتم دیکسترا با ذخیره‌سازی رئوس گراف بر اساس مجموعه باینری^۱، مسیر بهینه تعیین شده است. از مزایای این روش تعیین میزان مصرف سوخت در سفر دریایی و سرعت محاسباتی بالای الگوریتم می‌باشد. در سال ۲۰۱۰، Debabrata Sen و Chinmaya P Padhy یک روش مسیریابی به منظور تعیین مسیر با کمترین زمان سفر در اقیانوس هند و دریای عرب ارائه نمودند [۵]. در این روش به کمک الگوریتم مسیریابی دیکسترا، تاثیر عامل موج بر سرعت شناور بهینه شده است. از مزایای این روش انعطاف‌پذیری الگوریتم در بررسی تاثیر پارامترهای باد و جریان بر حرکت شناور و از معایب آن ثابت در نظر گرفتن داده‌های آب‌وهوایی با گذشت زمان می‌باشد. در سال ۲۰۱۲، J. K. Panigrahi و همکاران مسیر بهینه ناوبری را در سواحل کشور هند جهت ناوبری یک شناور تانکر ارائه نمودند که در آن به کمک الگوریتم مسیریابی دیکسترا تاثیر

^۱ Binary Heap Dijkstra

است. این داده‌های آب‌وهوایی به عنوان ورودی الگوریتم مسیریابی در نظر گرفته شده و پس از محاسبه تاثیر آن‌ها بر حرکت شناور، به کمک الگوریتم مسیریابی و با توجه به هدف مسئله، مسیر بهینه تعیین می‌گردد.

۲-۱- الگوریتم مسیریابی

با توجه به تبدیل محیط ناوبری به فضایی گسسته متشکل از داده‌های آب‌وهوایی، جهت تعیین مسیر بهینه از روش‌های مسیریابی در گراف استفاده می‌گردد. یکی از روش‌های مسیریابی بر روی گراف، الگوریتم مسیریابی دیکسترا می‌باشد که این الگوریتم توسط ادگار دیکسترا در سال ۱۹۵۹ مطرح شد [۱۰]. این الگوریتم، یک الگوریتم جستجوی گراف جهت یافتن کوتاه‌ترین مسیر و به عبارتی مسیر با هزینه کمتر است. شرط لازم به منظور تعیین کوتاه‌ترین مسیر توسط این الگوریتم عدم وجود یال با هزینه منفی می‌باشد. الگوریتم دیکسترا یک الگوریتم تک منبعی^۲ است بطوریکه برای یک راس منبع (راس شروع) در گراف، مسیر با هزینه کمینه را بین این راس و سایر رئوس گراف یافته و درخت کوتاه‌ترین مسیر را تولید می‌کند. با اعمال شرط خاتمه برای الگوریتم در صورت رسیدن به یک راس مشخص، می‌توان کوتاه‌ترین مسیر بین دو راس خاص را پیدا کرد [۱۱].

۲-۲- تعیین میزان کاهش سرعت شناور

اهدافی که در مسئله مسیریابی بهینه می‌شوند همواره وابسته به میزان کاهش سرعت شناور در محیط ناوبری دریایی می‌باشند. جهت مدل‌سازی شرایط آب‌وهوایی و فیزیکی محیط ناوبری در فرایند مسیریابی، تاثیر این شرایط بر حرکت شناور تعیین می‌گردد. به دلیل شرایط آب‌وهوایی و فیزیکی دریای ناآرام، نیاز به نیرو جهت ثابت نگه داشتن سرعت افزایش می‌یابد. این مقدار نیرو، معادل تعیین میزان کاهش سرعت در شرایط آب و هوایی مختلف پیش روی شناور با فرض ثابت بودن نیرو است [۱۲]. بنابراین تعیین میزان کاهش سرعت امری ضروری در مرحله تعیین مسیر بهینه می‌باشد.

موج بر حرکت شناور بهینه گردیده است [۳]. در این روش تاثیر عامل عمق بر سرعت شناور با توجه به نزدیکی مسیر پیشنهادی به ساحل و همچنین تاثیر عامل باد بر سرعت بررسی نشده است. همچنین در این تحقیق تغییرات شرایط آب‌وهوایی با گذشت زمان در تعیین مسیر لحاظ نگردیده است. در سال ۲۰۱۳ G. Mannarini و همکاران، یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری مسیریابی، برای تعیین مسیری زمانمند با زمان سفر کمینه و امنیت بیشینه ارائه نمودند [۹]. در این سامانه با بالا بردن قدرت تفکیک زاویه‌ای بجای قدرت تفکیک مکانی در الگوریتم دیکسترا پیچیدگی محاسباتی در تعیین مسیر کاهش یافته است. از معایب روش مذکور عدم در نظر گرفتن تاثیر پارامتر باد و استفاده از روابط غیرواقعی در تعیین میزان تاثیر موج بر سرعت شناور می‌باشد.

هدف از این تحقیق پیش‌بینی مسیر ناوبری بهینه با کمترین زمان سفر قبل از شروع سفر دریایی (در مرحله طراحی سفر) و پیشنهاد آن به فرماندهی شناور می‌باشد. به عبارت دیگر به منظور کاهش اثرات محیطی بر حرکت شناور مسیر ناوبری (کوتاه‌ترین مسیر) با مسیر بهینه جدید جایگزین می‌شود. در واقع قبل از حرکت شناور از بندر مبدا، پردازش‌های لازم در خشکی انجام شده و مسیر بهینه با توجه به پیش‌بینی‌های هواشناسی درباره شرایط آب‌وهوایی پیش روی شناور در سفر محاسبه می‌گردد. برای این منظور پس از تبدیل محیط ناوبری به محیطی گسسته متشکل از داده‌های آب‌وهوایی، تاثیر عوامل باد و موج به عنوان عوامل توصیف‌کننده وضعیت آب‌وهوایی و عمق به عنوان عامل توصیف‌کننده شرایط فیزیکی محیط ناوبری بر حرکت شناور تعیین می‌شود. در نهایت جهت حل مسئله بهینه‌سازی، از الگوریتم مسیریابی دیکسترا^۱ بر روی فضای گسسته استفاده گردیده و مسیر بهینه زمانمند با در نظر گرفتن تغییرات شرایط آب‌وهوایی با گذشت زمان در فرایند مسیریابی محاسبه می‌گردد.

۲- مسیریابی دریایی

با توجه به تعریف مسئله مسیریابی دریایی با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی، اطلاع از شرایط آب‌وهوایی و فیزیکی محیط ناوبری در حین سفر دریایی حائز اهمیت

^۲ Single Source

^۱ Dijkstra Algorithm

جهت بررسی تاثیر شرایط آب‌وهوایی محیط ناوربری، تاثیر عوامل موج و باد بر سرعت شناور تعیین می‌گردد. برای این منظور تاثیر پارامترهای موج و باد در محیط ناوربری بصورت تلفیقی فرض شده است بطوریکه باد با سرعت و جهت مشخص منجر به ایجاد موج در همان جهت و با ارتفاع معین گشته که هر دو با یک عدد بافورد^۱ نشان داده می‌شوند. در

واقع برای بیان وضعیت محیط ناوربری دریایی با فرض وجود هر دو عامل موج و باد، براساس یکی از این دو عامل (سرعت وزش باد یا ارتفاع تقریبی موج) به هر نقطه از محیط ناوربری مطابق جدول ۱ یک عدد بافورد نسبت داده می‌شود. با توجه به جدول ۱ با ناآرام‌تر شدن محیط ناوربری، عدد بافورد بیشتری به آن نسبت داده می‌شود [۱۳].

