

# بررسی تأثیر احداث اسکله ها بر الگوی انتشار امواج (مطالعه موردی منطقه کیشهر)

مهدی اسماعیلی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

سید علی آزمون<sup>۲</sup>

<sup>۲</sup> دانشگاه تربیت مدرس

علی کریمی خانیکی<sup>۳</sup>

<sup>۳</sup> مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

---

## چکیده

یکی از مهمترین مسایل در مهندسی دریا، جانمایی مناسب سازه به منظور بهره‌برداری مناسب از آن و به حداقل رساندن مشکلات احتمالی است. با احداث سازه‌های دریایی شرایط طبیعی موج و جریان در منطقه دستخوش تغییرات می‌گردد که این امر تغییر در روند فرایندهای طبیعی حاکم بر مناطق ساحلی را به دنبال دارد. بررسی تأثیر احداث اسکله ها بر الگوی انتشار امواج در منطقه کیشهر می‌تواند از اولین اقدامات بررسی کاربری این سازه دریایی باشد. سیستم مدل‌سازی کاربردی MIKE ۲۱ چندین ماژول جداگانه را شامل می‌شود. ماژول استفاده شده در این مطالعه ماژول امواج نزدیک ساحل (MIKE ۲۱ NSW) است که برای تعیین شرایط موج (ارتفاع، پریود و جهت موج) در مناطق ساحلی کاربرد دارد. برای این منظور الگوی انتشار امواج به کمک ماژول NSW برای حالات قبل و بعد از احداث اسکله ها در دهانه مرداب کیشهر شبیه‌سازی شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که ماژول NSW قابلیت ارائه الگوی واقعی انتشار امواج در مناطق ساحلی را دارا می‌باشد. همچنین مقایسه الگوی انتشار برای دو حالت نشان داد که با احداث اسکله ها، ارتفاع امواج در منطقه حدود ۲۵ درصد کاهش می‌یابد به طوری که ورودی بندر به محل آرامی تبدیل شده و نفوذ امواج به داخل بندر کاهش یافته است.

*کلمات کلیدی: امواج، اسکله، شبیه‌سازی، مدل عددی، MIKE ۲۱*

---

---

\* Corresponding author

E-mail address: esmaeili@cmu.ac.ir

Postal Address: Chabahar Maritime University

University Avenue, Chabahar ۹۹۷۱۷ ۵۶۴۹۹, Iran

## ۱- مقدمه

بررسی امواج نخستین قدمی است که برای هر گونه مطالعه و فعالیتی در جهت شناخت عوامل تأثیرگذار بر رفتار و شرایط موجود در دریا صورت می‌گیرد. در مناطق ساحلی، امواج و جریان‌ها نقش مهمی در تعیین هندسه و شکل سواحل بازی می‌کنند (کرمی‌خانیک و دیگران، ۱۳۸۳). اهمیت موضوع فوق باعث شده که امروزه متخصصان امر در پی اجرای مدل‌های عددی بر روی حوزه‌های کوچک و وسیع آبی باشند. در اینجا فرضیات و نتایج تعدادی از مطالعات صورت گرفته در زمینه تعیین مشخصات امواج ساحلی به طور مختصر بیان می‌شود.

در مطالعه‌ای هانتلی و دیودسن (۲۰۰۲) با بدست آوردن نوسانات سطح آب و مدل کردن آن به وسیله نرم‌افزار عددی (MIKE ۲۱(NSW))، به بررسی مورفولوژی ساحلی در خلیج تیگنموث<sup>۱</sup> انگلستان پرداختند و نتیجه کار را با تصاویر از راه دور مقایسه کردند. با توجه به این که طول دماغه این خلیج حدود دو کیلومتر می‌باشد، آنها شبیه‌سازی را در طول جزر و مدهای مختلف که اطلاعات آن را از اندازه‌گیری‌های پروژه سواحل اروپا<sup>۲</sup> گرفته بودند، انجام دادند و به وابستگی معنی‌داری بین شبیه‌سازی عددی با تصاویر موجود رسیدند. از آنجایی که برای اجرای ماژول هیدرودینامیکی لازم است که قسمت امواج آن اجرا شود، در این کار سعی شد از اطلاعات خروجی قسمت (MIKE ۲۱(NSW)) به عنوان ورودی قسمت (MIKE ۲۱(HD)) استفاده شود و در نهایت با رسم نمودار سرعت جریان برای حالت‌های مختلف ارتفاع موج مشخصه<sup>۳</sup> به تأثیر آنها در مورفولوژی ساحلی پرداخته شد (Huntley and Davidson, ۲۰۰۲).

کرمی‌خانیک و دیگران (۱۳۸۳) تغییرات ایجاد شده در الگوی موج و جریان فصلی دریاچه ارومیه را در اثر احداث بزرگراه شهید کلانتری مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، الگوی کلی موج و جریان با استفاده از ماژول‌های NSW و HD نرم‌افزار MIKE ۲۱ و اطلاعات تهیه شده از آمار باد ثبت شده ایستگاه هواشناسی ارومیه، برای فصول مختلف در دو حالت قبل و بعد از احداث بزرگراه شبیه‌سازی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که بعد از احداث بزرگراه از ارتفاع امواج در منطقه مجاور آن کاسته شده، به طوری که در فصول زمستان و بهار ارتفاع امواج در مجاورت بزرگراه نسبت به قبل از آن، حداقل ۲۵ درصد کاهش یافته است (کرمی‌خانیک و دیگران، ۱۳۸۳).

فلاح و دیگران (۱۳۸۳) در مطالعه‌ای به ارزیابی مدل‌های ریاضی MIKE ۲۱ NSW و WAM در شبیه‌سازی امواج دریای خزر پرداختند. در این تحقیق سعی شده است که کلیه اطلاعات از جمله هیدروگرافی بستر و اطلاعات باد به صورت یکسان در هر دو مدل تعریف شود. در نهایت با رسم نمودارهای ارتفاع موج عمده در فصول مختلف و مقایسه آنها با داده‌های موج حاصل از باد ثبت شده بر روی کشتی‌ها چنین نتیجه گرفته شده است که بلندترین موج‌ها در دو مدل و نتایج حاصل از مشاهدات کشتی‌ها در زمان

<sup>۱</sup> Teignmouth<sup>۲</sup> EuropeanCoast Project<sup>۳</sup> Significant Wave Hieght ( $H_s$ )

یکسانی رخ می‌دهند. اگرچه در بعضی اوقات تفاوت‌هایی نیز بین نتایج مدل‌ها و نتایج حاصل از مشاهدات کشتی‌ها، مشاهده می‌گردد (فلاح و دیگران، ۱۳۸۳).

