

ارائه یکتابع توزیع جهتی مناسب برای امواج محدوده منطقه تنگه هرمز

رضا قارنگیان^۱، مهدی شفیعی فر^{۲*}، روزبه پناهی^۳

^۱ کارشناس ارشد مهندسی عمران سازه‌های دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ r.ghazangian@modares.ac.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس؛ shafiee@modares.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس؛ rpanahi@modares.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

در این مقاله، با ارزیابی عملکرد توابع توزیع جهتی استاندارد در مقایسه با توزیع جهتی میدانی موج در محدوده منطقه تنگه هرمز، نسبت به کالیبراسیون توابع استاندارد منتخب و معروف تابع توزیع جهتی مناسب این منطقه پرداخته شده است. تابع توزیع میدانی از روی داده‌های میدانی ثبت شده در باره‌های زمانی ۱۰ الی ۲۰ ماه و در عمق ۲۵ متری در چهار ایستگاه متفاوت منطقه و پس از استخراج رخدادهای حدی (منتخب) استخراج گردیده است. ارزیابی آماری عملکرد توزیع‌های جهتی استاندارد بیانگر ضعف آن‌ها در ارائه شرایط جهتی این منطقه می‌باشد. بر این اساس، با متغیر در نظر گرفتن ضرایب معروفی شده در این توزیع‌ها و با استفاده از روش گرادیان کاهش یافته عمومی، سعی گردیده است تا خطای این مدل‌ها کاهش یابد. این کالیبراسیون در دو حالت وابسته به رخداد طوفان و مستقل از آن، برای سه مدل کسینوسی، پوآسون و هایپربولیک انجام شده و بهبود بدست آمده برای هر سه مدل مذکور، بیش از ۶۰٪ بوده است. بدین ترتیب، می‌توان از هر یک از مدل‌های کالیبره شده مذکور، با توجه به وسعت اندازه‌گیری‌های موجود، به عنوان تقریب بهتری از تابع توزیع جهتی موج منطقه بهره برد.

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۱/۲۵

تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۳۱

کلمات کلیدی:

تنگه هرمز

تابع توزیع جهتی

مدل کسینوسی

مدل پوآسون

مدل هایپربولیک

A Proper Directional Spreading Function (DSF) For Waves Climate of Hormuz Strait Zone

Reza Gharangian¹, Mehdi Shafieefar^{2*}, Roorzbeh Panahi³

¹ M.Sc. Graduate, Tarbiat Modares University, r.ghazangian@modares.ac.ir

² Professor of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, shafiee@modares.ac.ir

³ Assistant Professor of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, rpanahi@modares.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 12 Jan. 2015

Accepted: 14 Apr. 2015

Available online: 22 Sep. 2015

Keywords:

Strait of Hormoz

Directional Spreading Function

Cosine Model

Poisson Model

Hyperbolic Model

ABSTRACT

In this article by evaluating the performance of standard Directional Spreading Functions (DSFs) with those of field DSs at the Strait of Hormuz, such standard DSFs have been calibrated. Here, field DSs have been extracted considering the region extreme events based on up to 20 months field measurements at four different 25m stations. Statistical assessment of standard DSFs clearly showed their lack of accuracy. So, a calibration procedure considering their introduced coefficients as variables using generalized reduced gradient method was used. Such procedure has been implemented with and without considering the event's direction for Cosine-power, Poisson and hyperbolic DSFs. Results show a great improvement up to 60% in terms of their conformity. So, such calibrated DSFs could be used as a better approximation of wave directional distribution based on available measurements at the region.

۱ - مقدمه

$$S(f, \theta) = S(f) D(f, \theta) \quad (1)$$

که در آن $S(f)$ همان رابطه مدل طیفی تک جهته یا طیف بدست آمده از تحلیل فوریه بر داده‌های موج می‌باشد. $D(f, \theta)$ ضریب اصلاح جهتی یا تابع توزیع جهتی است که کمیتی بی‌بعد بوده و به عنوان تابع انتشار جهت‌دار شناخته می‌شود. زاویه θ معمولاً در جهت عقربه‌های ساعت با مبدأ صفر در راستای جهت

غالب موج اندازه گیری می‌شود و محدوده عملی از $\frac{\pi}{2} - \theta$ را داراست [۳]. فرم تابع $D(f, \theta)$ شکل عمومی ندارد و برای آن روابط مختلفی توسط محققین پیشنهاد شده است.

روابط پیشنهاد شده تابع‌های توزیع جهتی را می‌توان در سه دسته کسینوسی، پواسون و هایپربولیک دسته بندی نمود. هریک از این روابط دارای ضریب ثابت و متغیری هستند که توسط محققان مختلف و برای شرایط و داده‌های دریاهای گوناگون توصیه شده‌اند. در این مقاله ضمن معرفی پیشنهاد مدل‌سازی جهتی امواج، نسبت به مدل‌سازی توزیع جهتی امواج با سه تابع کسینوسی، پواسون و هایپربولیک با ضرایب پیشنهاد شده توسط سایر محققان اقدام و سپس با استفاده از داده‌های میدانی ثبت شده، توزیع جهتی میدانی استخراج و برای افزایش دقیق مدل‌سازی نسبت به کالیبراسیون و پیشنهاد ضرایبی متناسب با شرایط منطقه تنگه هرمز اقدام شده است.

۲- معرفی داده‌ها

سازمان بنادر و دریانوردی در بخشی از پروژه پایش و مدل‌سازی عددی دریاهای کشور اقدام به اندازه گیری داده‌های میدانی منطقه تنگه هرمز با استفاده از دستگاه ای‌وک^۳ شرکت نورتک نروژ نموده است. این داده‌ها در چهار ایستگاه مجزا اندازه گیری شده‌اند، به طوریکه ۱۵۰۰ کیلومتر از مناطق ساحلی جنوب (با در نظر گرفتن سواحل جزیره قشم) را تحت پوشش قرار می‌دهد. شکل ۱ نقشه و جدول ۱ جزئیات ایستگاه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

توزیع در جهت، از خصوصیات پایه امواج بوده و در درک مکانیک امواج اقیانوس شامل ایجاد، پخش و شکست آن‌ها نقش مهمی دارد. امواج دریا معمولاً از نظر ارتفاع، پریود و جهت انتشار نامنظم هستند. نامنظمی امواج از نظر ارتفاع و پریود بیشتر مورد توجه کارشناسان بوده اما به پراکندگی جهتی آن‌ها که در محاسبات مهندسی کاملاً موثر است کمتر پرداخته شده است.

از مهمترین پدیده‌هایی که تحت تأثیر پراکندگی جهتی موج قرار دارند میتوان به تأثیر در نحوه انکسار، تفرق، تغییر ارتفاع و میزان نفوذ امواج به بنادر اشاره کرد. همچنین میزان تأثیر امواج بر ایجاد جریان ساحلی و جابجایی رسوب در منطقه شکست^۱ موج به طور قابل ملاحظه‌ای وابسته به مقدار بی‌نظمی جهتی آن‌ها است. با این فرض که شرایط امواج بر اثر برهم‌نهی تعداد زیادی از امواج سینوسی با فرکانس و جهت متفاوت به وجود می‌آید، بیان ریاضی شرایط دریایی به صورت جهت‌دار قابل طرح است [۱]. با توجه به محدودیت اطلاعات، دانش توزیع جهتی امواج در مقایسه با طیف‌های فرکانسی بسیار محدودتر است. اما در سال‌های اخیر، دستگاه‌های موج نگاری که بتوانند در همه جهات اطراف میدان موج در محلی معلوم مشخصات موج را ثبت کنند بصورت وسیعی استفاده می‌شوند. در این دستگاه‌ها با اندازه گیری یکی از دو پارامتر هیدرودینامیکی مشابه (تراز و یا فشار) در یک سری نقاط نزدیک به هم (در فاصله یک تا ده متر) و یا اندازه گیری پارامترهای متفاوت (فشار و دو مولفه سرعت افقی) در یک نقطه و با استفاده از تحلیل همبستگی متقابل این داده‌ها با تحلیل طیفی، طیف جهت‌دار موج حاصل می‌شود.

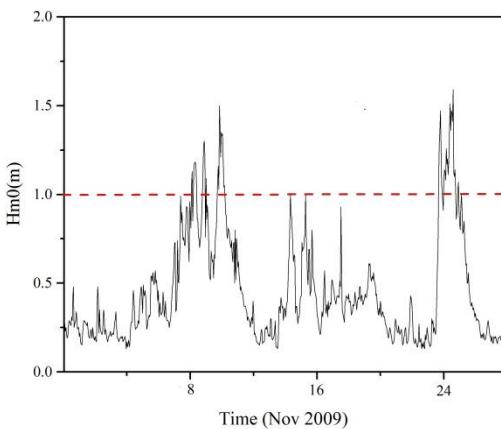
از طرفی انتشار جهت‌دار انرژی موج در میدان موج ناشی از باد، وابسته به فرکانس است. معمولاً مولفه‌های امواج با فرکانس‌های بالاتر طیف موج (پریودهای کوتاه‌تر) محدوده وسیعی از جهات را دارند، در حالیکه برای فرکانس‌های نزدیک فرکانس حداقل (پریودهای بلندتر)، انرژی موج روی جهت غالب موج متمرکز می‌شود [۲].