جدول ۱- عدد بافورد مربوط به سرعت باد و ارتفاع موج [۱۳]

ارتفاع تقریبی موج به متر	بازه سرعت باد		وضعیت دریا	عدد بافورد
	متر بر ثانیه (m/s)	گره دریایی (Knot)		
—	0.3	1	آرام (Calm)	0
—	0.3 – 1.5	1 – 3	نسیم دریایی (Light Air)	1
0.7	1.6 – 3.3	4 – 6	نسیم ملایم (Light Breeze)	2
1.2	3.4 – 5.4	7 – 10	باد آرام (Gentle Breeze)	3
2	5.5 – 7.9	11 – 16	باد متوسط (Moderate Breeze)	4
3.1	8.0 – 10.7	17 – 21	باد نسبتاً تند (Fresh Breeze)	5
4	10.8 – 13.8	22 – 27	باد تند (Strong Breeze)	6
5.5	13.9 – 17.1	28 – 33	باد طوفانی (Near Gale)	7
7.1	17.2 – 20.7	34 – 40	تند باد (Gale)	8
9.1	20.8 – 24.4	41 – 47	تند باد قوی (Strong Gale)	9
11.3	24.5 – 28.4	48 – 55	طوفان (Storm)	10
13.2	28.5 – 32.6	56 – 63	طوفان سهمناک (Violent Storm)	11
—	32.7 بالاتر از	64 بالاتر از	طوفان دریایی همراه گردباد (Hurricane)	12

جهت تعیین میزان کاهش سرعت با در نظر گرفتن نوع شناور، ابعاد و پارامترهای هندسی آن از رابطه (۱)، ارائه‌شده توسط Kwon استفاده می‌گردد [۱۴]:

که در آن C_{β} ضریب کاهش جهت سرعت^۲ بوده که تابعی از عدد بافورد، جهت وزش باد و برخورد موج است و از جدول ۲ محاسبه می‌گردد.

$$\frac{\Delta V}{V} 100\% = C_{\beta} \cdot C_U \cdot C_{Form} \quad (1)$$

جدول ۲- نحوه محاسبه ضریب کاهش جهت سرعت [۱۳]

جهت برخورد موج و باد	بازه زاویه برخورد موج و باد	ضریب کاهش جهت سرعت (C_{β})
جلو (Head)	0°	$2C_{\beta} = 2$
مایل (Bow)	$30^{\circ} - 60^{\circ}$	$2C_{\beta} = 1.7 - 0.03(BN - 4)^2$
عرضی (Beam)	$60^{\circ} - 150^{\circ}$	$2C_{\beta} = 0.9 - 0.06(BN - 6)^2$
پاشنه (Following)	$150^{\circ} - 180^{\circ}$	$2C_{\beta} = 0.4 - 0.03(BN - 8)^2$

با توجه به جدول ۲ جهت برخورد، از روی زاویه نسبی برخورد عوامل محیطی موج و باد به شناور محاسبه

می‌شود. این زوایا به چهار جهت گسسته تقسیم می‌شوند. این چهار جهت عبارتند از:

^۱ Beaufort Number

^۲ Speed Direction Reduction Coefficient

- برخورد از مقابل: موج و باد با زاویه نسبی صفر تا ۳۰ درجه از سینه شناور برخورد می‌کند.
 - برخورد مایل: موج و باد با زاویه نسبی ۳۰ تا ۶۰ درجه از سینه شناور برخورد می‌کند.
 - برخورد عرضی: موج و باد با زاویه نسبی ۶۰ تا ۱۵۰ درجه از سینه شناور برخورد می‌کند.
 - برخورد از پاشنه: موج و باد با زاویه نسبی ۱۵۰ تا ۱۸۰ درجه از سینه شناور برخورد می‌کند.
- در رابطه (۱)، C_U ضریب کاهش سرعت^۱ بوده و تابعی از وضعیت بارگیری، ضریب گنجایش شناور (C_B) و عدد فراد^۲ می‌باشد و از جدول ۳ تعیین می‌شود. عدد فراد از تقسیم سرعت شناور بر ضرب مجذور شتاب جاذبه در طول شناور بدست می‌آید.

جدول ۳- نحوه محاسبه ضریب کاهش سرعت [۱۳]

ضریب گنجایش شناور	شرایط بارگیری شناور	ضریب کاهش سرعت (C_U)
0.55	نرمال	$1.7 - 1.4Fn - 7.4(Fn)^2$
0.60	نرمال	$2.2 - 2.5Fn - 9.7(Fn)^2$
0.65	نرمال	$2.6 - 3.7Fn - 11.6(Fn)^2$
0.70	نرمال	$3.1 - 5.3Fn - 12.4(Fn)^2$
0.75	نرمال یا بارگیری شده	$2.4 - 10.6Fn - 9.5(Fn)^2$
0.80	نرمال یا بارگیری شده	$2.6 - 13.1Fn - 15.1(Fn)^2$
0.85	نرمال یا بارگیری شده	$3.1 - 18.7Fn - 28.0(Fn)^2$

- همچنین در رابطه (۱)، C_{Form} ضریب شکل بدنه شناور^۳ بوده و تابعی از نوع شناور، عدد بافورد و حجم جابجایی شناور است. برای محاسبه این ضریب از جدول ۴ استفاده می‌گردد.

جدول ۴- نحوه محاسبه ضریب شکل شناور

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

- علاوه بر آن ناوبری در آب کم‌عمق منجر به کاهش سرعت شناور می‌گردد. این کاهش سرعت به دلیل افزایش سرعت آب در طول بدنه شناور، افزایش سطح جانبی آب‌خور شناور و در نتیجه ایجاد مقاومت در حین حرکت در آب است. دلیل دیگر کاهش سرعت در صورت ناوبری در آب کم‌عمق، تغییر الگوی ایجاد موج می‌باشد [۱۵]. بنابراین نکته حائز اهمیت تعیین عمقی است که در صورت
- ناوبری در آن، سرعت شناور دچار تغییر شود که به آن عمق موثر^۳ می‌گویند و از رابطه (۲) بدست می‌آید [۱۶].

$$h_i \leq \sqrt{\frac{A_m}{0.05}} \quad (2)$$

در رابطه بالا A_m مساحت مقطع میانی زیر آب شناور است. با تعیین عمق موثر بوسیله رابطه (۲)، به کمک رابطه

^۱ Beaufort Number

^۲ Speed Direction Reduction Coefficient

^۳ Depth of Influence

(۳) که توسط Lackenby ارائه شده است میزان کاهش سرعت به دلیل ناپوری در عمق کم بدست می‌آید [۱۶].

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.1242 \left(\frac{A_m}{h^2} - 0.05 \right) + 1 - (\tanh \frac{gh}{V^2})^{1/2} \quad (3)$$

که در آن h عمق محیط ناپوری، V سرعت در آب آرام، A_m مساحت مقطع میانی زیر آب شناور و g شتاب جاذبه می‌باشد.

۳- پیاده‌سازی

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

محیط ناپوری دریایی مورد مطالعه در این تحقیق، مطابق شکل ۱ شامل خلیج فارس، دریای عمان و دریای عرب در شمال اقیانوس هند می‌باشد. مسیر بهینه زمانی بین بندر پیراوا در سواحل جنوبی کشور هندوستان به عرض جغرافیایی ۲۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۷۱ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و بندر بوشهر واقع در سواحل شمالی خلیج فارس به عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی تعیین شده است.