در مطالعه هیدرودینامیک پروژه‌های دریایی، مشخصات اصلی امواج سالیانه شامل ارتفاع، پریود و طول موج و غیره با استفاده از روش‌های محاسباتی معمول و اطلاعات موجود در ناحیه آب عمیق محاسبه می‌شوند (سهرابی، ۱۳۸۴). معمولاً در بررسی پارامترهای طراحی سازه‌های دریایی و نیز مطالعه رسوب-گذاری در ناحیه ساحلی لازم است تا مشخصات امواج در نزدیکی ساحل محاسبه و برآورد شوند. ورود امواج از منطقه آب عمیق به منطقه نزدیک ساحل باعث تغییر مشخصات اصلی آنها به دلیل اثرگذاری پدیده‌هایی همچون کم‌عمقی<sup>۱</sup>، انعکاس<sup>۲</sup>، انکسار<sup>۳</sup> و غیره می‌شود (Coastal Engineering Manual, ۲۰۰۲).

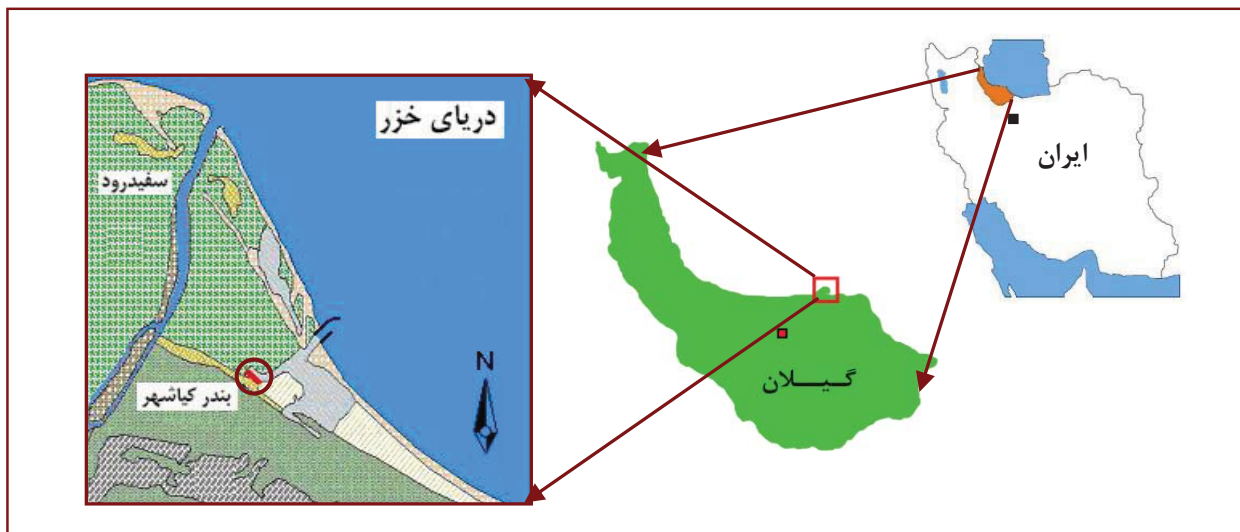
اسکله‌های احداث شده در دهانه مرداب کیشهر که با اهداف بهبود شرایط ناوبری و پایداری دهانه طراحی شده‌اند، منطقه ساحلی را دچار تغییرات قابل ملاحظه‌ای نموده‌اند. از آنجا که هزینه‌ی ساخت سازه‌های دریایی بسیار زیاد می‌باشد، لذا ضروریست که این تغییرات به روش‌های علمی بررسی شده و راهکارهای مناسب برای به حداقل رساندن آثار مخرب در ورودی مرداب و مشکلات به‌وجود آمده برای تردد شناورها ارائه شوند (بی‌نام، ۱۳۷۵). برای این منظور الگوی انتشار امواج در دو حالت قبل و بعد از احداث اسکله‌ها به کمک ماژول NSW بسته نرم‌افزاری MIKE ۲۱ شبیه‌سازی شده و تأثیر احداث این سازه بر الگوی انتشار مورد بحث قرار می‌گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

بندر صیادی کیشهر در استان گیلان و در ۵۱ کیلومتری شمال شرق شهرستان رشت واقع شده است. موقعیت جغرافیایی آن ۳۹ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی است. این بندر در واقع در مجاورت مردابی است که در ضلع شرقی رودخانه سفیدرود و در کنار دریا به طور طبیعی به‌وجود آمده است (الرمضان و دیگران، ۱۳۸۰). رودخانه سفیدرود که مهم‌ترین رودخانه حوزه‌ی جنوبی دریای خزر می‌باشد با طول حدود ۷۸۰ کیلومتر، وسعت حوزه‌ی آبریز ۶۵۰۰۰ کیلومتر مربع و میانگین سالانه آورد ۵۲۰۰ میلیون متر مکعب در منطقه طرح قرار می‌گیرد (بی‌نام، ۱۳۷۵). شکل ۱ موقعیت منطقه کیشهر را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup>Shoaling  
<sup>۲</sup>Reflection  
<sup>۳</sup>Refraction



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه کياشهر (منبع: اسماعیلی، ۱۳۸۶)

## ۲-۲- مازول NSW بسته نرم افزاری MIKE ۲۱

برنامه کامپیوتری مشهور به MIKE ۲۱ که توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک<sup>۱</sup> پایه ریزی و به مرور زمان تکمیل و توسعه یافته است، دارای قابلیت‌های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده‌های مربوط به خورها، دریاچه‌ها، نواحی کم عمق ساحلی، خلیج‌ها و دریاها است. مدل ریاضی MIKE ۲۱ از مازول‌های متعددی نظیر HD<sup>۲</sup>، OSW<sup>۳</sup> و ST<sup>۴</sup> جهت شبیه‌سازی پدیده‌ها استفاده می‌نماید، که هر یک از این مازول‌ها برای کاربرد خاصی طراحی شده‌اند (کرمی‌خانیکی و دیگران، ۱۳۸۳؛ فلاح و دیگران، ۱۳۸۳). در این تحقیق از مازول NSW<sup>۵</sup> استفاده شده است.