مدل‌های جهت‌دار موج معمولاً از ضرب مدل‌های تک جهته در ضریبی که تابع فرکانس و جهت موج است، حاصل می‌شوند:

جدول ۱- جزئیات اندازه گیری ایستگاه‌های موج تنگه هرمز

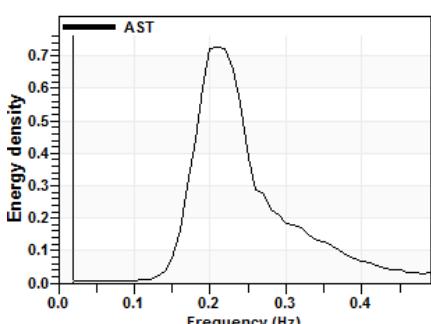
فاصله تا نزدیک‌ترین ساحل (Km)	مختصات نقطه اندازه گیری (UTM)		پایان	شماره ایستگاه	عمق شروع (متر)	بازه زمانی اندازه گیری
	Y	X				
۷	۲۹۷۲۵۲۸	۷۰۸۰۹۸	۲۰۱۰/۰۷/۰۸	۲۰۰۹/۰۹/۱۲	۲۵	۱
۰/۵۰	۲۹۰۵۶۴۲	۲۵۰۹۰۱	۲۰۱۰/۱۰/۱۲	۲۰۰۹/۰۹/۱۰	۲۵	۲
۲/۳۰	۲۹۶۶۵۸۶	۴۳۰۴۸۶	۲۰۱۱/۰۶/۲۷	۲۰۰۹/۱۰/۰۶	۲۵	۳
۳/۳۰	۲۸۳۲۴۹۷	۵۷۵۶۵۳	۲۰۱۱/۰۵/۱۷	۲۰۱۰/۰۹/۰۴	۲۵	۴

در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است در صورت انتخاب آستانه‌ای بالاتر از این مقدار تعداد رخدادهای غالب کاهش یافته و بر این اساس ممکن است نتایج حاصل از بررسی توزیع‌های جهتی و کالبیراسیون با ضعف‌هایی به واسطه کمبود اطلاعات روپرتو شود و لذا نتایج قابلیت تعمیم مناسبی نداشته باشد. همچنین می‌توان گفت در صورت انتخاب آستانه‌ای بالاتر، امواج مرتفع‌تر پراکنده‌گی جهتی کمتری دارند و لذا میزان خطای ناشی از مدل سازی جهتی برای امواج مرتفع‌تر کمتر می‌شود. شکل ۲ نمونه‌ای از تغییرات تراز سطح آب در ایستگاه شماره ۳ را نشان می‌دهد. که طوفان‌های با ارتفاع موج فراتر از ۱ متر مشخص شده‌اند.



شکل ۲- تغییرات ارتفاع مشخصه موج (خط چین: آستانه تعريف شده)

پس از شناسایی طوفان‌های با ارتفاع بیش از ۱ متر نسبت به شناسایی جهت رخداد این طوفان پرداخته می‌شود. شکل ۳ و ۴ نمونه‌ای از خروجی‌های نرم افزار استورم (نرم افزار ساخته شده توسط شرکت نورتک نروژ که برای تحلیل و پردازش داده‌های خام پروژه مانیتورینگ سواحل جنوب ارائه کرده‌اند) از طیف تک جهت و توزیع جهتی برای طوفان رخداده است. همانطور که از شکل ۳ مشخص است فرکانس پیک برابر 0.20 هرتز و از شکل ۴ جهت متناظر با فرکانس پیک برابر 0.285 درجه (با در نظر گرفتن صفر مثلثاتی در این نرم افزار) یا جنوب شرقی می‌باشد.



شکل ۳- طیف تک جهتی طوفان منتخب ایستگاه شماره ۳ (ارتفاع موج مشخصه 1.15 متر، پریود پیک $4/77$ و تاریخ رخداد $(2009/11/22)$)



شکل ۱- نقشه قرارگیری ایستگاه‌های تنگه هرمز

داده‌های فوق‌الذکر توسط دستگاه ای وک و به دو روش ای اس تی^۳ و پی بو وی^۴ اندازه‌گیری شده‌اند. روش پی بو وی که قدمت آن به دهه ۱۹۷۰ برمی‌گردد بر پایه اندازه‌گیری سه کمیت فشار (P) و دو مولفه افقی و قائم سرعت چرخشی موج یعنی U و V اجازه تخمین پارامترهای جهت‌دار موج را می‌دهد اما این روش برای اندازه‌گیری کل محدوده امواج ناشی از باد (امواج با پریود بین 0.50 تا 3.0 ثانیه) مناسب نمی‌باشد.

اما در روش ای اس تی که در سال ۲۰۰۲ برای اولین بار مورد استفاده قرار گرفت، یک دستگاه مبدل^۵ با جهت قائم با استفاده از یک سنسور اکو^۶ ساده فاصله دقیق دستگاه تا تراز سطح آب را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کند. این نوع اندازه‌گیری مستقیم مزیت‌های بسیاری دارد. اولین و مهمترین آن این است که هیچ محدودیت عمیقی برای آبهای ساحلی ندارد و دیگر اینکه بیشترین سهم ممکن از نوار امواج ناشی از باد را پوشش می‌دهد. لذا با توجه به اندازه‌گیری داده‌های منطقه تنگه هرمز با استفاده از هر دو روش فوق‌الذکر و برتری روش ای اس تی به سایر روش‌ها، در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده به روش ای اس تی برای مطالعه استفاده شده است.

منطقه تنگه هرمز با توجه به دسترسی که به دریای عمان از سمت جنوب شرقی دارد، در موقعی از سال تحت تأثیر امواج مونسون دریای عمان قرار می‌گیرد لذا بررسی جهات رخداد طوفان (θ_0) در این ناحیه از الزامات این مطالعه می‌باشد.

در ادامه به تعريف آستانه طوفان و بررسی جهت و تعداد طوفان‌های رخداد در این منطقه پرداخته می‌شود. آستانه طوفان^۷ شامل تعریف یک آستانه برای شناسایی امواج بیش از این مقدار به عنوان طوفان است که در این مقاله $H_{m0} = 1^m$ را به عنوان آستانه طوفان و امواج بزرگتر از این مقدار به عنوان طوفان رخداد در این منطقه

ضرایب پیشنهاد شده توسط میتسویاسو و همکاران به عنوان یکی از
شناخته شده‌ترین توابع توزیع جهتی در مهندسی دریا شناخته
می‌شود. رابطه (۳) مدل کسینوسی توزیع جهتی امواج را نشان
می‌دهد [۶].

$$D(f, \theta) = \begin{cases} G(s) \cos^{2s} \left(\frac{\theta - \theta_0}{2} \right) & -\frac{\pi}{2} + \theta_0 < \theta < \frac{\pi}{2} + \theta_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$G(s) = \frac{d^{2s-1}}{e} \frac{\Gamma^g(s+1)}{\Gamma(2s+1)}$$

$$s = \begin{cases} s_{\max} \left(\frac{f}{f_p} \right)^b & f < f_p \\ s_{\max} \left(\frac{f}{f_p} \right)^c & f > f_p \end{cases} \quad (3)$$

$$s_{\max} = \begin{cases} a & \text{for Wind Waves} \\ a' & \text{for Swell Waves with large steepness} \\ a'' & \text{for Swell Waves with small steepness} \end{cases}$$

میتسویاسو و همکاران ضرایب رابطه فوق را به صورت جدول ۳ پیشنهاد کردند.

جدول ۳- ضرایب پیشنهادی میتسویاسو و همکاران برای مدل کسینوسی [۶]

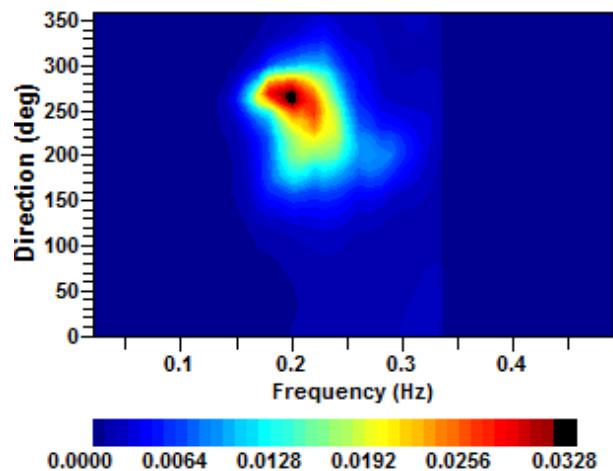
g	e	d	c	b	a''	a'	a
۲	۳/۱۴	۲	-۲/۳	۵	۷۳	۲۳	۱۰

در مدل میتسویاسو و همکاران f و f_p به ترتیب فرکانس و فرکانس پیک بر حسب Hz می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود برای امواج محلی ناشی از باد، پارامتر کنترل کننده فرکانس (s_{max}) برابر ۱۰ و برای امواج دورآ با مسافت زوال کم و زیاد به ترتیب ۲۸ و ۷۵ تمصیح شده است [۴].