۳-۲- داده‌های آب‌وهوایی

داده‌های آب‌وهوایی استفاده شده در این تحقیق به عنوان ورودی فرایند مسیریابی، داده‌های باد حاصل از پیش‌بینی‌های

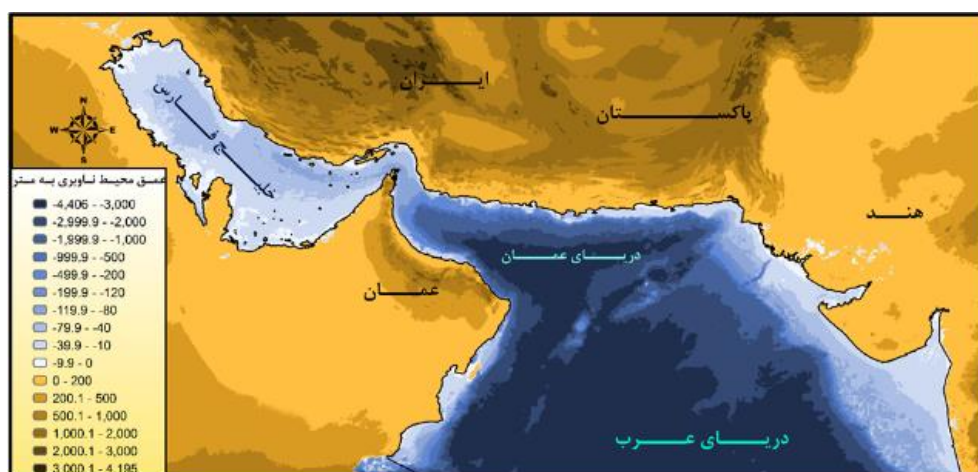
عددی و جهانی هواشناسی، تهیه شده توسط مرکز پیش‌بینی هواشناسی میان مدت اروپا (ECMWF) می‌باشد [۱۷]. این داده‌های هواشناسی، بردارهای باد شامل سرعت و جهت وزش باد با قدرت تفکیک مکانی ۰.۲۵ درجه جغرافیایی بوده که هر شش ساعت یکبار به‌نگام می‌گردند [۱۸].

۳-۳- شناور مورد مطالعه

با توجه به تعریف مسئله مسیریابی دریایی، یکی از ضرورت‌های این امر آگاهی از خصوصیات شناور می‌باشد. در این تحقیق از شناور کانتینربر مطالعاتی انستیتوی MOERI استفاده گردیده است که در جدول ۵ این خصوصیات ارائه شده است [۱۹].

جدول ۵- خصوصیات شناور مطالعاتی MOERI

خصوصیات شناور کانتینربر MOERI	
سرعت شناور (V)	۲۴ گره دریایی
نوع شناور	کانتینربر
وضعیت بارگیری	نرمال
طول بین عمودها (L_{PP})	۲۳۰ متر
پهنای بر خط آب (B_{WL})	۳۲.۲ متر
آبخور (D)	۱۰.۸ متر
حجم جابجایی (∇)	۵۲۰۳۰ مترمکعب
ضریب گنجایش (C_B)	۰.۶۵۱
ضریب بخش میانی (C_M)	۰.۹۸۵



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در این تحقیق

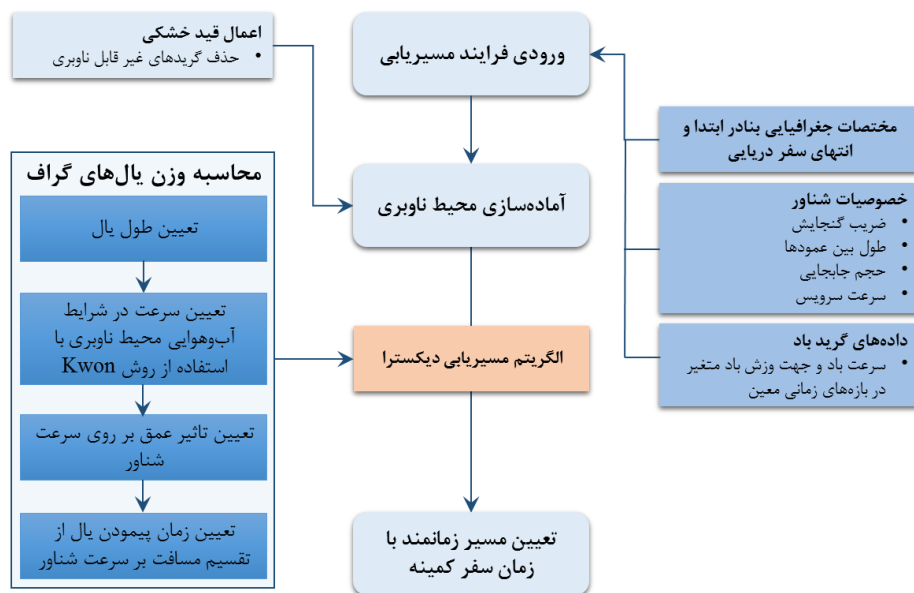
کف دریا با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ ثانیه (حدود ۱ کیلومتر) استفاده شده است [۲۰]. در شکل ۱ عمق محیط ناپوری مورد مطالعه در این تحقیق نمایش داده شده است.

۳-۴- داده‌های عمق

برای بررسی تاثیر عمق بر سرعت شناور در محیط ناپوری دریایی از داده‌های تخمین و پیش‌بینی توپوگرافی

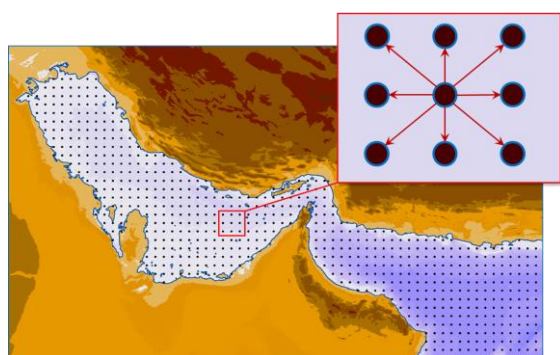
۳-۵- مدل پیشنهادی

جهت تعیین مسیر بهینه در محیط ناوربری دریایی،
مدل سازی شرایط آبوهوایی و فیزیکی دریا در فرایند



شکل ۲- فرایند کلی مدل پیشنهادی در این تحقیق به منظور تعیین مسیر بهینه در محیط ناوربری دریایی

غیر قابل ناوربری متشکل از نقاط با عمق کمتر از آب‌خور شناور و خشکی‌ها (اعمال قید جغرافیایی) گراف محیط ناوربری بر اساس داده‌های آبوهوایی مطابق شکل ۳ تعریف می‌شود.



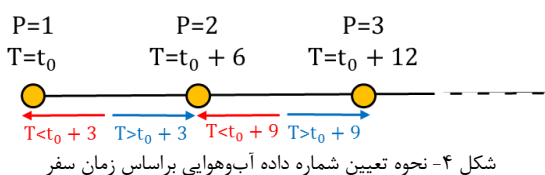
شکل ۳- گراف پوشش‌دهنده محیط ناوربری دریایی

با توجه به شکل ۳ مرکز هر گرید آبوهوایی به عنوان راس گراف تعریف می‌گردد که هر راس با هشت راس مجاور خود همسایه است. همچنین خط واصل رئوس همسایه، یال‌های گراف را تشکیل می‌دهد.