MIKE ۲۱ NSW مازول امواج ناشی از باد است که انتشار، رشد و زوال امواج پرپود کوتاه و دامنه کوتاه را در مناطق ساحلی توصیف می‌کند. مازول NSW می‌تواند اثرات انکسار و کم عمقی ناشی از تغییرات عمق، فرایندهای ناشی از باد محلی، اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک بستر، شکست موج و اثر متقابل امواج و جریان بر هم را محاسبه کند. در نواحی باز ساحلی، برای تغییر شکل میدان موج دور از ساحل به منطقه نزدیک ساحل از این مازول استفاده می‌شود.

معادلات ریاضی به کار گرفته شده در مازول NSW معادلات بقای چگالی طیف موج می‌باشند که در محدوده فرکانسی طیف انرژی مرتبه صفر و مرتبه اول موج با استفاده از روش تفاضل محدود اوپلری بوسیله تکنیک ADI<sup>۶</sup> حل گردیده‌اند.

<sup>۱</sup> Danish Hydraulic Institute

<sup>۲</sup> Hydrodynamic Module

<sup>۳</sup> Offshore Spectral Wind-Wave Module

<sup>۴</sup> Sand Transport Module

<sup>۵</sup> Nearshore Spectral Wind-Wave Module

<sup>۶</sup> Alternate Direction Implicit

$$\frac{\partial(C_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(C_{\theta}m_0)}{\partial \theta} = S_0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(C_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(C_{\theta}m_1)}{\partial \theta} = S_1 \quad (2)$$

که در روابط فوق  $m_0(\theta)$  و  $m_1(\theta)$  ممنتوم‌های مرتبه صفر و مرتبه اول طیف توان،  $C_{gx}$  و  $C_{gy}$  مؤلفه‌های سرعت گروهی موج،  $C_{\theta}$  سرعت انتشار بیانگر تغییرات توان موج در جهت  $\theta$ ،  $S_0$  و  $S_1$  ترم‌های چشمه و  $\theta$  جهت انتشار موج می‌باشد. گشتاورهای طیفی  $m_n(\theta)$  به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$m_n(\theta) = \int_0^{\infty} \omega^n A(\omega, \theta) d\omega \quad (3)$$

که در آن  $\omega$  فرکانس و  $A$  چگالی طیف توان موج می‌باشد. سرعت انتشار  $c_{\theta}$  و سرعت‌های گروه  $C_{gx}$  و  $C_{gy}$  با استفاده از تئوری موج خطی به دست می‌آیند. سمت چپ معادلات اساسی اثرات انکسار و کم‌عمقی را محاسبه می‌کند. ترم‌های چشمه  $S_0$  و  $S_1$  اثر انرژی ورودی از طریق باد، اصطکاک بستر دریا و شکست موج را منظور داشته و اثرات جریان روی این پدیده‌ها را هم شامل می‌شود (Manual of MIKE ۲۱, ۲۰۰۳)

### ۲-۳- اجرای مدل

انتخاب محدوده اجرای ماژول NSW و یا به عبارت دیگر طراحی مدل منطقه‌ای، گام نخست در انجام مطالعات این بخش می‌باشد. ابعاد و محدوده مدل منطقه‌ای به محل قرارگیری مرز و وجود اطلاعات مرزی مدل بستگی دارد. علاوه بر این دقت نقشه‌های هیدروگرافی موجود در تعیین محدوده مدل منطقه‌ای مؤثر می‌باشد. برای برآورد مشخصات امواج در نزدیک ساحل لازم است تا اطلاعات موج در ناحیه آب عمیق منطقه به عنوان ورودی به ماژول NSW داده شوند. با توجه به اینکه اندازه‌گیری مشخصات امواج در منطقه طرح صورت نگرفته، برای تعیین مشخصات موج آب عمیق در منطقه به کمک آمار باد از روش SMB<sup>۱</sup> استفاده شده است. در تحلیل مشخصات امواج با استفاده از آمار باد به سه مقدار سرعت، جهت و تداوم باد نیاز می‌باشد. مقادیر سرعت و جهت وزش باد توسط ایستگاه‌های هواشناسی برداشت می‌شوند و تداوم باد نیز با تحلیل داده‌های برداشت شده به دست می‌آید. به منظور دستیابی به جهت باد غالب و به منظور آنالیز باد و بدست آوردن ارتفاع و پریود امواج دور از ساحل در منطقه آب عمیق با استفاده از روش SMB از آمار سی ساله هواشناسی (از سال ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۳) ایستگاه بندر انزلی که نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک به منطقه طرح می‌باشد، استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات طول بادگیر بندر کیاشهر برای ۸ جهت اصلی نشان داده شده است.

<sup>۱</sup>Sverdup-Munk-Bretchneider

جدول (۱) مشخصات طول بادگیر بندر کیشهر

Wind Direction	Fetch (km)	Wind Direction	Fetch (km)
N	۳۳۳/۱	S	.
NE	۴۰۳/۹	SW	.
E	۲۷۷/۵	W	.
SE	۳۶/۰	NW	۱۰۷/۳

(منبع: بی نام، ۱۳۷۵)

با استفاده از برنامه نوشته شده در محیط ویژوال بیسیک<sup>۱</sup> تحلیل سالانه باد بندر انزلی برای جهت های غالب شمال، شمال شرق، شرق و شمال غربی با زمان تداوم ۳، ۶ و ۹ ساعته تحلیل شده و درصد احتمال وقوع آنها (P) بدست آمده است. مشخصات ارتفاع و پیرو امواج آب عمیق با درصد فرکانس وقوع هر حالت در جدول ۲ نشان داده شده است.