هاسلمن و همکاران با استفاده از داده‌های پروژه جانسوآپ^۹ در سال ۱۹۷۶، وانگ در سال ۱۹۹۲، کروستاد و همکاران در سال ۱۹۹۷، کومار و همکاران در سال ۱۹۹۴ [۷]، کومار در سال ۲۰۰۸ [۸] و سریسوآن و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۹] هریک رابطه فوق را با داده‌های میدانی مناطق مختلف کالیبراسیون و مقادیر s_{max} متفاوتی را در هر منطقه پیشنهاد کردند. در ادامه در سال ۱۹۸۶ تابع توزیع جهتی مطابق یک مدل پواسونی^{۱۰} و طبق رابطه (۴) معروف شد [۱۰].

$$D(f, \theta) = a \cdot \frac{1-x^2}{1-2x\cos(\theta)+x^2}$$

$$x = \begin{cases} x(f) = b \left(f / f_p \right)^c & \text{for } f \leq f_p \\ x(f) = d \left(f / f_p \right)^e & \text{for } f > f_p \end{cases} \quad (\text{F})$$



شکل ۴- توزیع جهتی در طوفان رخ داده ایستگاه ۳ (تاریخ رخداد (۲۰۰۹/۱۱/۲۲

با توجه به موارد بیان شده در بالا و شناسایی تمامی طوفان‌های منطقه، در جدول ۲ تعداد جهات و دامنه تغییرات پریود و موج مشخصه نشان داده شده است. قابل ذکر است تعداد طوفان‌های بیان شده در این جدول از یکدیگر مستقل نیستند به عبارت دیگر پس از شناسایی طوفان رخداده تمامی امواج بالای ۱ متر و توزیع جهتی مربوط به آن‌ها استخراج گردیده است.

جدول ۲- مشخصات طوفان‌های شناسایی شده در هر ایستگاه

جهت رخداد طوفان	دامنه تغییرات ارتفاع	دامنه تغییرات ارتفاع	دامنه تغییرات ارتفاع	تعداد طوفان
شناصایی شده	موج مشخصه در طوفان (متر)	پریود پیک در طوفان (ثانیه)	دامنه تغییرات ارتفاع	تعداد طوفان
($H_{m0} \geq 1^m$)	طوفان (متر)	طوفان (ثانیه)	شناصایی شده	شناصایی شده
شمال غربی	۱-۲/۹۱	۲-۹/۳۹	۱۹۰	
غرب	۱-۲/۶۳	۱-۹/۸۸	۱۱۵	
جنوب غربی	۱-۲/۲۴	۰/۸-۱۰	۳۴۰	
جنوب شرقی	۱-۱/۹۵	۲-۸	۵۶	

۳- توابع توزیع جهتی استاندارد

اولین تابع توزیع جهتی توسط پیرسون و همکاران در سال ۱۹۵۵ و بر اساس یک مدل کسینوسی^۱ مطابق فرمول (۲) پیشنهاد گردید [۴].

$$D(\theta) = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta & -\frac{\pi}{2} + \theta_0 < \theta < \frac{\pi}{2} + \theta_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{F})$$

که در آن θ جهت رخداد امواج و θ_0 جهت پریود پیک می باشد.
از آن جا که مدل فوق هیچگونه ارتباطی با فرکانس امواج ندارد
بنابراین لانگوت هیگینز و همکاران در سال ۱۹۶۳، کریلوف در سال
۱۹۶۶، میتسویاسو در سال ۱۹۷۵ و گودا و سوزوکی در سال ۱۹۷۶
[۵] رابطه (۲) را اصلاح و توابعی مرتبط با فرکانس و بر پایه توابع
کسینوسی پیشنهاد کردند. در میان روابط مذکور تابع کسینوسی با

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D(f, \theta)_{filed} - D(f, \theta)_{mod})^2}{n}} \quad (6)$$

$$Error(V) = \frac{|V_{mod} - V_{field}|}{V_{mod}} \quad (7)$$

در ادامه با توجه به روابط بیان شده تابع‌های توزیع جهتی، پارامترهای آماری حاصل از مقایسه مدل‌های توزیع جهتی با توزیع‌های جهتی مستخرج ایستگاه‌های ۱ الی ۴ تنگه هرمز در جدول ۶ نشان داده شده است. همانطور که از جدول ۶ و شکل ۵ مشخص است هر سه مدل عملکرد ضعیفی داشته و نیاز است نسبت به اصلاح هر سه مدل اقدام شود.

جدول ۶- عملکرد آماری توزیع‌های جهتی استاندارد در مقایسه با توزیع‌های جهتی میدانی با توجه به جهت رخداد طوفان

Error (V)	RMSE	جهت توزیع جهتی	رخداد رخداد طوفان
٪۲۰	٪۴۰	میتسویاسو و همکاران	شمال
٪۲۷	٪۵۱	لیره و کروستاد	غربی
٪۳۵	٪۶۳	دونلن و همکاران	
٪۲۲	٪۲۷	میتسویاسو و همکاران	غرب
٪۲۹	٪۴۹	لیره و کروستاد	
٪۳۹	٪۵۶	دونلن و همکاران	
٪۲۶	٪۴۶	میتسویاسو و همکاران	جنوب
٪۳۱	٪۵۹	لیره و کروستاد	جنوب
٪۳۴	٪۶۱	دونلن و همکاران	غربی
٪۲۴	٪۴۱	میتسویاسو و همکاران	جنوب
٪۲۶	٪۵۰	لیره و کروستاد	شرقی
٪۲۹	٪۵۷	دونلن و همکاران	

شکل ۵ توزیع جهتی را در میدان و در مقایسه با سه مدل استاندارد مذکور نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است هر سه تابع استاندارد همانند توزیع جهتی میدانی در فرکانس پیک (f_p) = 0.14 و در زاویه پریود پیک (θ₀) = 180° حداقل می‌باشند.

همچنین برای بررسی بیشتر نمایی دو بعدی از عملکرد این توابع استاندارد مطابق شکل ۶ رسم شده است. همانطور که از بررسی شکل ۵ و ۶ مشخص می‌گردد توزیع جهتی استاندارد میتسویاسو و دونلن یک توزیع با پهنای باند کمتر نسبت به مقدار میدانی ارائه می‌دهند و توزیع جهتی استاندارد لیره نیز عملکردی دو قله دارد لذا برای افزایش دقت مدل‌سازی جهتی امواج لازم است هر سه مدل اصلاح می‌شوند.

لیره و کروستاد نیز ضرایب رابطه فوق را صورت جدول ۴ پیشنهاد کردند.

جدول ۴- ضرایب پیشنهادی لیره و کروستاد برای مدل پوآسونی [۹]

e	d	c	b	a
-۰/۳۵	۰/۹	۲/۲۱	۰/۹	۰/۵

دونلن و همکاران نیز در سال ۱۹۸۵ تابع توزیع جهتی را به عنوانی مدلی هایپربولیک^{۱۱} طبق رابطه (۵) معرفی نمودند [۹].

$$D(f, \theta) = a\beta \cosh^{-2} [\beta(\theta - \theta_0)]$$

$$\beta = \begin{cases} b \left(\frac{f}{f_p} \right)^c & \text{for } 0.56 < \frac{\omega}{\omega_p} < 0.95 \\ d \left(\frac{f}{f_p} \right)^e & \text{for } 0.95 < \frac{\omega}{\omega_p} < 1.60 \\ h \left(\frac{f}{f_p} \right)^g & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

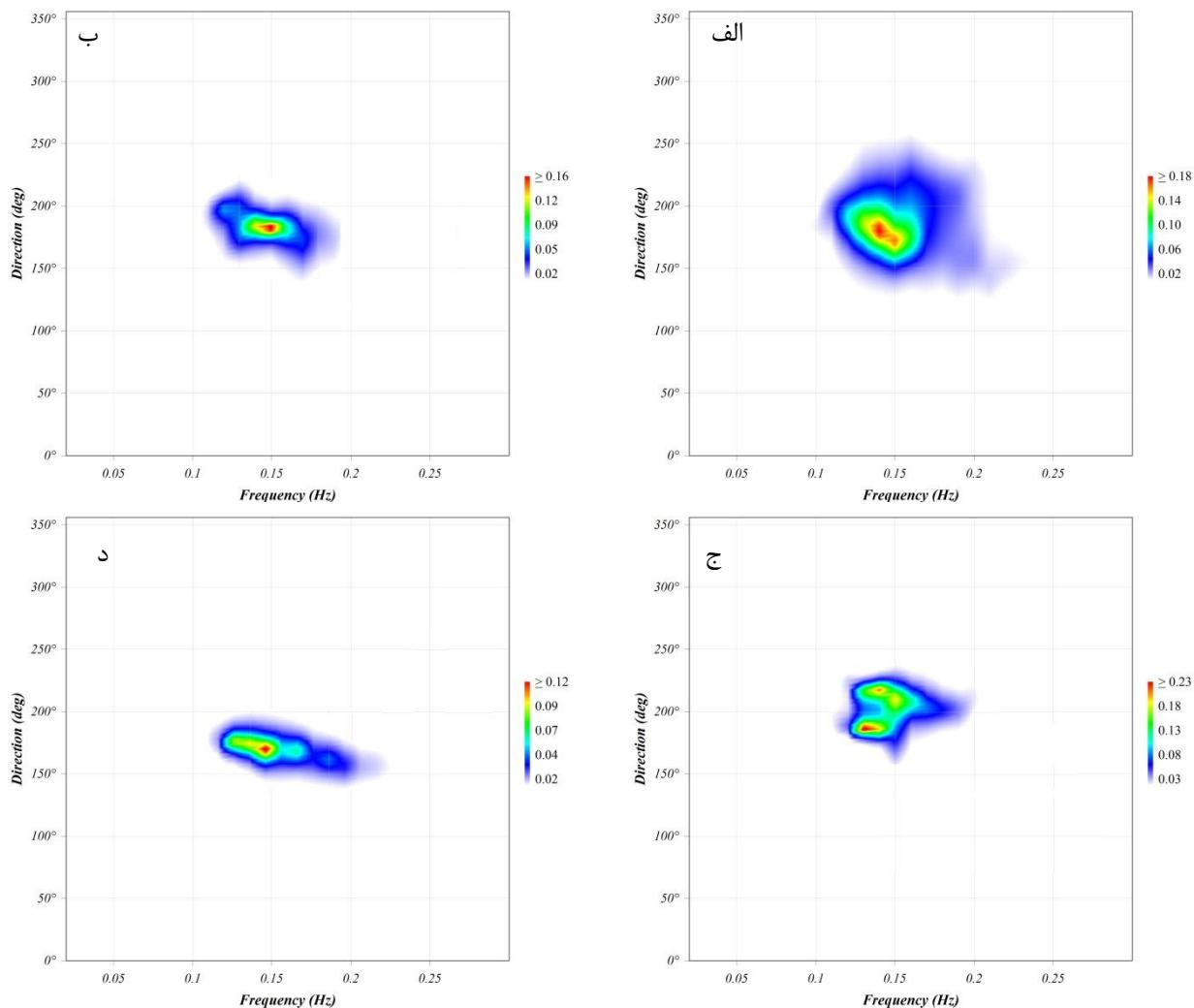
دونلن و همکاران ضرایب رابطه فوق را به صورت جدول ۵ پیشنهاد کردند.