مهمترین مرحله در فرایند مسیریابی، تعیین وزن یال‌های گراف محیط ناوربری است. با توجه به هدف تحقیق، زمان سفر توسط الگوریتم مسیریابی بهینه

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد داده‌های باد متغیر با زمان، شامل جهت و سرعت وزش باد، خصوصیات شناور و مختصات جغرافیایی بنادر ابتدا و انتهای سفر تحت عنوان ورودی مدل مسیریابی مشخص می‌گردند. همانند سایر پدیده‌های فیزیکی، شرایط آبوهوایی محیط ناوربری نیز با گذشت زمان تغییر می‌کند. به همین دلیل تعیین مسیر بهینه ناوربری دریایی بدون در نظر گرفتن تغییرات شرایط آبوهوایی در طول زمان در عمل دارای مفهوم خاصی نمی‌باشد. بنابراین جهت افزایش کارایی مسئله مسیریابی، اعمال تغییرات شرایط آبوهوایی محیط ناوربری دریایی در فرایند مسیریابی الزامی است. برای این منظور، با در نظر گرفتن این تغییرات آبوهوایی در بازه‌های زمانی مشخص در طول شبانه‌روز، پارامتر زمان در فرایند مسیریابی اضافه گردیده و مسیر بهینه از حالت ایستا به حالت زمانمند تغییر می‌کند. در نتیجه داده‌های آبوهوایی که از مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی تعیین می‌شوند در بازه زمانی مشخص بروز گردیده و با تبدیل محیط ناوربری دریایی به محیطی گسسته با قدرت تفکیک مکانی مشخص، سرعت و جهت وزش باد در هر گرید را در زمان آینده پیش‌بینی می‌کنند. پس از آن با حذف نقاط

زمان محاسباتی بیش از ۳ ساعت و کمتر از ۹ ساعت از داده‌های آب‌وهوایی مقطع زمانی دوم استفاده می‌شود.



پس از انتخاب داده آب‌وهوایی مناسب، بر اساس جدول ۱ به هریک از رؤس گراف محیط ناوبری با توجه به سرعت وزش باد یک عدد بافورد نسبت داده می‌شود. این عدد بافورد در صورت وجود هر دو عوامل فیزیکی باد و موج است و هرچه وضعیت دریا در گرید نامساعدتر باشد عدد بافورد آن گرید دارای مقدار بیشتری است. پس از آن به کمک رابطه (۷) آزمون‌های گراف محیط ناوبری (آزمون حرکت شناور در آن یال) محاسبه می‌شود [۸].

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sin(\lambda_2 - \lambda_1) \times \cos \varphi_2}{\cos \varphi_1 \times \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \times \cos \varphi_2 \times \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \quad (7)$$

$$-\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$$

در رابطه بالا λ_1 و φ_1 به ترتیب طول و عرض جغرافیایی راس شروع یال و λ_2 و φ_2 طول و عرض جغرافیایی راس خاتمه یال می‌باشند. پس از آن با توجه جهت وزش باد مشخص‌شده توسط داده‌های باد، زاویه نسبی برخورد پارامترهای موج و باد بر شناور تعیین می‌گردد. حال با توجه به خصوصیات شناور، به کمک جداول جدول ۲، جدول ۳ و جدول ۴ ضریب کاهش جهت سرعت، ضریب کاهش سرعت و ضریب شکل بدنه شناور محاسبه گردیده و در نهایت از رابطه (۱) میزان کاهش سرعت شناور نسبت به سرعت در آب آرام (سرعت اولیه شناور) تعیین می‌شود. همچنین با توجه به تغییر داده‌های باد در بازه‌های زمانی مشخص، میزان کاهش سرعت شناور و به طبع آن زمان پیمودن یال (وزن یال‌های گراف) در طول زمان تغییر می‌کند.

با توجه به اینکه قسمتی از منطقه مورد مطالعه در این تحقیق (خلیج فارس و سواحل شمالی دریای عرب) پهنه‌های آبی کم‌عمق می‌باشند عمق محیط ناوبری تاثیر بسزایی در سرعت شناور دارد. بنابراین میزان کاهش سرعت شناور تحت تاثیر عمق بررسی شده است. برای این

می‌شود که از مجموع زمان پیمودن یال‌های مسیر بهینه محاسبه می‌گردد. بنابراین وزن هر یال گراف، زمان پیمودن آن در نظر گرفته می‌شود که طبق رابطه (۴) از تقسیم طول یال بر سرعت شناور تحت تاثیر شرایط آب‌وهوایی محیط ناوبری محاسبه می‌گردد.

$$t = \frac{d}{V} \quad (4)$$

در رابطه بالا d طول یال و V سرعت شناور تحت تاثیر شرایط آب‌وهوایی محیط ناوبری دریایی می‌باشد. همچنین طول یال گراف در محیط ناوبری دریایی با در نظر گرفتن کرویت زمین با توجه به مسافت‌های طولانی در سفرهای دریایی، از رابطه (۵) تعیین می‌گردد [۸].

$$D = 1852 \times \arccos(\sin(\varphi_1) \times \sin(\varphi_2) + \cos(\varphi_1) \times \cos(\varphi_2) \times \cos(\lambda_2 - \lambda_1)) \quad (5)$$

در رابطه بالا λ_1 و φ_1 به ترتیب طول و عرض جغرافیایی راس شروع یال و λ_2 و φ_2 طول و عرض جغرافیایی راس خاتمه یال می‌باشند. پس از تعیین طول یال‌ها، جهت محاسبه وزن آن‌ها (زمان پیمودن یال)، سرعت شناور تحت تاثیر شرایط آب‌وهوایی و عمق، در هر گرید محاسبه می‌شود.

جهت محاسبه سرعت شناور در فرایند مسیریابی (الگوریتم دیکسترا) به هر لحظه بروزرسانی داده‌های آب‌وهوایی طبق ترتیب زمانی یک شمارنده اختصاص داده می‌شود. در این تحقیق داده‌های آب‌وهوایی در بازه‌های زمانی ۶ ساعت یکبار بروزرسانی می‌گردد. پس از آن با استفاده از رابطه (۴) و بر اساس سرعت اولیه شناور (بدون محاسبه میزان کاهش سرعت) زمان سفر از گرید شروع تا هر گرید محیط ناوبری محاسبه می‌شود. سپس مطابق رابطه (۶) شمارنده داده‌های آب‌وهوایی برای هر گرید براساس زمان سفر محاسباتی تعیین می‌شود.

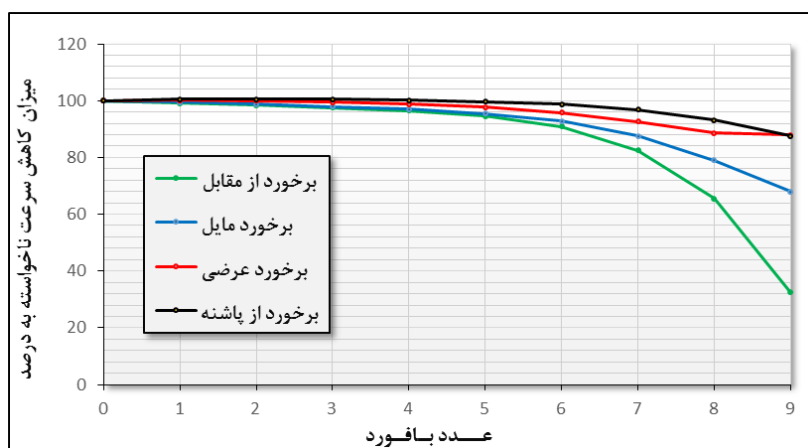
$$P = \begin{cases} \lceil T/6 \rceil + 1, & T/6 - \lceil T/6 \rceil < 0.5 \\ \lceil T/6 \rceil + 2, & T/6 - \lceil T/6 \rceil > 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

در رابطه (۶)، T زمان سفر محاسباتی برای هر گرید و P شمارنده داده آب‌وهوایی است. با توجه به توضیحات بالا مطابق شکل ۴ برای گریدهای با زمان محاسباتی کمتر از ۳ ساعت از داده‌های آب‌وهوایی اول و برای گریدهای با

ریاضی پیاده‌سازی شده و پیچیدگی محاسباتی کمتر، الگوریتم مسیریابی دیکسترا بکار رفته است.