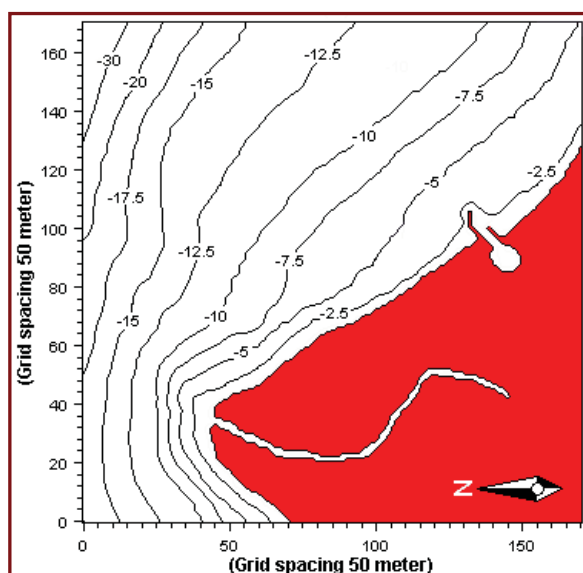
جدول (۲) مشخصات امواج آب عمیق در جهت های شمال، شمال شرق، شرق و شمال غربی

Duration (hour)	Wind Speed (m/s)	N			NW		
		P %	Hs (m)	Ts (s)	P %	Hs (m)	Ts (s)
۳	۲	۵/۰۰	۰/۲	۲/۲	۴/۸۶	۰/۲	۲/۲
	۵	۲/۷۷	۰/۶	۳/۳	۳/۰۶	۰/۶	۳/۳
	۸	۱/۰۹	۰/۹	۴/۰	۱/۱۸	۰/۹	۴/۰
	۱۱	۰/۴۱	۱/۳	۴/۷	۰/۴۲	۱/۳	۴/۷
	۱۴	۰/۱۰	۱/۸	۵/۲	۰/۱۱	۱/۸	۵/۲
	۱۷	۰/۰۴	۲/۰	۵/۵	۰/۰۳	۲/۰	۵/۵
	۲۰	۰/۰۱	۲/۶	۶/۰	۰/۰۱	۲/۶	۶/۰
۶	۲	۰/۴۵	۰/۳	۳/۱	۰/۴۵	۰/۳	۳/۱
	۵	۰/۲۳	۰/۹	۴/۶	۰/۳۲	۰/۹	۴/۶
	۸	۰/۰۹	۱/۶	۵/۷	۰/۱۲	۱/۶	۵/۷
	۱۱	۰/۰۳	۲/۳	۶/۶	۰/۰۵	۲/۳	۶/۶
	۱۴	۰/۰۱	۳/۰	۷/۴	۰/۰۲	۳/۰	۷/۴
۹	۲	۰/۰۵	۰/۳	۳/۰	۰/۰۵	۰/۳	۳/۰
	۵	۰/۰۳	۱/۳	۵/۷	۰/۰۲	۱/۳	۵/۷
	۸	۰/۰۱	۲/۱	۷/۰	۰/۰۲	۲/۱	۶/۹
Duration (hour)	Wind Speed (m/s)	NE			E		
		P %	Hs (m)	Ts (s)	P %	Hs (m)	Ts (s)

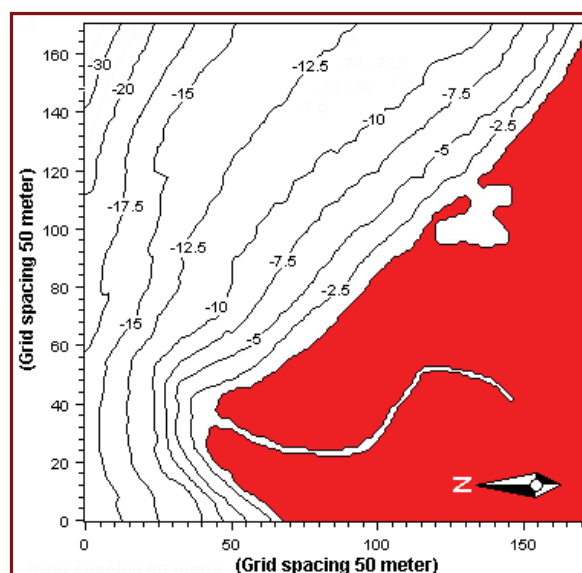
۳	۲	۵/۴۵	۰/۲	۲/۲	۴/۱۸	۰/۲	۲/۲
	۵	۱/۹۶	۰/۶	۳/۳	۲/۱۵	۰/۶	۳/۳
	۸	۰/۳۹	۰/۹	۴/۰	۰/۲۲	۰/۹	۴/۰
	۱۱	۰/۱۴	۱/۳	۴/۷	۰/۰۱	۱/۳	۴/۷
	۱۴	۰/۰۲	۱/۸	۵/۲			
۶	۲	۰/۵۴	۰/۳	۳/۱	۰/۴۳	۰/۳	۳/۱
	۵	۰/۱۴	۰/۹	۴/۶	۰/۲۵	۰/۹	۴/۶
	۸	۰/۰۳	۱/۶	۵/۷	۰/۰۲	۱/۶	۵/۷
۹	۲	۰/۰۴	۰/۳	۳/۰	۰/۰۳	۰/۳	۳/۰
	۵	۰/۰۱	۱/۳	۵/۷	۰/۰۲	۰/۹	۵/۷
	۸	۰/۰۱	۲/۱	۷/۰			

(منبع: سهرابی, ۱۳۸۴)

برای عمق‌سنجی<sup>۱</sup> مدل از نقشه‌های منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰ استفاده شده است. نقشه‌های فوق توسط نرم‌افزار ILWIS رقومی شده و به صورت فایل xyz به برنامه MIKE ۲۱ داده می‌شود. در هر حالت شبکه‌ای با ابعاد ۱۷۰×۱۷۰ و گام مکانی ۵۰ متر در جهت های x و y در نظر گرفته شده است. مشخصات مدل‌های منطقه‌ای همراه با نقشه‌های عمق‌سنجی طراحی شده در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل (۳) نقشه عمق‌سنجی منطقه کياشهر بعد از احداث اسکله‌ها (۲ Bathymetry).



شکل (۲) نقشه عمق‌سنجی منطقه کياشهر قبل از احداث اسکله‌ها (۱ Bathymetry).

(منبع: اسماعیلی, ۱۳۸۶)

با توجه به مشخصات امواج سالیانه آب عمیق منطقه که در جدول ۲ عنوان شده است، ۵۰ مدل منطقه‌ای جهت شبیه‌سازی امواج در منطقه کیشهر برای هر یک از شرایط قبل و بعد از احداث اسکله ها با استفاده از ماژول NSW طراحی گردید. در جدول ۳ اجرای ماژول NSW در منطقه مدل به صورت موردی برای چندین حالت همراه با مشخصات فایل ورودی و فایل خروجی قبل از احداث اسکله ها نشان داده شده است.