جدول ۵- ضرایب پیشنهادی دونلن و همکاران برای مدل هایپربولیک [۹]

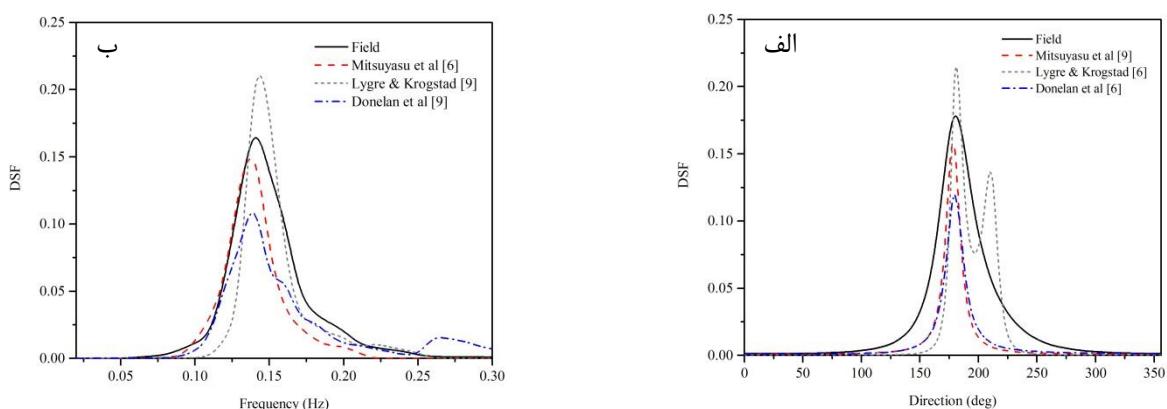
g	h	e	d	c	b	a
۰	۱/۲۴	-۱/۳	۲/۲۸	۱/۳	۲/۶۱	۰/۵

که در آن f و f_p به ترتیب فرکانس و فرکانس پیک بر حسب Hz، θ و θ₀ به ترتیب جهت موج و جهت پریود پیک بر حسب درجه می‌باشد.

۴- عملکرد تابع‌های توزیع جهتی استاندارد برای مقایسه مدل‌های طیفی بیان شده با طیف‌های استخراج شده در هر ایستگاه دو معیار مختلف تعریف می‌شود. این معیارها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که حداقل اطلاعات آماری از نحوه همخوانی داده‌های میدانی با مدل‌های جهتی را ارائه دهد. خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و همچنین اختلاف حجم بین داده‌های میدانی و داده‌های ناشی از مدل‌سازی (Error (V)) که بیانگر میزان اختلاف انرژی ناشی از مدل سازی با داده‌های میدانی می‌باشد، از معیارهای انتخاب شده برای مطالعه آماری این تحقیق می‌باشد. روابط (۶) و (۷) این دو معیار را نشان می‌دهند.



شکل ۵- عملکرد توزیع‌های جهتی استاندارد در مقایسه با توزیع جهتی میدانی "رخداد از سمت غرب $(\theta_0 = 180^\circ)$ مورخه ۲۰۱۰/۱۲/۱۳" الف: توزیع جهتی میدانی، ب: توزیع جهتی میتسویاسو و همکاران [۶] ج: لیره و کروستاد [۹] د: دونلن و همکاران [۹]



شکل ۶- نمای دو بعدی عملکرد توزیع‌های جهتی استاندارد در مقایسه با توزیع جهتی میدانی "رخداد از سمت غرب $(\theta_0 = 180^\circ)$ مورخه ۲۰۱۰/۱۲/۱۳" الف: توزیع جهتی در فرکانس بیک، ب: توزیع جهتی در جهت غالب رخداد

شده برای این ضرایب توسط میتسویاسو و همکاران در بخش ۳ تعریف شد. قابل ذکر است با توجه به بررسی عملکرد توزیع جهتی استاندارد مشخص گردید که ضریب کنترل کننده فرکانس (s_{max}) در این منطقه حدود ۱۰ است که مناسب برای امواج ناشی از باد است لذا به جای تعریف سه ضریب کنترل فرکانس (a, a', a'') فقط یک ضریب a تعریف می‌شود.

جدول ۷ نتایج حاصل از بهینه‌سازی مدل کسینوسی را با توجه به جهت رخداد طوفان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این بهینه‌سازی منجر به افزایش حداقل ۷۸٪ (رخداد غرب) دقت مدل‌سازی توزیع جهتی در این منطقه گردیده است.

۵- کالیبراسیون تابع‌های توزیع جهتی استاندارد

با در نظر گرفتن نتایج جدول ۶ در این بخش به بهینه‌سازی ضرایب توزیع جهتی هر سه مدل فوق پرداخته می‌شود. هدف از انجام این بهینه‌سازی افزایش توانایی توابع توزیع جهتی و یافتن ضرایب مناسب این توابع برای مدل سازی در این منطقه می‌باشد. روش مورد استفاده برای این منظور روش گرادیان کاهاش یافته عمومی می‌باشد که با توجه به این روش نسبت به کمینه کردن مقدار $Error(V)$ و $RMSE$ اقدام می‌شود.

۵-۱- کالیبراسیون تابع توزیع جهتی کسینوسی

برای این تابع توزیع جهتی نسبت به کالیبراسیون این مدل با ۶ ضریب a, b, c, d, e, g اقدام می‌شود. مقادیر استاندارد پیشنهاد

جدول ۷- نتایج حاصل از کالیبراسیون تابع توزیع جهتی کسینوسی با توجه به جهت رخداد

نتایج با ضرایب کالیبره شده								نتایج با ضرایب پیشنهادی میتسویاسو و همکاران								رخداد
$Error(V)$	$RMSE$	g	e	d	c	b	a	$Error(V)$	$RMSE$	g	e	d	c	b	a	طوفان
۰/۰۵	۰/۰۸	۲	۳/۲۷	۲/۳۰	-۳	۵	۱۴	۰/۲	۰/۴	۲	۳/۱۴	۲	-۲/۵	۵	۱۰	شمال
۰/۰۸	۰/۰۶	۲	۳/۲۵	۳/۱۱	-۳	۵/۵	۱۲	۰/۲۲	۰/۳۷	۲	۳/۱۴	۲	-۲/۵	۵	۱۰	غربی
۰/۱۰	۰/۱۰	۲	۲/۷۷	۳/۷۲	-۳	۵	۱۲	۰/۲۶	۰/۴۶	۲	۳/۱۴	۲	-۲/۵	۵	۱۰	جنوب
۰/۰۷	۰/۰۸	۲	۲/۹۵	۳/۵۴	-۳	۴/۳	۱۰	۰/۲۴	۰/۴۱	۲	۳/۱۴	۲	-۲/۵	۵	۱۰	شرقی