۳-۶- نتایج پیاده سازی

همانطور که در بخش قبل بیان شد برای محاسبه مسیر بهینه زمانی در محیط ناوبری دریایی، ابتدا باید وزن یال‌های گراف را تعیین نمود که وابسته به سرعت شناور در محیط ناوبری می‌باشد. جهت تعیین میزان کاهش سرعت ناخواسته شناور مورد نظر در این تحقیق، با توجه به جهت برخورد عوامل محیطی موج و باد در شرایط آب‌وهوایی مختلف از روش Kwon استفاده شده و نتایج آن در شکل ۵ نمایش داده شده است.



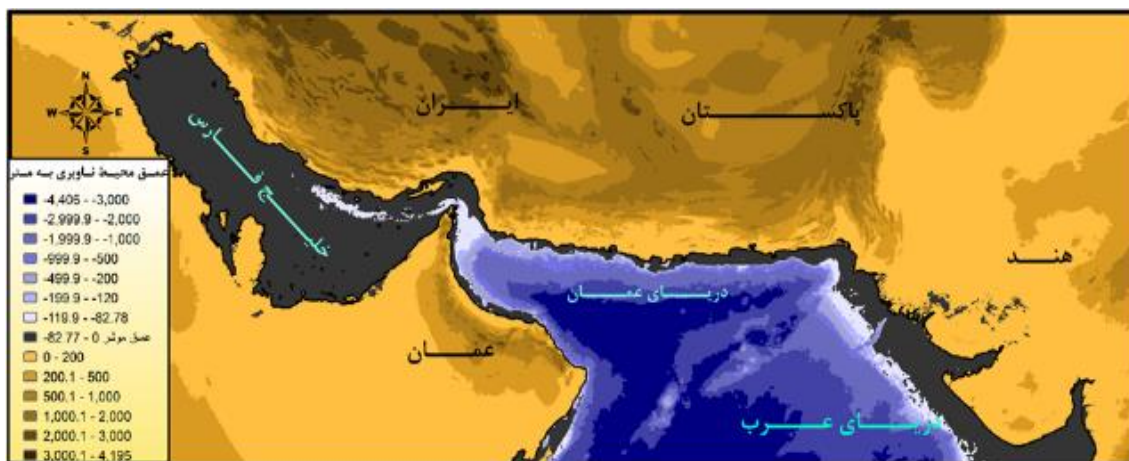
شکل ۵- نمودار میزان کاهش سرعت ناخواسته شناور به درصد بر اساس عدد بافورد و با توجه به جهت برخورد نسبی باد و موج

محیط ناوبری از ۸۳ متر، تعیین تاثیر عمق بر سرعت شناور الزامی می‌باشد. در شکل ۶ نواحی با عمق موثر بر سرعت شناور در محیط ناوبری دریایی نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد تقریباً کل خلیج فارس و نواحی ساحلی دریای عمان و دریای عرب دارای عمق کمتر از عمق موثر بوده و بر سرعت شناور تاثیر بسزایی می‌گذارد، درحالی‌که در سایر نقاط محیط ناوبری این تاثیر بسیار ناچیز می‌باشد. پس از مشخص شدن عمق موثر، با توجه به خصوصیات شناور به کمک رابطه (۳)، میزان کاهش سرعت شناور تحت تاثیر عمق محیط ناوبری تعیین شده است. در شکل ۷ میزان کاهش سرعت شناور مورد مطالعه در این تحقیق در بازه عمق موثر تا عمق برابر با آب‌خور شناور ترسیم شده است.

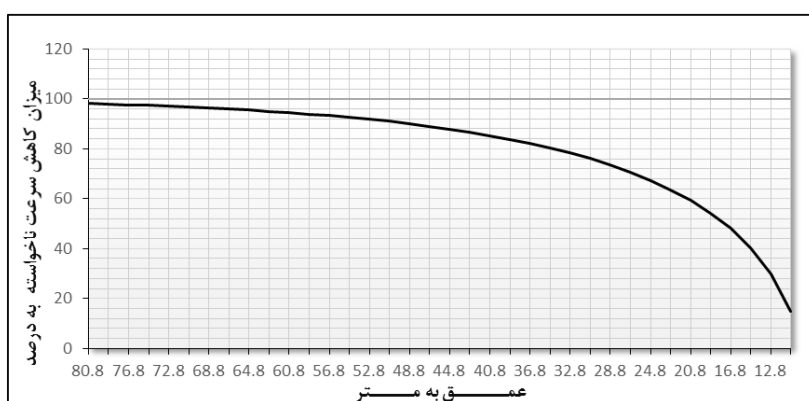
منظور ابتدا عمق موثر به کمک رابطه (۲) مشخص می‌شود. در صورت بیشتر بودن عمق گریدهای محیط ناوبری از عمق موثر، میزان کاهش سرعت شناور، تحت تاثیر عمق بسیار ناچیز بوده و برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. درحالی‌که با کمتر بودن عمق گرید از عمق موثر، میزان کاهش سرعت تحت تاثیر عمق محیط ناوبری از رابطه (۳) محاسبه می‌گردد.

با توجه به شکل ۲ برای تعیین مسیر بهینه ناوبری با زمان کمینه با در نظر گرفتن داده‌های آب‌وهوایی متغیر با زمان، از روش‌های مسیریابی در گراف استفاده می‌گردد. برای این منظور با توجه به نامنفی بودن وزن یال‌های گراف محیط ناوبری (زمان پیمودن یال)، سادگی مدل

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد با افزایش عدد بافورد و یا به عبارتی ناآرام‌تر شدن وضعیت آب‌وهوایی محیط ناوبری دریایی، میزان کاهش سرعت شناور بیشتر می‌شود. یکی از پارامترهای اصلی موثر در کاهش سرعت، جهت برخورد موج و باد به شناور است. به عبارت دیگر با افزایش زاویه برخورد نسبی عوامل محیطی به شناور، میزان کاهش سرعت کمتر می‌شود. در نتیجه به منظور تعیین مسیر بهینه ناوبری، پس از محاسبه میزان کاهش سرعت شناور، باید از ناوبری در نواحی با شرایط آب‌وهوایی خروشان‌تر و با زاویه برخورد نسبی کم به شناور پرهیز گردد. جهت تعیین تاثیر عمق بر سرعت شناور، با توجه به خصوصیات شناور مورد مطالعه در این تحقیق، عمق موثر محاسبه گردیده است که برابر با ۸۳ متر می‌باشد. بر اساس عمق موثر، در صورت کمتر بودن عمق