جدول (۳) اجرای ماژول NSW برای شرایط قبل از احداث اسکله ها

Wave Direction	Regional Model	Wind (m/s) Dur (hour)	Input File		Output File
			$H_S (m)$	$T_S (s)$	
N	Bathymetry ۱	۱۱ Duration ۳hr	۱/۳	۴/۷	N۳h۱۱.nsw *
NW	Bathymetry ۱	۱۴ Duration ۶hr	۳/۰	۷/۴	NW۶h۱۴.nsw w
NE	Bathymetry ۱	۸ Duration ۹hr	۲/۱	۷/۰	NE۳h۱۴.nsw w
E	Bathymetry ۱	۸ Duration ۶hr	۱/۶	۵/۷	E۶h۸.nsw

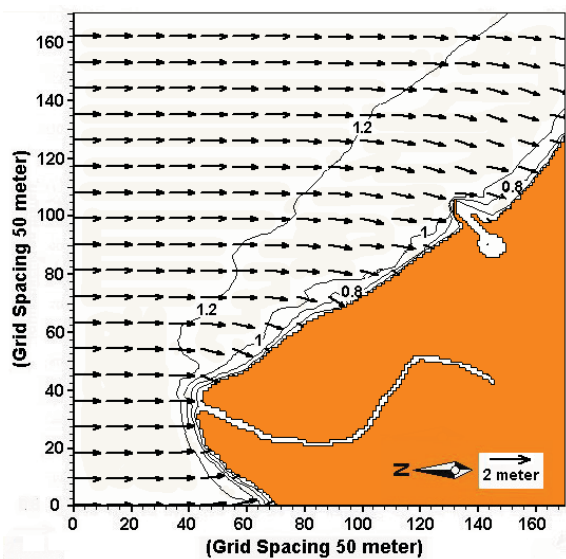
(منبع: اسماعیلی، ۱۳۸۶)

خروجی ماژول NSW، پارامترهای موج (\*.nsw) شامل ارتفاع مشخصه موج، متوسط پریود موج و متوسط جهت موج برای تمامی نقاط شبکه مدل می‌باشد.

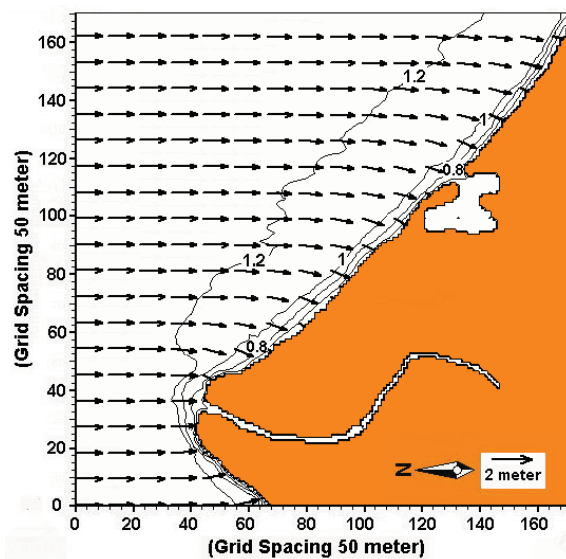
### ۳- نتایج مدل

نتایج شبیه‌سازی برای تعدادی از حالت‌ها در شکل‌های ۴ تا ۱۱ نشان داده شده است. در این شکل‌ها بردارها نمایانگر جهت متوسط امواج برای حالت‌های مختلف و خطوط کنتور نشان دهنده‌ی ارتفاع امواج می‌باشند. خطوط هم ارتفاع موج نیز در این شکل‌ها مشخص شده‌اند.

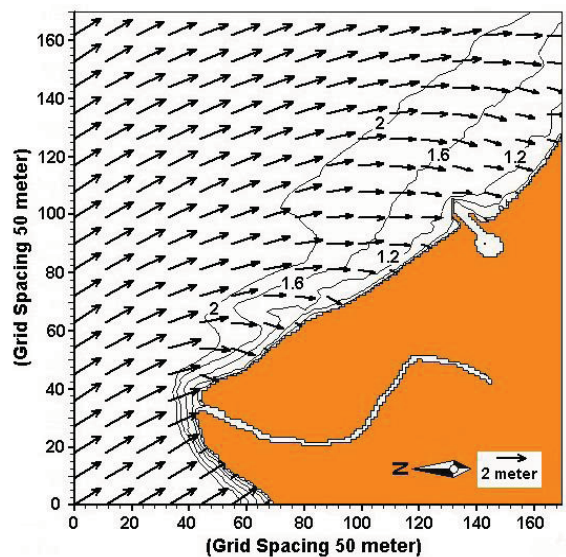
\* N۳h۱۱ = Northern wind; Duration: ۳hour; Speed: ۱۱ m/s (\*.nsw)



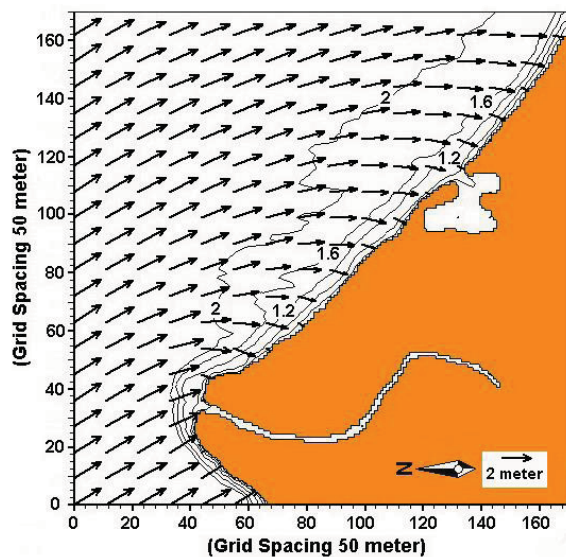
شکل (۵) بردارهای موج برای حالت ۱۱h N۳ بعد از احداث اسکله ها