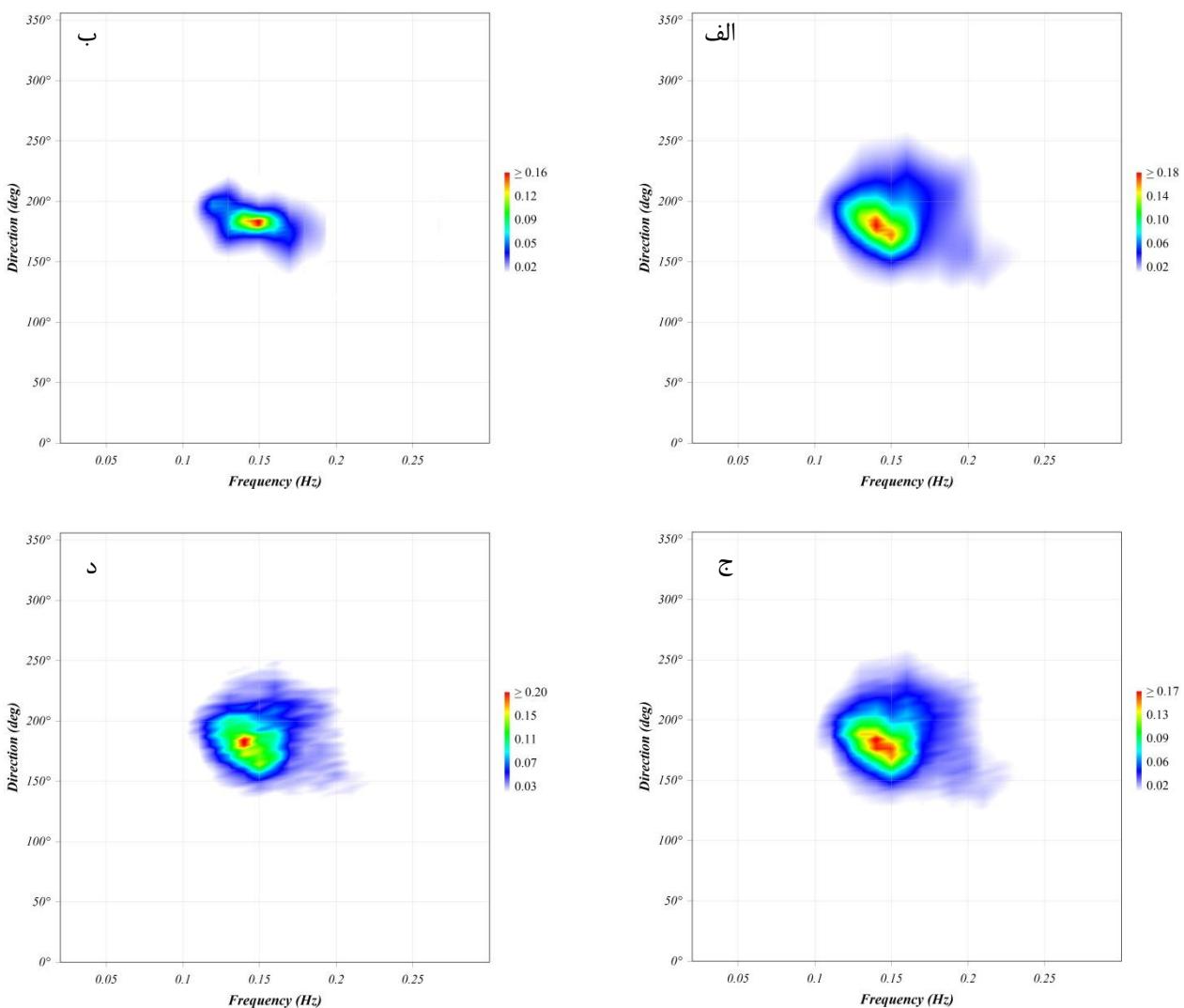
بیشتر نسبت به مدل میتسویاسو و همکاران هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود این بهینه‌سازی بیش از ۷۰٪ خطای مدل‌سازی توزیع جهتی برای منطقه تنگه هرمز را کاهش می‌دهد.

در ادامه و برای دستیابی به مدلی کاربردی‌تر تابع فوق بدون توجه به جهت رخداد موج و با روی هم قرار دادن تمامی داده‌های میدانی مورد کالیبراسیون قرار می‌گیرد. نتایج حاصل مطابق جدول ۸ دارای دقت پایین‌تر نسبت به تابع وابسته به توزیع جهتی، و دارای دقت

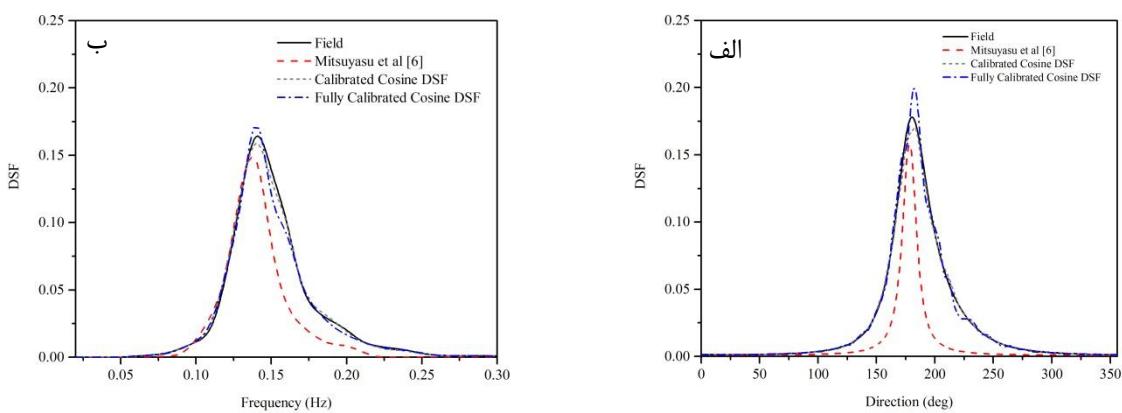
جدول ۸- نتایج حاصل از کالیبراسیون تابع توزیع جهتی کسینوسی بدون توجه به جهت رخداد (کاملاً کالیبره شده)

نتایج با ضرایب کاملاً کالیبره شده								نتایج با ضرایب پیشنهادی میتسویاسو و همکاران							
$Error(V)$	$RMSE$	g	e	d	c	b	a	$Error(V)$	$RMSE$	g	e	d	c	b	a
۰/۱۵	۰/۱۲	۲	۳	۲/۵	-۳	۵	۱۲	۰/۲۴	۰/۴۲	۲	۳/۱۴	۲	-۲/۵	۵	۱۰

شکل ۷ نبز نشان دهنده نحوه عملکرد تابع کسینوسی قبل و بعد از انجام کالیبراسیون و شکل ۸ نمای دو بعدی از عملکرد این تابع توزیع جهتی را نشان می‌دهد.



شکل ۷- عملکرد توزیع های جهتی استاندارد میتسویاسو و همکاران، کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده کسینوسی در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت غرب $(\theta_0 = 180^\circ)$ مورخه ۱۳/۱۲/۲۰۱۰) (الف: توزیع جهتی میدانی، ب: توزیع جهتی میتسویاسو و همکاران [۶]؛ ج: توزیع جهتی کسینوسی کالیبره شده د: توزیع جهتی کسینوسی کاملاً کالیبره شده)



شکل ۸- نمای دو بعدی عملکرد توزیع های جهتی استاندارد میتسویاسو و همکاران، کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده کسینوسی در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت غرب $(\theta_0 = 180^\circ)$ مورخه ۱۳/۱۲/۲۰۱۰) (الف: در فرکانس غالب ب: در جهت رخداد امواج پریود پیک

۲-۵- کالیبراسیون تابع توزیع جهتی پوآسونی

پیشنهادی لیره و کروستاد را با توجه به جهت رخداد طوفان نشان می‌دهد. این بهینه‌سازی منجر به کاهش ۷۰٪ خطای مدل سازی با تابع توزیع جهتی مذکور گردیده است.

برای این تابع توزیع جهتی نسبت به کالیبراسیون این مدل با ۵ ضریب a تا e اقدام می‌شود. مقادیر استاندارد پیشنهاد شده برای این ضرایب توسط لیره و کروستاد در بخش ۳ تعریف شد. جدول ۹ نتایج حاصل از بهینه سازی این توزیع جهتی در مقایسه با ضرایب

جدول ۹- نتایج حاصل از کالیبراسیون تابع توزیع جهتی پوآسونی با توجه به جهت رخداد

Error(V)	RMSE	نتایج با ضرایب کالیبره شده						Error(V)	RMSE	نتایج با ضرایب پیشنهادی لیره و کروستاد						رخداد	طوفان
		e	d	c	b	a	e			e	d	c	b	a			
۰/۰۹	۰/۱۵	-۰/۴۲	۰/۹	۳/۱۲	۰/۹	۰/۵	۰/۲۷	۰/۵۱	-۰/۳۵	۰/۹	۲/۲۱	۰/۹	۰/۵	۰/۵	شمال	غربی	
۰/۱۳	۰/۱۲	-۰/۴۶	۰/۹	۳/۰۵	۰/۹	۰/۵	۰/۲۹	۰/۴۹	-۰/۳۵	۰/۹	۲/۲۱	۰/۹	۰/۵	۰/۵	غرب	جنوب	
۰/۱۵	۰/۱۷	-۰/۴۶	۰/۹	۳/۰۵	۰/۹	۰/۵	۰/۳۱	۰/۵۹	-۰/۳۵	۰/۹	۲/۲۱	۰/۹	۰/۵	۰/۵	غربی	شمال	
۰/۱۱	۰/۱۴	-۰/۴۶	۰/۹	۳/۰۵	۰/۹	۰/۵	۰/۲۶	۰/۵۰	-۰/۳۵	۰/۹	۲/۲۱	۰/۹	۰/۵	۰/۵	جنوب	شرقی	