شکل ۶- نواحی با عمق موثر بر سرعت شناور در منطقه مورد مطالعه



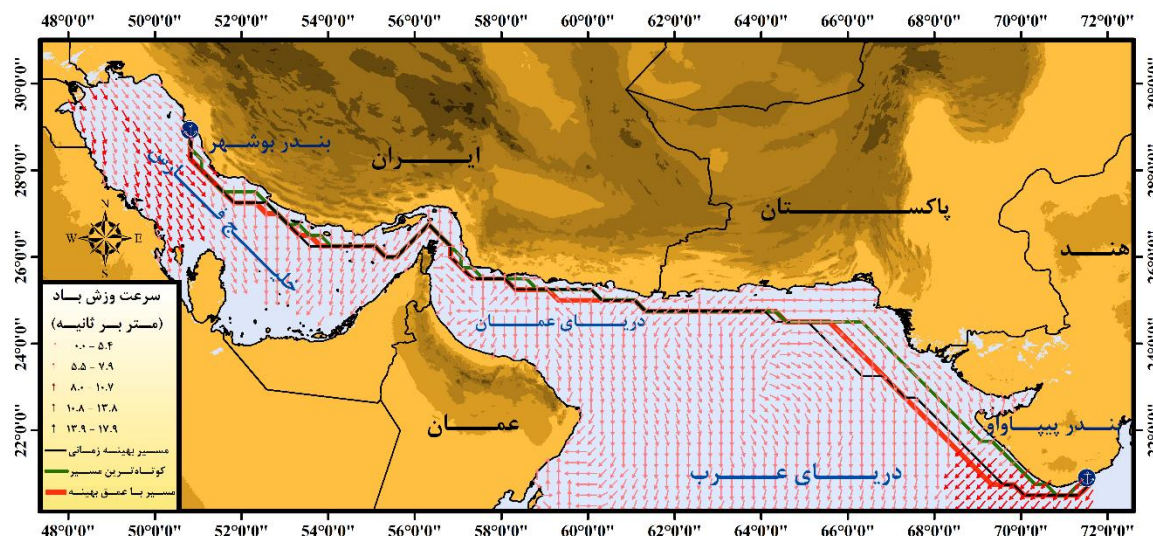
شکل ۷- میزان کاهش سرعت ناخوابسته شناور به درصد تحت تاثیر عامل عمق

تاثیر عمق بهینه، کوتاه‌ترین مسیری است که در آن تاثیر عمق محیط ناوبری بر سرعت شناور کمینه می‌باشد. همچنین کوتاه‌ترین مسیر ناوبری، مسیری است که مسافت پیموده‌شده در آن نسبت به سایر مسیرهای موجود کمتر باشد.

در وضعیت آب‌وهوایی اول، مطابق شکل ۸ مسیر بهینه زمانی از بندر پیراوا در کشور هند تا بندر بوشهر در روزهای ۶، ۷ و ۸ ژانویه سال ۲۰۱۰، تحت شرایط آب‌وهوایی تقریباً مساعد، در وضعیت جوی باد نسبتاً تند با عدد بافورد ۵ محاسبه گردیده است. زمان شروع این سفر دریایی از صفر بامداد روز ۶ ژانویه بوده و طی سفر دریایی داده‌های آب‌وهوایی هر شش ساعت یکبار بهنگام شده‌اند.

با بررسی شکل ۷ می‌توان دریافت که در عمق‌های نزدیک به عمق موثر، کاهش سرعت بسیار ناچیز است. درحالی‌که در عمق نزدیک به آبخور شناور میزان کاهش سرعت، بسیار زیاد بوده و کارایی شناور را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. در نتیجه با کاهش عمق محیط ناوبری، میزان کاهش سرعت شناور، افزایش یافته و پارامتر عمق تاثیر بیشتری روی سرعت شناور می‌گذارد.

با توجه به تاثیر شرایط آب‌وهوایی محیط ناوبری دریایی بر حرکت شناور، به کمک الگوریتم دیکسترا، مسیر بهینه ناوبری زمانمند با زمان کمینه در دو وضعیت آب‌وهوایی مختلف محاسبه شده است. همچنین این مسیر بهینه با کوتاه‌ترین مسیر ناوبری دریایی و مسیر با تاثیر عمق بهینه بر سرعت شناور مقایسه می‌گردد. مسیر با



شکل ۸- تعیین مسیر بهینه ناوربری، مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاهترین مسیر بین بندر پيپاواو کشور هند و بندر بوشهر در وضعیت آبوهوایی اول (شروع سفر از صفر بامداد روز ۶ ژانویه سال ۲۰۱۰)

تاثیر عمق بهینه منطبق شده است که این دو مسیر اختلاف چندانی با کوتاهترین مسیر ندارند. در تنگه هرمز این مسیرها به دلیل قید جغرافیایی بر هم منطبق می‌باشند. در خلیج فارس با توجه شرایط مساعدتر وضعیت آبوهوایی در نواحی ساحلی نسبت به نواحی مرکزی، اختلاف چندانی بین مسیرهای موجود نمی‌باشد. در نهایت پس از دو روز سفر دریایی شناور در ساعت ۱۳ روز ۸ ژانویه به بندر بوشهر می‌رسد. در جدول ۶ اطلاعات مربوط به هر یک از مسیرها ارائه شده است.

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد در ابتدای سفر، شرایط جوی محیط ناوربری در وضعیت باد متوسط با عدد بافورد ۴ می‌باشد. با توجه به جهت برخورد بردارهای باد به شناور (موافق و یا عمود بر جهت حرکت شناور)، براساس شکل ۵ تاثیر بسزایی بر سرعت شناور نداشته و در نتیجه مسیر بهینه زمانی (مسیر به رنگ مشکی) بر مسیر با تاثیر عمق بهینه (مسیر به رنگ قرمز) منطبق می‌گردد. در ادامه سفر با توجه به کاهش محسوس سرعت وزش باد و به طبع آن ارتفاع موج (وضعیت آبوهوایی با عدد بافورد کمتر از ۴)، مسیر بهینه زمانی بطور تقریبی بر مسیر با

جدول ۶- اطلاعات مسیر بهینه ناوربری، مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاهترین مسیر بین بندر پيپاواو کشور هند و بندر بوشهر در وضعیت آبوهوایی اول (شروع سفر از صفر بامداد روز ۶ ژانویه سال ۲۰۱۰)

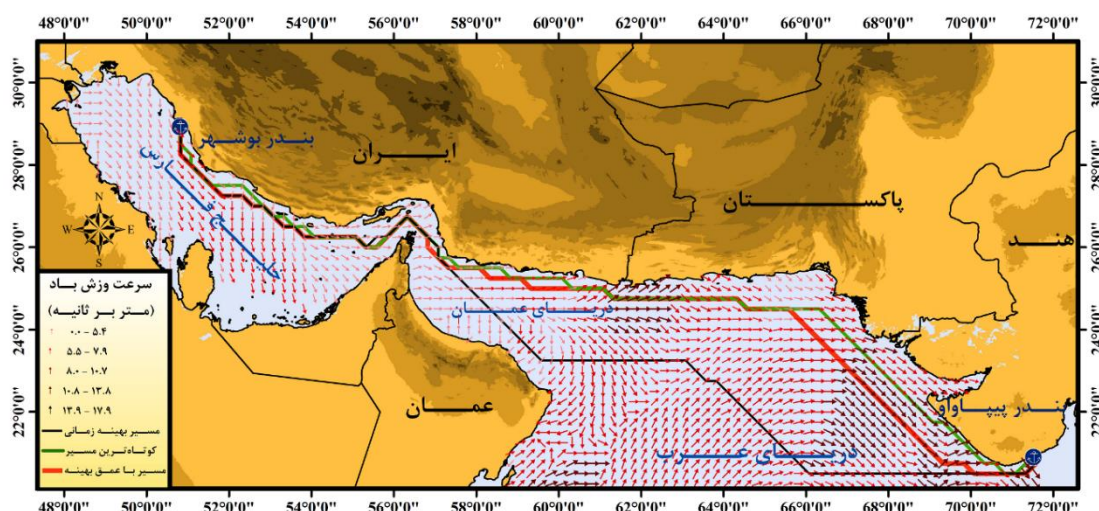
مسیر ناوربری دریایی	زمان شروع سفر دریایی	زمان رسیدن به مقصد	مدت زمان سفر دریایی (ساعت)	مسافت پیموده شده (مایل)
مسیر بهینه زمانی	صفر بامداد روز ۶ ژانویه	ساعت ۱۳ روز ۸ ژانویه	۶۱ ساعت	۱۴۲۲٫۰۵
کوتاهترین مسیر	صفر بامداد روز ۶ ژانویه	ساعت ۱۴ و ۴۲ دقیقه روز ۸ ژانویه	۶۲ ساعت و ۴۲ دقیقه	۱۴۲۰٫۳۳
مسیر با تاثیر عمق بهینه	صفر بامداد روز ۶ ژانویه	ساعت ۱۳ و ۲۲ دقیقه روز ۸ ژانویه	۶۱ ساعت و ۲۲ دقیقه	۱۴۲۲٫۰۷