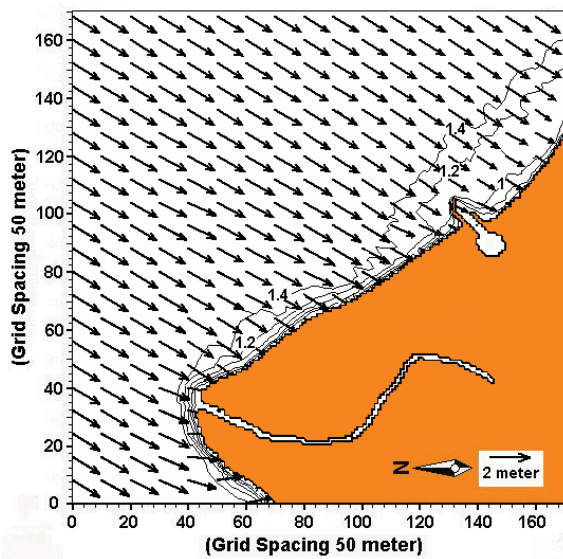
شکل (۴) بردارهای موج برای حالت ۱۱h N۳ قبل از احداث اسکله ها



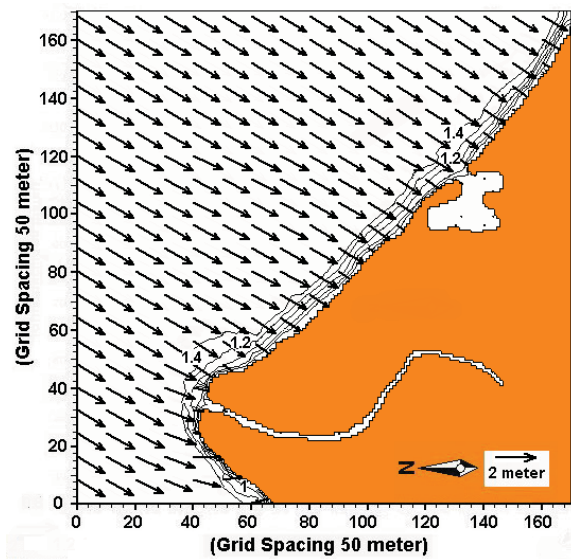
شکل (۷) بردارهای موج برای حالت ۱۴h NW۳ بعد از احداث اسکله ها



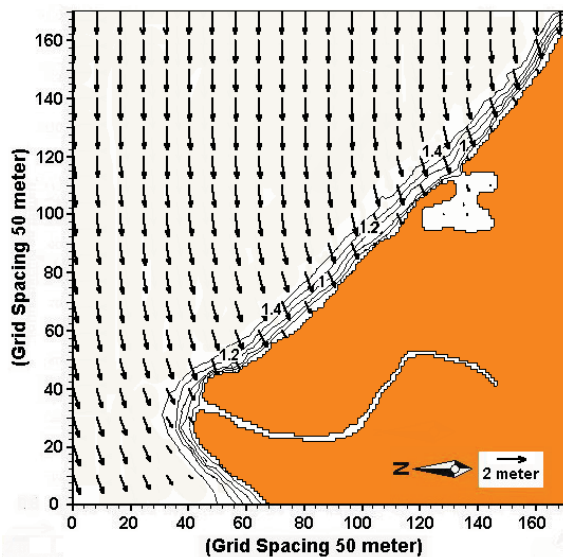
شکل (۶) بردارهای موج برای حالت ۱۴h NW۶ قبل از احداث اسکله ها



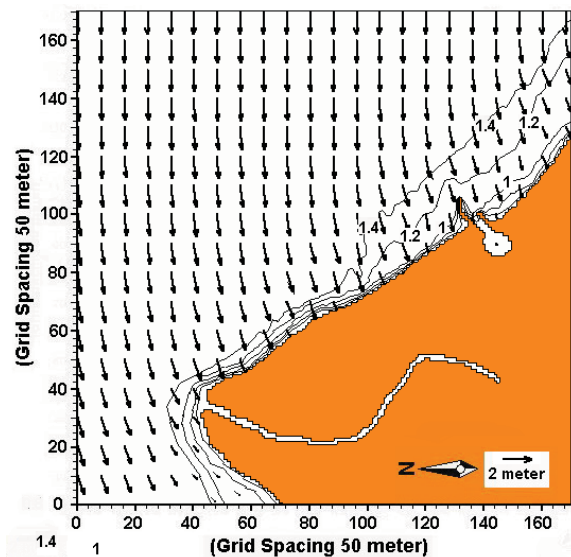
شکل (۹) بردارهای موج برای حالت NE 9h8 بعد از احداث اسکله ها



شکل (۸) بردارهای موج برای حالت NE 9h8 قبل از احداث اسکله ها



شکل (۱۲) بردارهای موج برای حالت E 6h8 بعد از احداث اسکله ها



شکل (۱۱) بردارهای موج برای حالت E 6h8 قبل از احداث اسکله ها

(منبع: اسماعیلی، ۱۳۸۶)