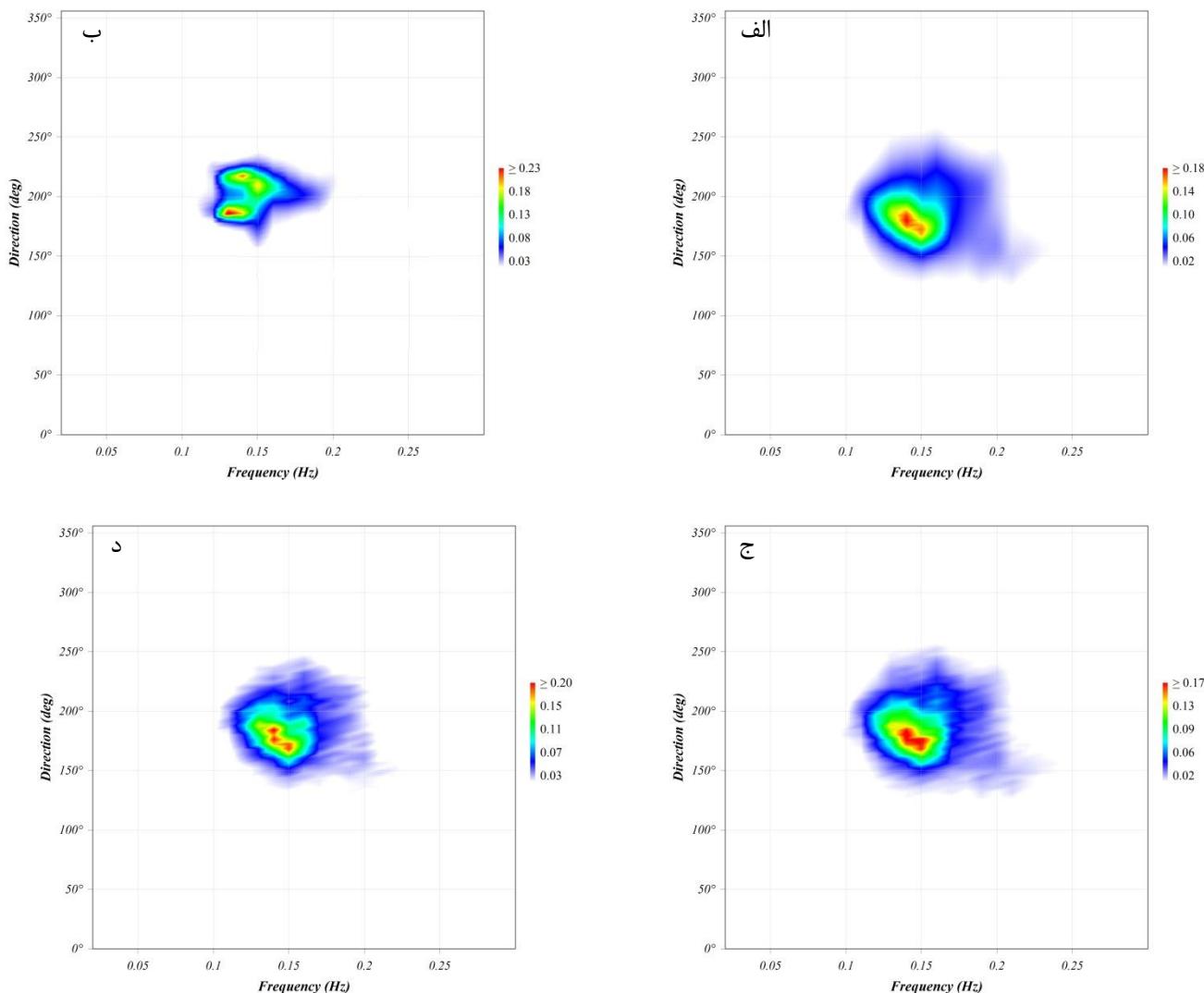
دارای دقت بیشتر نسبت به مدل استاندارد دارند. نتایج جدول ۱۰ بیان کننده کاهش بیش از ۶۰٪ خطای مدل سازی این تابع توزیع جهتی با ضرایب جدید می‌باشد.

در ادامه و برای دستیابی به مدلی کاربردی تر همانند مدل قبلی تابع فوق بدون توجه به جهت رخداد موج و با روی هم قرار دادن تمامی داده های میدانی مورد کالیبراسیون قرار میگیرد. نتایج حاصل دارای دقت پایین تر نسبت به تابع وابسته به توزیع جهتی و

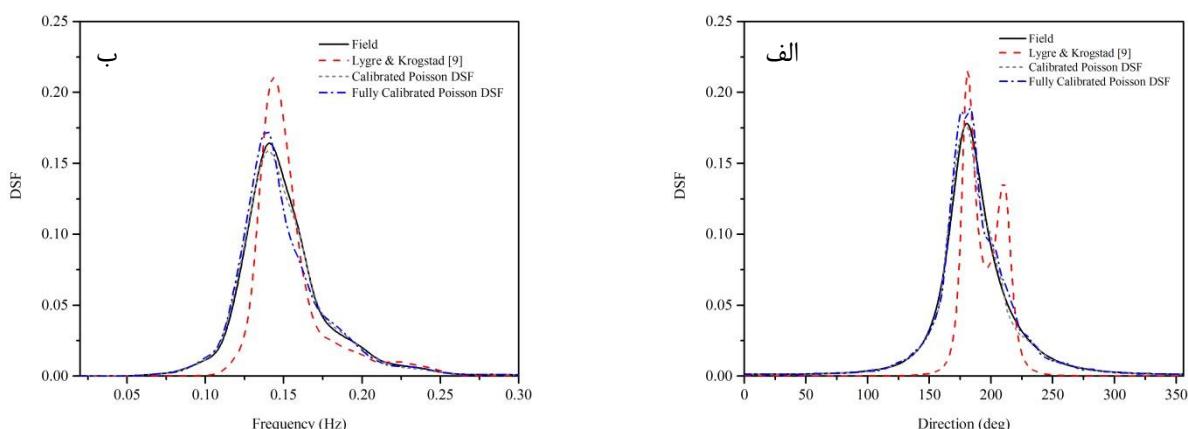
جدول ۱۰- نتایج حاصل از کالیبراسیون تابع توزیع جهتی پوآسونی بدون توجه به جهت رخداد (کاملاً کالیبره شده)

Error(V)	RMSE	نتایج با ضرایب کاملاً کالیبره شده						Error(V)	RMSE	نتایج با ضرایب پیشنهادی لیره و کروستاد					
		e	d	c	b	a	e			e	d	c	b	a	
۰/۱۹	۰/۲۱	-۰/۳۸	۰/۹	۳/۰۰	۰/۹	۰/۵	۰/۲۹	۰/۵۴	-۰/۳۵	۰/۹	۲/۲۱	۰/۹	۰/۵	۰/۵	

شکل ۹ نیز نشان دهنده نحوه عملکرد توزیع استاندارد پوآسونی قبل و بعد از انجام کالیبراسیون و شکل ۱۰ نمای دو بعدی از عملکرد این تابع توزیع جهتی را نشان می دهد.



شکل ۹- عملکرد توزیع های جهتی استاندارد لیره و کروستاد، کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده پوآسونی در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت غرب مورخه ۱۳/۱۲/۱۰) (الف: توزیع جهتی میدانی، ب: توزیع جهتی لیره و کروستاد [۶] ج: توزیع جهتی پوآسونی کالیبره شده د: توزیع جهتی پوآسونی کاملاً کالیبره شده)



شکل ۱۰. نمای دو بعدی عملکرد توزیع های جهتی استاندارد و کاملاً کالیبره شده لیره و کروستاد در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت غرب ($\theta_0 = 180^\circ$) مورخه ۱۳/۱۲/۱۰) (الف: در فرکانس غالب ب: در جهت رخداد موج پریود پیک سمت عرب مورخه ۱۲/۱۳/۱۰) (ا: در فرکانس عالی د: در جهت رخداد موج پریود پیک)

۶۵٪ خطای مدل سازی ضرایبی جدید پیشنهاد نموده است. از آن جا که در منطقه مذکور حدکثر فرکانس امواج رخ داده و ثبت شده حدود ۵٪ هرتز می‌باشد و امواج با فرکانس بیشتر از این نیز در مطالعات مهندسی دریا فاقد ارزش می‌باشند لذا ضرایب b ، c ، d ، e ، a عملاً در مدل سازی نقشی نداشته و برابر صفر توصیه شده‌اند.

۳-۵- کالیبراسیون تابع توزیع جهتی هایپربولیکی
برای این تابع توزیع جهتی نسبت به کالیبراسیون این مدل با ۷ ضریب a, b, c, d, e, g, h اقدام می‌شود. مقادیر استاندارد پیشنهاد شده برای این ضرایب توسط دونلن و همکاران در بخش ۳ تعریف شد. جدول ۱۱ نتایج حاصل از بهینه‌سازی این مدل در مقایسه با مدل استاندارد را با توجه به جهت رخداد طوفان نشان می‌دهد. روش بهینه سازی گرادیان کاهش یافته عمومی با کاهش بیش از

جدول ۱۱- نتایج حاصل از کالیبراسیون تابع توزیع جهتی هایپربولیکی با توجه به جهت رخداد

Error(V)	RMSE	نتایج با ضرایب کالیبره شده							نتایج با ضرایب پیشنهادی دونلن و همکاران							رخداد طوفان	
		<i>g</i>	<i>h</i>	<i>e</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>e</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>		
۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۱۰	۱/۳۷	۰	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۳۵	۰/۶۳	۰	۱/۲۴	-۱/۳	۲/۲۸	۱/۳	۲/۶۱	۰/۵
۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۰	۱/۳۷	۰	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۳۹	۰/۵۶	۰	۱/۲۴	-۱/۳	۲/۲۸	۱/۳	۲/۶۱	۰/۵
۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۱۰	۱/۳۷	۰	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۳۴	۰/۶۱	۰	۱/۲۴	-۱/۳	۲/۲۸	۱/۳	۲/۶۱	۰/۵
۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۰	۱/۳۷	۰	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۲۹	۰/۵۷	۰	۱/۲۴	-۱/۳	۲/۲۸	۱/۳	۲/۶۱	۰/۵