کوتاهترین مسیر کمتر است. در نتیجه با توجه به مساعد بودن شرایط آبوهوایی محیط ناوربری در این ۳ روز، میزان کاهش سرعت ناچیز بوده و مسیر بهینه زمانی به طور تقریبی منطبق بر مسیر با تاثیر عمق بهینه است. درواقع در حدود ۲٫۷ درصد زمان سفر بهینه گردیده است.

با بررسی جدول ۶ در وضعیت آبوهوایی اول، زمان سفر در مسیر بهینه زمانی ۲۲ دقیقه نسبت به مسیر با تاثیر عمق بهینه و ۱ ساعت و ۴۲ دقیقه نسبت به کوتاهترین مسیر کمتر است. همچنین زمان سفر در مسیر با تاثیر عمق بهینه ۱ ساعت و ۲۰ دقیقه نسبت به

در وضعیت آب‌وهوایی دوم، مطابق شکل ۹ مسیر بهینه زمانی بین دو بندر پیاوا و بندر بوشهر در روزهای ۲۱، ۲۲ و ۲۳ فوریه سال ۲۰۱۰، در شرایط آب‌وهوایی

نامساعد که شرایط جوی به صورت وضعیت باد طوفانی با عدد بافورد ۷ متلاطم شده‌است محاسبه گردیده است.



شکل ۹- تعیین مسیر بهینه ناوبری، مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاه‌ترین مسیر بین بندر پیاوا و کشور هند و بندر بوشهر در وضعیت آب‌وهوایی دوم (شروع سفر از صفر بامداد روز ۲۱ فوریه سال ۲۰۱۰)

با توجه به شکل ۹ در شروع سفر دریایی در ساعت صفر بامداد روز ۲۱ فوریه، شرایط آب‌وهوایی سواحل غربی کشور هند در وضعیت جوی باد تند (بردارهای قهوه‌ای تیره) قرار دارد که مسیر بهینه زمانی جهت پرهیز از ناوبری در این ناحیه به سمت غرب ادامه می‌یابد. در صورتیکه مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاه‌ترین مسیر به سمت شمال غربی منحرف می‌شوند. پس از عبور از شرایط جوی با وضعیت باد تند، در صورت ادامه مسیر بهینه ناوبری به سمت غرب، جهت برخورد باد و موج بصورت باد و موج از مقابل می‌باشد. با تغییر جهت حرکت به سوی شمال غربی، جهت برخورد باد و موج به شناور به حالت عرضی تغییر کرده و در نتیجه با توجه به شکل ۵ تاثیر موج و باد بر سرعت شناور کاهش می‌یابد. در ادامه سفر به دلیل ورود به ناحیه با وضعیت

جوی باد تند (بردارهای قهوه‌ای تیره) در سواحل جنوبی مرز ایران و پاکستان و همچنین تغییر جهت بردارهای باد به سمت جنوب شرقی، مسیر بهینه زمانی به سمت غرب تغییر جهت می‌دهد. با عبور از ناحیه جوی مذکور با توجه به قید جغرافیایی و به منظور عبور از تنگه هرمز، مسیر بهینه زمانی دوباره به سمت شمال غربی تغییر جهت می‌دهد. در تنگه هرمز مسیر بهینه زمانی به مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاه‌ترین مسیر ملحق می‌گردد. در خلیج فارس با توجه به عدم تفاوت محسوس شرایط آب‌وهوایی در نواحی مختلف، مسیر بهینه زمانی منطبق بر مسیر با تاثیر عمق بهینه می‌باشد. در نهایت شناور در ساعت ۱۴ و ۳۰ دقیقه روز ۲۳ فوریه به بندر بوشهر می‌رسد. در جدول ۷ مشخصات مربوط به هر یک از مسیرها ارائه شده است.

جدول ۷- اطلاعات مسیر بهینه ناوبری، مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاه‌ترین مسیر بین بندر پیاوا و کشور هند و بندر بوشهر در وضعیت آب‌وهوایی دوم (شروع سفر از صفر بامداد روز ۲۱ فوریه سال ۲۰۱۰)

مسیر ناوبری دریایی	زمان شروع سفر دریایی	زمان رسیدن به مقصد	مدت زمان سفر دریایی (ساعت)	مسافت پیموده شده (مایل)
مسیر بهینه زمانی	صفر بامداد روز ۲۱ فوریه	ساعت ۱۴ و ۳۲ دقیقه روز ۲۳ فوریه	۶۲ ساعت و ۳۲ دقیقه	۱۴۳۱
کوتاه‌ترین مسیر	صفر بامداد روز ۲۱ فوریه	ساعت ۱۸ روز ۲۳ فوریه	۶۶ ساعت	۱۴۲۰٫۳۳
مسیر با تاثیر عمق بهینه	صفر بامداد روز ۲۱ فوریه	ساعت ۱۶ و ۲۵ دقیقه روز ۲۳ فوریه	۶۴ ساعت و ۲۵ دقیقه	۱۴۲۲٫۰۷

۵- نتیجه گیری

در مدل ارائه شده در این تحقیق، با در نظر گرفتن تغییرات شرایط آب و هوایی و مدل سازی آن در فرایند مسیریابی، مسیر بهینه زمانمند با زمان سفر کمینه از بندر پیاواو در کشور هند تا بندر بوشهر محاسبه شده است. این مسیر پیشنهادی براساس پیش بینی های آب و هوایی محیط ناوربری پیش از شروع سفر دریایی در مرحله طراحی سفر به فرماندهی شناور ارائه می گردد. در فرایند مسیریابی، تاثیر عوامل باد و موج به کمک روش Kwon با توجه به سرعت محاسباتی قابل قبول و همچنین در نظر گرفتن پارامترهای هندسی شناور در این روش و تاثیر عامل عمق با استفاده از رابطه Lackenby تعیین شده است. در نهایت با توجه به نامنفی بودن وزن یال های گراف محیط ناوربری (زمان پیمودن یال)، سادگی مدل ریاضی پیاده سازی شده و پیچیدگی محاسباتی کمتر، به کمک الگوریتم مسیریابی دیکسترا مسیر بهینه محاسبه گردیده است.

در مسیر بهینه پیشنهادی، به رغم افزایش مسافت پیموده شده در سفر دریایی، زمان سفر نسبت به سایر مسیرهای موجود بویژه مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاهترین مسیر کمتر می شود. همچنین این کاهش زمان سفر با نامساعدتر شدن شرایط آب و هوایی محیط ناوربری، بیشتر می گردد. در نتیجه مدل پیشنهادی در این تحقیق جهت تعیین مسیر بهینه زمانی موثر بوده و با توجه به زمان طولانی سفرهای دریایی، زمان سفر را کاهش می دهد که به طبع آن هزینه های سفر دریایی کمتر می شود.