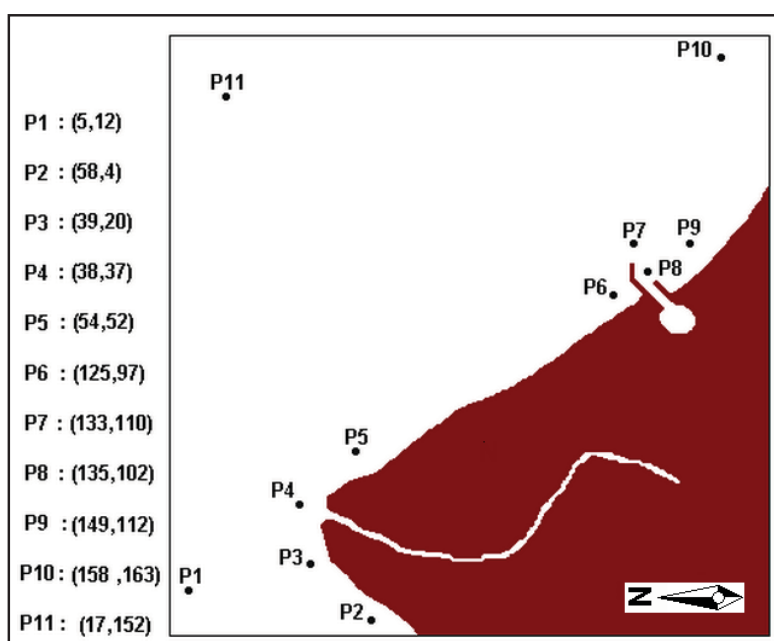
#### ۴- بحث و نتیجه گیری

با نزدیک شدن امواج دور از ساحل در منطقه آب عمیق به منطقه ساحلی، در اثر پدیده‌هایی همچون انکسار، کم عمقی، شکست و استهلاک موج تحت اثر بستر، ارتفاع امواج کاهش می‌یابد. همچنین می‌توان چرخش پرتو امواج و عمود شدن مسیر آنها بر خط ساحلی (انکسار) را با رسیدن به منطقه ساحلی به خوبی مشاهده نمود. برای امواج شمال غربی (شکل‌های ۶ و ۷)، چون امواج زاویه بزرگتری با خطوط تراز بستر می‌سازند، دچار انکسار بیشتری شده‌اند. امواج شمال شرقی نیز به دلیل زاویه کوچکتری که با خطوط تراز

بستر می‌سازند، دچار انکسار کمتری می‌شوند.

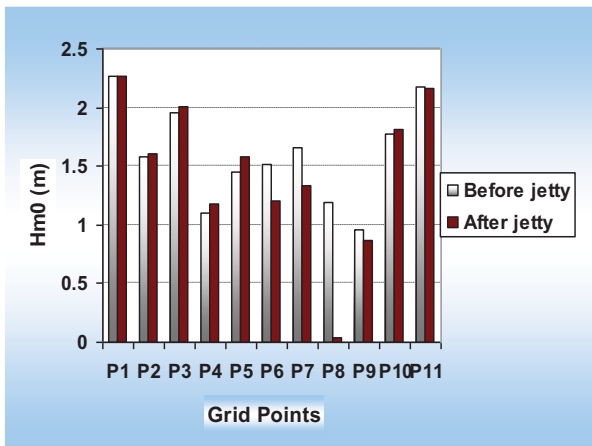
امواج شمال غربی ۱۰/۷۲ درصد از کل امواج منطقه را تشکیل می‌دهند که در کنار امواج شمالی با فرکانس وقوع ۱۰/۳۲ بیشترین تأثیر را بر منطقه کیشهر می‌گذارند. امواج شمال شرقی و شرقی نیز به ترتیب با فرکانس وقوع ۸/۷۳ و ۷/۳۱ درصد در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. با توجه به نتایج مدل‌سازی امواج، محدوده‌ی ارتفاع امواج در منطقه مدل بین ۰/۲ تا ۳ متر می‌باشد که وابسته به سرعت باد حاکم بر منطقه است.

به منظور بررسی شرایط امواج در منطقه کیشهر، نقاطی در منطقه مدل مشخص شده و مقایسه‌ی ارتفاع امواج در این نقاط برای شرایط قبل و بعد از احداث اسکله‌ها صورت گرفته است. در شکل ۱۲ موقعیت نقاط مقایسه‌ای نشان داده شده است.

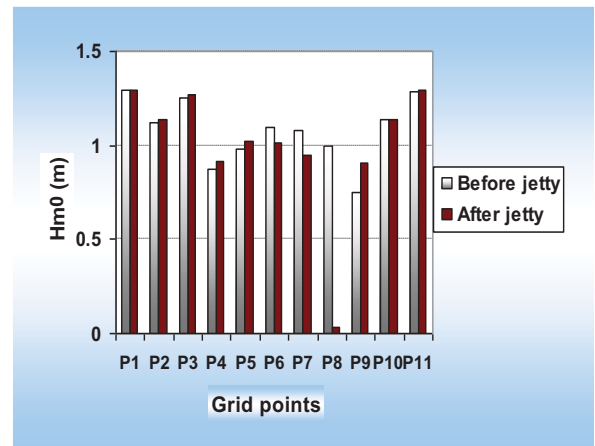


شکل (۱۲) نقاط در نظر گرفته شده برای مقایسه ارتفاع امواج (منبع: اسماعیلی, ۱۳۸۶)

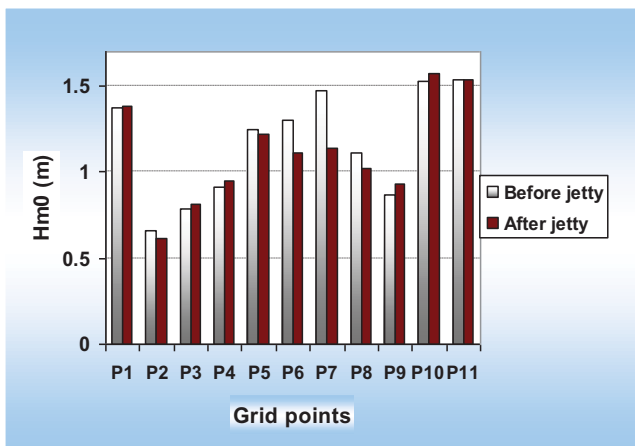
نقاط P1 و P11 در منطقه آب عمیق (مرز غربی مدل)، نقاط P2 و P10 در نزدیکی مرزهای جانبی، نقاط P3 تا P5 در محدوده‌ی مصب سفیدرود و نقاط P6 تا P9 در اطراف اسکله‌ها در نظر گرفته شده‌اند. نمودارهای مربوط به مقایسه ارتفاع امواج در نقاط تعیین شده برای حالت‌هایی که در بحث نتایج مدل نشان داده شد، در شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ رسم شده است.