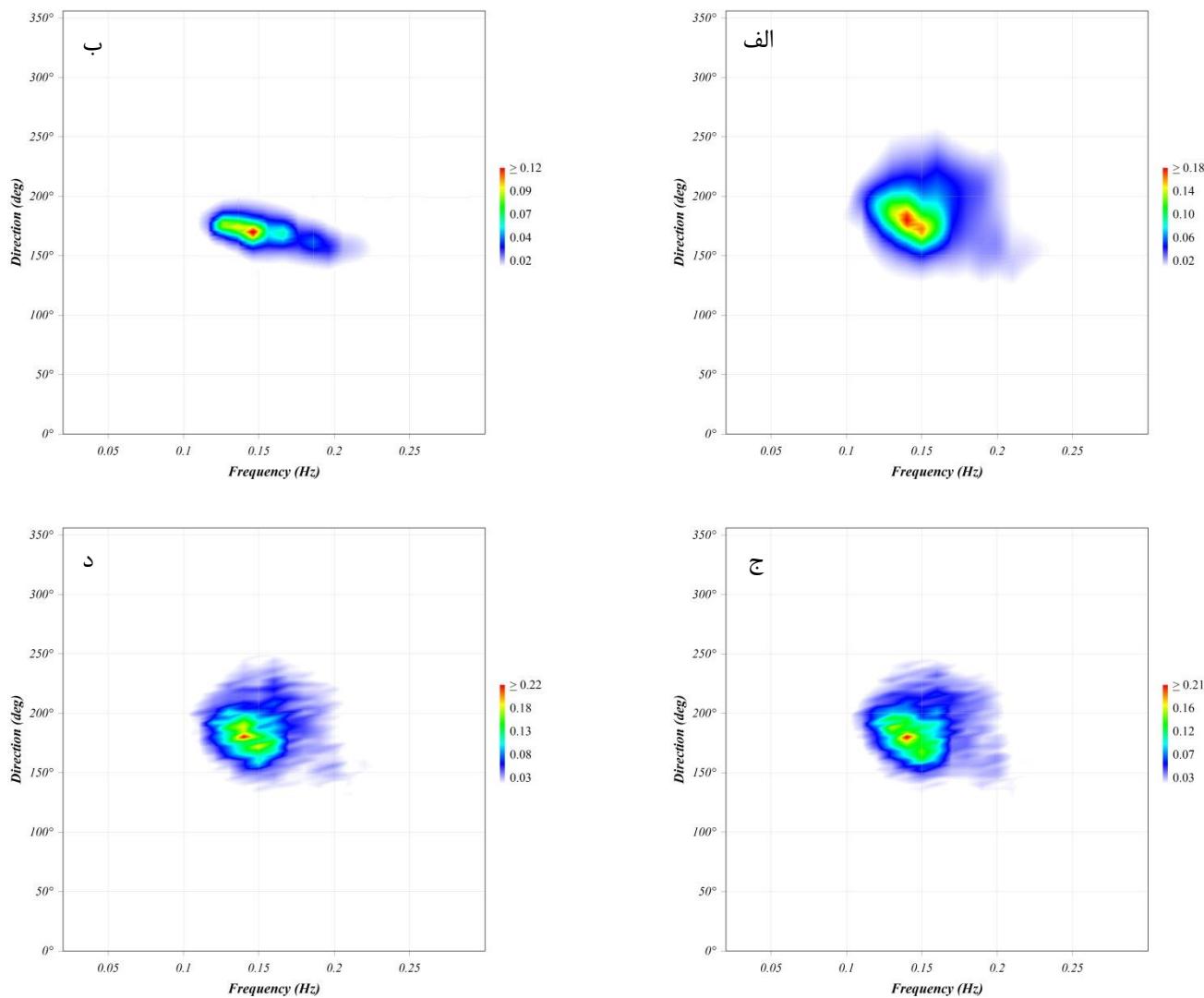
دارای دقت بیشتر نسبت به مدل استاندارد هستند. کاهش بیش از ۶۰٪ خطا در مدل سازی توزیع جهتی و توصیه مقدار صفر برای ضرایب b ، c ، d ، e از نکات قابل توجه جدول ۱۲ می‌باشد.

در ادامه و برای دستیابی به مدلی کاربردی تر همانند مدل قبلی تابع فوق بدون توجه به جهت رخداد موج و با روی هم قرار دادن تمامی داده‌های میدانی مورد کالیبراسیون قرار می‌گیرد. نتایج حاصل دارای دقت پایین تر نسبت به تابع وابسته به توزیع جهتی و

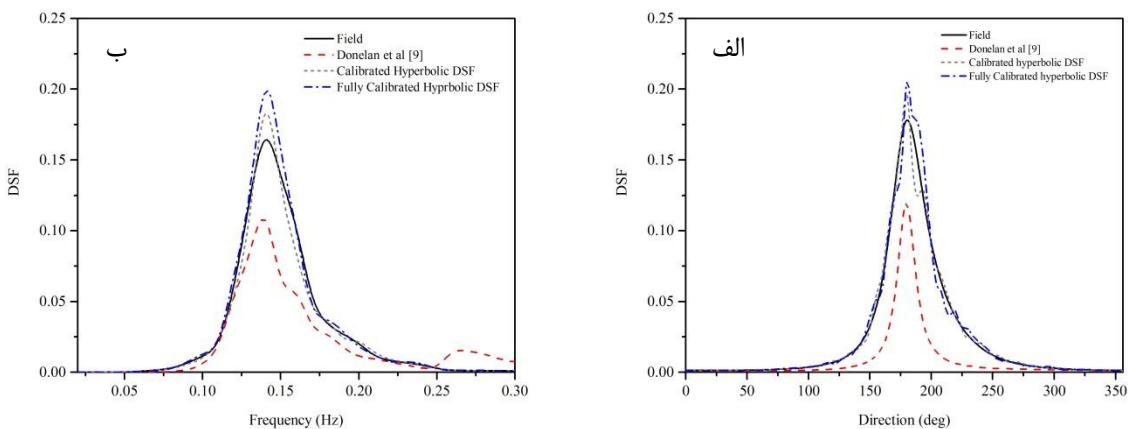
جدول ۱۲- نتایج حاصل از کالیبراسیون تابع توزیع جهتی هایپربولیکی بدون توجه به جهت رخداد (کاملاً کالیبره شده)

Error(V)	RMSE	نتایج با ضرایب کاملاً کالیبره شده							نتایج با ضرایب پیشنهادی دونلن و همکاران								
		<i>g</i>	<i>h</i>	<i>e</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>e</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>		
۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۱۲	۱/۳۰	۰	۰	۰	۰	۰/۵	۰/۳۵	۰/۶۰	۰	۱/۲۴	-۱/۳	۲/۲۸	۱/۳	۲/۶۱	۰/۵

شکل ۱۱ نیز نشان دهنده نحوه عملکرد توزیع استاندارد هایپربولیکی قبل و بعد از انجام کالیبراسیون و شکل ۱۲ نمای دو بعدی از عملکرد این تابع توزیع جهتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- عملکرد توزیع های جهتی استاندارد دونلن و همکاران، کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده هایپربولیکی در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت غرب $(\theta_0 = 180^\circ)$ مورخه ۲۰۱۰/۱۲/۱۳) الف: توزیع جهتی میدانی، ب: توزیع جهتی دونلن و همکاران [۶] ج: توزیع جهتی هایپربولیکی کالیبره شده د: توزیع جهتی هایپربولیکی کاملاً کالیبره شده

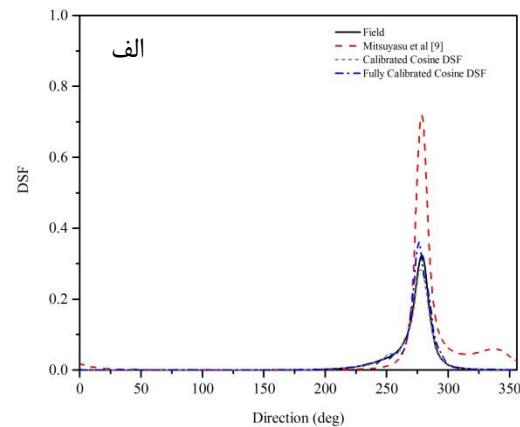
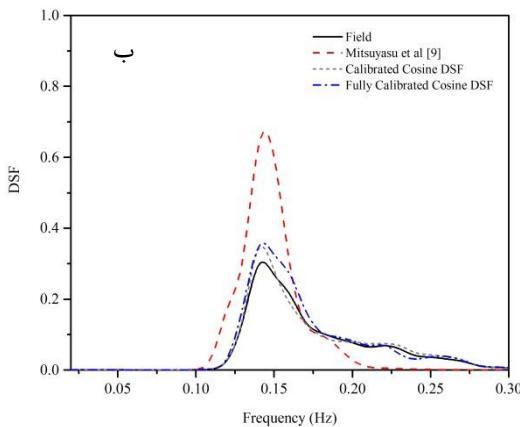


شکل ۱۲- نمای دو بعدی عملکرد توزیع های جهتی استاندارد و کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده دونلن در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت غرب $(\theta_0 = 180^\circ)$ مورخه ۲۰۱۰/۱۲/۱۳) الف: در فرکانس غالب ب: در جهت رخداد موج پریود پیک