عوامل تاثیرگذار بر سرعت شناور در محیط ناوربری، شرایط آب و هوایی و عمق می باشند. در شرایط آب و هوایی مساعد با توجه به تاثیر کم پارامترهای باد و موج بر سرعت شناور، پارامتر عمق عامل تعیین کننده مسیر بهینه بوده و مسیر بهینه زمانی بر مسیر با تاثیر عمق بهینه منطبق می گردد. در شرایط آب و هوایی نامساعد پارامترهای باد و موج عوامل تعیین کننده مسیر بهینه می باشند و مسیر بهینه زمانی به دلیل پرهیز از ناوربری در نواحی آب و هوایی با تاثیر زیاد بر سرعت شناور، از مسیر با تاثیر عمق بهینه جدا می گردد.

با مراجعه به جدول ۷ زمان سفر در مسیر بهینه زمانی در وضعیت آب و هوایی نامساعد، ۱ ساعت و ۵۳ دقیقه نسبت به مسیر با تاثیر عمق بهینه و ۳ ساعت و ۲۸ دقیقه نسبت به کوتاهترین مسیر کاهش یافته است که با توجه به شرایط نامساعد آب و هوایی کاهش زمان سفر محسوس می باشد. در این سفر زمان در حدود ۶ درصد بهینه شده است.

با توجه به مسیرهای تعیین شده، در هر دو وضعیت آب و هوایی مطرح شده در این تحقیق، مسیر محاسبه شده توسط الگوریتم پیشنهادی به رغم افزایش مسافت پیموده شده در سفر دریایی موفق به کاهش زمان سفر شده است. در وضعیت آب و هوایی اول، در روزهای ۶ تا ۸ ژانویه، با توجه به شرایط مساعد آب و هوایی، زمان سفر در مسیر بهینه زمانی نسبت به مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاهترین مسیر به ترتیب ۲۲ دقیقه و ۱ ساعت و ۴۲ دقیقه کمتر بوده است. این اختلاف زمانی در وضعیت آب و هوایی دوم با توجه به نامساعدتر شدن شرایط آب و هوایی محیط ناوربری افزایش یافته و نسبت به مسیر با تاثیر عمق بهینه و کوتاهترین مسیر به ترتیب برابر با ۱ ساعت و ۵۳ دقیقه و ۳ ساعت و ۲۸ دقیقه می باشد. در نتیجه با نامساعدتر شدن شرایط آب و هوایی، تاثیر عوامل موج و باد بر سرعت شناور بیشتر شده و اختلاف زمانی بین مسیر بهینه زمانی با سایر مسیرهای موجود بیشتر می گردد.

در وضعیت آب و هوایی اول، که گریدهای آب و هوایی محیط ناوربری دریایی دارای عدد بافورد کم می باشند با توجه به شکل ۵ و ۷ تاثیر عمق بر کاهش سرعت شناور از تاثیر باد و موج بیشتر بوده و در نتیجه بطور تقریبی مسیر بهینه زمانی با مسیر با تاثیر عمق بهینه یکسان می باشد. در وضعیت آب و هوایی دوم با متلاطم شدن دریا، تاثیر عوامل باد و موج از عامل عمق بیشتر گردیده و مسیر بهینه به منظور پرهیز از ناوربری در نواحی با شرایط جوی نامساعد با تاثیر زیاد بر سرعت شناور، از مسیر با تاثیر عمق بهینه جدا می گردد.

همچنین در هر دو وضعیت آب و هوایی مطالعاتی در این تحقیق، با توجه به یکسان بودن شرایط آب و هوایی در سراسر منطقه خلیج فارس، علیرغم تاثیر این شرایط بر سرعت شناور، مسیر بهینه زمانی منطبق بر مسیر با تاثیر عمق بهینه می باشد.

همچنین در شرایط آب‌وهوایی مساعد و حتی نامساعد، در نواحی که وسعت محیط ناوبری نسبت به قدرت تفکیک مکانی گریدهای آب‌وهوایی بسیار بزرگ نیست (مانند خلیج فارس)، شرایط آب‌وهوایی بین گریدهای مجاور تغییرات محسوسی ندارد و در نتیجه تاثیر

شرایط آب‌وهوایی بر سرعت شناور در گریدهای مجاور و بطور تقریبی کل منطقه یکسان بوده و تعیین مسیر بر اساس عامل عمق صورت می‌گیرد. بنابراین در این نواحی مسیر بهینه زمانی با مسیر با تاثیر عمق بهینه یکی می‌شود.

مراجع

- [1] Association, I.M., (2011), "International Shipping Facts and Figures—Information Resources on Trade, Safety, Security, and the Environment," ed: London: International Maritime Association.
- [2] Larsson, E. and Simonsen, M.H., (2014), "DIRECT Weather Routing".
- [3] Panigrahi, J., Padhy, C., Sen, D., Swain, J., and Larsen, O., (2012), "Optimal ship tracking on a navigation route between two ports: a hydrodynamics approach," Journal of marine science and technology, vol. 17, pp. 59-67.
- [4] Eskild, H., (2014), "Development of a Method for Weather Routing of Ships".
- [5] Sen, D. and Padhy, C.P., (2010), "Development of a ship weather-routing algorithm for specific application in north Indian Ocean region," in The International Conference on Marine Technology, Dhaka, pp. 21-27.
- [6] Böttner, C.U., (2007), "Weather routing for ships in degraded conditions," in International Symposium on Safety, Security and Environmental Protection. National Technical University of Athens, Athens.
- [7] Padhy, C.P., Sen, D., and Bhaskaran, P.K., (2008), "Application of wave model for weather routing of ships in the North Indian Ocean," Natural Hazards, vol. 44, pp. 373-385.
- [8] Montes, A.A., (2005), "Network shortest path application for optimum track ship routing," Monterey, California. Naval Postgraduate School.
- [9] Mannarini, G., Coppini, G., Oddo, P., and Pinardi, N., (2013), "A prototype of ship routing decision support system for an operational oceanographic service," TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 7, pp. 53-59.
- [10] Dijkstra, E.W., (1959), "A note on two problems in connexion with graphs," Numerische mathematik, vol. 1, pp. 269-271.
- [11] Cormen, T.H., (2009), Introduction to algorithms: MIT press.
- [12] Molland, A.F., Turnock, S.R., and Hudson, D.A., (2011), Ship resistance and propulsion: practical estimation of propulsive power: Cambridge university press.
- [13] Shao, W., Zhou, P., and Thong, S.K., (2012), "Development of a novel forward dynamic programming method for weather routing," Journal of marine science and technology, vol. 17, pp. 239-251.
- [14] Kwon, Y., (2008), "Speed loss due to added resistance in wind and waves," Naval Architect, pp. 14-16.
- [15] Hansen, S.V., Petersen, J.B., Jensen, J.J., and Lützen, M., (2011), "Performance Monitoring of Ships" Technical University of Denmark Danmarks Tekniske Universitet, Department of Naval Architecture and Offshore Engineering Institut for Skibs-og Havteknik.
- [16] Aas-Hansen, M., (2010), "Monitoring of hull condition of ships".
- [17] Dee, D., Uppala, S., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., et al., (2011), "The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system," Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 137, pp. 553-597.
- [18] "Wikipedia on ECMWF wind data: <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily>, Access Date: 22 April 2015".
- [19] "Wikipedia on MOERI Container Ship Dimension: <http://www.simman2008.dk/KCS/container.html>, Access Date: 30 January 2015".
- [20] "Wikipedia on SRTM30 Plus: ftp://topex.ucsd.edu/pub/srtm30_plus, Access Date: 15 January 2015".