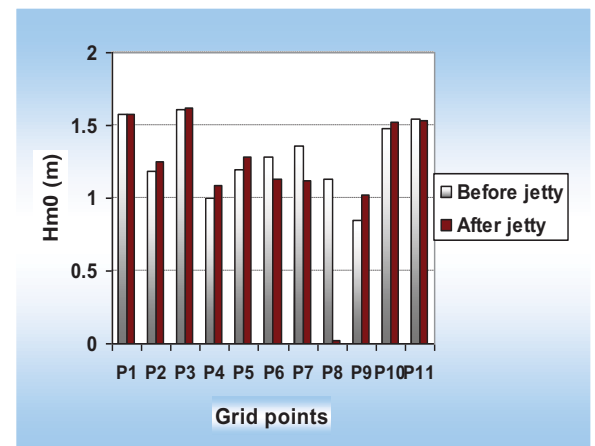
شکل (۱۴) مقایسه ارتفاع امواج برای حالت ۱۴h NW ۶h



شکل (۱۳) مقایسه ارتفاع امواج برای حالت ۸h NE ۶h



شکل (۱۶) مقایسه ارتفاع امواج برای حالت ۸h E ۶h



شکل (۱۵) مقایسه ارتفاع امواج برای حالت ۸h NE ۹h

نتایج نشان می‌دهد که با احداث اسکله‌ها، ارتفاع امواج در منطقه آب‌عمیق، محدوده‌ی مصب سفیدرود و همچنین برای نقاط نزدیک به مرزهای جانبی دچار تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌شود. ولی در حوالی اسکله‌ها به‌خصوص در نقطه P۸ می‌توان کاهش ارتفاع امواج را برای بادهای شمالی، شمال‌غربی و شمال شرقی به‌طور مشخص مشاهده نمود. کاهش ارتفاع امواج ناشی از احداث اسکله‌ها در محدوده‌ی ۰/۱۵ تا ۱/۲ متر قرار دارد. به بیان دیگر با احداث اسکله‌ها، ارتفاع امواج در منطقه اطراف ورودی مرداب حدود ۲۵ درصد کاهش یافته است. البته برای بادهای شرقی این کاهش ارتفاع چندان محسوس نمی‌باشد.

با توجه به بررسی انجام شده می‌توان چنین بیان نمود که ورودی بندر با وجود اسکله‌های احداث شده به محل آرامی تبدیل شده است و امواج در نزدیکی ورودی بندر ارتفاع کمتری در حالت بعد از احداث اسکله‌ها دارند. تأثیر امواج شمالی، شمال‌غربی و شمال‌شرقی به بندر بعد از احداث اسکله غربی تا حد زیادی کاهش یافته است ولی امواج شرقی به دلیل اینکه از سمت اسکله شرقی که طول کمی دارد وارد بندر می‌شوند، تأثیر بیشتری بر ورودی مرداب دارند.

## منابع

اسماعیلی، مهدی، ۱۳۸۶، تجزیه و تحلیل انتقال رسوبات چسبنده در بندر کیشهر با استفاده از مدل عددی MIKE ۲۱، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۱۸ صفحه.

الرمضان، باسم، امیر اسفندیارنژاد و جمال عامری، ۱۳۸۰، بررسی نحوه انتشار جریان و رسوب در دهانه سفیدرود، طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو، ۱۱۶ صفحه.

بی. نام. ۱۳۷۵، گزارشات مطالعات تکمیلی مرحله اول بندر صیادی کیشهر، شرکت مهندسی مشاور سازه-پردازی/ایران، جلد دوم، ۹۳ صفحه.

سهرابی، معصومه، ۱۳۸۴، بررسی جریان های کرانه ای و انتقال رسوب در دهانه بندر کیشهر به منظور تعیین حداقل طول اسکله، پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۲۰۵ صفحه.

فلاح، عسگر، علی کرمی خانیکی و سیدعلی آزر ماسا، ۱۳۸۳، ارزیابی مدل های ریاضی MIKE ۲۱ و WAM در شبیه سازی امواج دریای خزر، نشریه علمی- پژوهشی آب و آبخیز، شماره ۳، صفحات ۲۴-۳۰.

کرمی خانیکی، علی، عسگر فلاح و سیدعلی آزر ماسا، ۱۳۸۳، ارزیابی تغییرات ایجاد شده در الگوی موج و جریان فصلی دریاچه ارومیه در اثر احداث بزرگراه شهید کلانتری، نشریه علمی- پژوهشی آب و آبخیز، شماره ۱، صفحات ۲۴-۳۵.

کرمی خانیکی، ع، عسگر فلاح و سید علی آزر ماسا، ۱۳۸۳، تحلیل امواج دریاچه ارومیه در دوره بازگشت های مختلف با استفاده از مدل MIKE ۲۱، نشریه اقیانوس (ضمیمه مجله نیوار)، مرکز علوم جوی و اقیانوسی سازمان هواشناسی، شماره ۱، صفحات ۶۳-۷۵.

Azarmsa, S. A., (۲۰۰۳) Sensibility of Predicted Wave Height to Wind Duration, *Int. J. Science and Engineering*, ۱۴(۵). ۲۲۱-۲۳۳.

Coastal Engineering Manual, (۲۰۰۲) Estimation of Nearshore Waves, Part II, Chapter ۳, *Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers*, Washington, ۴۵ pp.

Danish Hydraulic Institute, (۲۰۰۳) Nearshore Spectral Wind-wave Module, *Danish Hydraulic Institute*, Manual of MIKE ۲۱, ۷۴ pp.

Gunaratna, P.P. Justesen, P, Abeysirigunawardena, (۱۹۹۷) Mathematical Modelling of Hydrodynamics in a Reef Protected Coastal Stretch, *2nd DHI Software User Conference, Sri Lanka*, ۲۱pp.

Holthuijsen, L.H., Booij, N., and Herbers, T.H.C., (۱۹۸۹) Prediction Model for Stationary, Short-crested Waves in Shallow Water with Ambient Current, *Coastal Eng.*, Vol. ۱۳, pp. ۲۳-۵۴.

- Huntley, D.A. and Davidson A. D., (٢٠٠٢) Modelling Water Surface Topography at a Complex Inlet System Teingmouth, UK, *J. Coastal Research*, ٣٦: ٦٧٥-٦٨٥.
- Johnson, H.K., (١٩٩٨) On Modeling Wind-waves in Shallow and Fetch Limited Areas Using the Method of Holthuijsen, Booij and Herbers, *J. Coastal Research*, ١٤(٣): ٩١٧-٩٣٢.
- Manual of MIKE ٢١.(٢٠٠٣) “Nearshore Spectral Wind-wave Module,*Danish Hydraulic Institute (DHI Software)*, ٧٤ pp.
- U.S. Army Corps of Engineers, (٢٠٠٢) *Coastal Engineering Manual*; Estimation of Nearshore Waves, Part II, Chapter ٣, ASCE, ٤٥ pp.