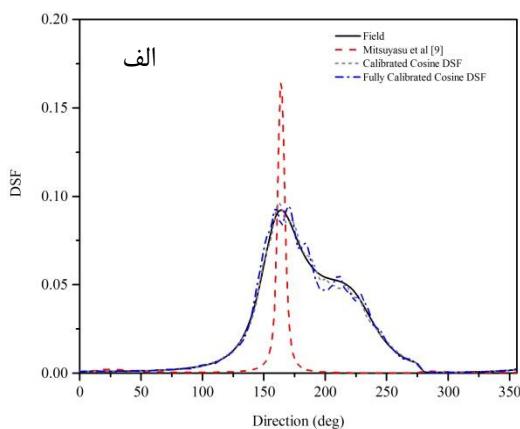
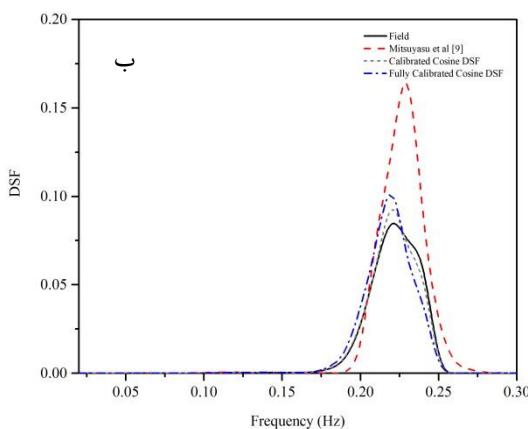
متفاوت (جنوب شرق، شمال غرب و جنوب غرب) و سه پریود پیک متغیر برسی می‌شود. همانطور که از شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ مشخص است هر دو مدل کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده کسینوسی تطابق بسیار خوبی با توزیع جهتی میدانی دارد.

۶- بررسی نتایج در چند طوفان نمونه

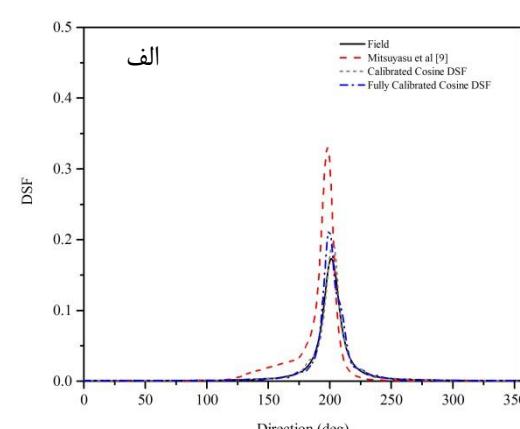
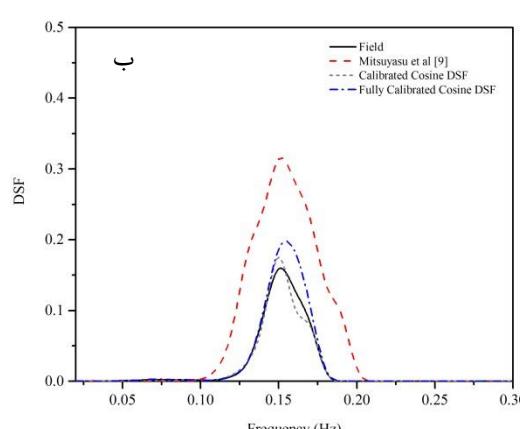
آنچه که از نتایج بخش‌های ۴ و ۵ نتیجه شد حکایت از برتری مدل کسینوسی (در هر سه حالت استاندارد با ضرایب میتسویاسو و همکاران، کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده) نسبت به دو مدل دیگر دارد. در این بخش نتایج در سه طوفان از سه جهت رخداد



شکل ۱۳- نمای دو بعدی عملکرد توزیع‌های جهتی کسینوسی با ضرایب میتسویاسو و همکاران، کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده کسینوسی در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت جنوب شرق) ($\theta_0 = 285^\circ$ مورخه ۱۶/۰۷/۲۰۱۰) الف: در فرکانس غالب ب: در جهت رخداد موج پریود پیک



شکل ۱۴- نمای دو بعدی عملکرد توزیع‌های جهتی کسینوسی با ضرایب میتسویاسو و همکاران، کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده کسینوسی در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت شمال غرب) ($\theta_0 = 170^\circ$ مورخه ۰۶/۰۱/۲۰۱۰) الف: در فرکانس غالب ب: در جهت رخداد موج پریود پیک



شکل ۱۵- نمای دو بعدی عملکرد توزیع‌های جهتی کسینوسی با ضرایب میتسویاسو و همکاران، کالیبره شده و کاملاً کالیبره شده کسینوسی در مقایسه با میدانی (رخداد از سمت جنوب غرب) ($\theta_0 = 200^\circ$ مورخه ۰۴/۰۳/۲۰۱۱) الف: در فرکانس غالب ب: در جهت رخداد موج پریود پیک

11- Hyperbolic Model

۹- مراجع

- 1-Benoit, M., Frigaard, P., & Sch, H. A. (1997). *Analyzing multidirectional wave spectra: a tentative classification of available methods.*. Proc Seminar on Multidirectional Waves and their Interaction with Structures, San Francisco, CA, International Assembly of Hydraulic Research, 131–158.
- 2-Michel, W. H. (1999). *Sea spectra revisited*. Marine Technol, 36(4), 211-227.
- 3- Det Norske Veritas (2011). *Modelling and analysis of marine operations*. Technical Report: DNV-RP-H103
- 4-Casas Prat, M. (2009). *Overview of ocean wave statistics* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- ۵- Goda, Y., & Suzuki, T. (1976). *Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments*. Coastal engineering proceedings, 1(15).
- ۶- Mitsuyasu, H., Tasai, F., Suhara, T., Mizuno, S., Ohkusu, M., Honda, T., & Rikiishi, K. (1975). *Observations of the Directional Spectrum of Ocean Waves Using a Cloverleaf Buoy*. Journal of Physical Oceanography, 5(4), 750-760.
- ۷- Elfouhaily, T., Chapron, B., Katsaros, K., & Vandemark, D. (1997). *A unified directional spectrum for long and short wind-driven waves*. Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012), 102(C7), 15781-15796.
- ۸ - Onorato, M., Cavaleri, L., Fouques, S., Gramstad, O., Janssen, P. A. E. M., Monbaliu, J., ... & Trulsen, K (2009). *Statistical properties of mechanically generated surface gravity waves: a laboratory experiment in a three-dimensional wave basin*. Journal of Fluid Mechanics, 627, 235-257.
- ۹- Srisuwan, C., & Work, P. A. (2013). *Directional surface wave spectra from acoustic Doppler current profiler data*. Ocean Engineering, 72, 149-159.
- ۱۰- Massel, S. R. (1996). *Ocean surface waves: their physics and prediction* (Vol. 11). World Scientific.

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

نتایج حاصل شده در این تحقیق نشانگر عدم توانایی سه مدل توزیع جهتی کسینوسی، پوآسون و هایپربولیک با ضرایب پیشنهادی توسط میتسویاسو همکاران، لیره و کروستاد، و دونلن همکاران برای مدل سازی توزیع جهتی امواج در منطقه تنگه هرمز می باشد. لذا برای افزایش دقت مدل سازی توزیع جهتی امواج در این منطقه توابع مذکور اصلاح شدند. با متغیر در نظر گرفتن ضرایب معروفی شده در این توزیع ها و با استفاده از روش گرادیان کاهش یافته عمومی، حداقل مقدار افزایش دقت مدل سازی برای هر سه مدل کسینوسی، پوآسون و هایپربولیک با در نظر گرفتن جهت رخداد موج به ترتیب برابر ۷۸٪، ۷۰٪ و ۶۵٪ و بدون در نظر گرفتن جهت رخداد موج به ترتیب برابر ۷۰٪، ۶۰٪ و ۵۰٪ بوده است.

ضرایب معروفی شده در این تحقیق با ضرایب معروفی شده توسط سایر محققان (که برای سایر دریاها محاسبه و توصیه شده اند) در برخی موارد اختلاف زیاد و در برخی دیگر اختلاف ناچیزی دارد. این اختلاف ها لزوم استفاده از یک مدل مناسب با توجه به شرایط امواج منطقه تنگه هرمز را بیان می دارد.

در نهایت برای مدل سازی جهتی امواج در منطقه تنگه هرمز می توان از هر سه مدل فوق الذکر استفاده کرد اما بایستی توجه کرد که مدل کسینوسی دارای خطای کمتر و مدل پوآسون دارای رابطه ای ساده تر است.

شایان ذکر است در آینده در صورت ثبت داده هایی جدید در منطقه، نتایج می تواند دارای دقت بیشتری گردد.

۸- تشکر و قدردانی

نتایج ارایه شده در مقاله حاضر، بخشی از پژوهه تعیین مدل مناسب طیف امواج دریای عمان و تنگه هرمز می باشد که با حمایت سازمان بنادر و دریانوردی انجام شده است. مولفین مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مساعdet ها و همکاری های مدیریت محترم کل سواحل و بنادر سازمان بنادر و دریانوردی و همکاران ایشان اعلام می نمایند.

کلید واژگان

- 1- Surf Zone
- 2- AWAC
- 3- AST (Acoustic with Surface Tracking)
- 4- PUV (Pressure with Velocity Vector (U & V))
- 5- Transducer
- 6- Echo Sounder
- 7- Threshold
- 8- Cosine Model
- 9- JONSWAP
- 10- Poisson Model