

حساسیت‌سنجی مدل‌های اغتشاشی به‌منظور تعیین الگوی بهینه جریان در آب‌های خلیج فارس

محمد علی بدری

استادیار مهندسی مکانیک، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیردریا، دانشگاه
صنعتی اصفهان
malbdr@cc.iut.ac.ir

محسن فقیهی فرد

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان
m.faghihi@me.iut.ac.ir

چکیده

در این مقاله، مدل‌های توربولانسی مختلف، جهت حل جریان‌های اغتشاشی که شامل مدل‌های $k - \epsilon$ ، k ، فرمول اسماگورینسکی^۱ و لزجت اغتشاشی ثابت^۲ می‌باشند، مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق، هدف مقایسه مدل‌های توربولانسی مختلف برای حل جریان‌های مغشوش در منطقه عسلویه در خلیج فارس به کمک نرم‌افزار مایک^۳ می‌باشد. پایه مدل‌سازی مایک ۳ بر سیستم نمونه‌سازی بقاء جرم و اندازه حرکت در سه بعد برای سیال نیوتنی استوار است. جریان به مقادیر متوسط و نوسانات آشفتگی تجزیه شده است. برای کنترل تغییرات چگالی، معادلات بقاء شوری و دما نیز بکار گرفته شده‌اند. در مازول هیدرودینامیک، متغیرهای پیش‌بینی کننده شامل مؤلفه‌های سرعت در ۳ جهت و فشار سیال می‌باشند. معادلات مدل روی یک شبکه محدود بی‌سازمان حل شده‌اند. هم‌چنین برای مدل‌سازی هیدرودینامیکی از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه شامل سری‌های زمانی باد در عسلویه و جزر و مد در مرز باز خلیج فارس استفاده گردیده است. با اعمال نوسانات سطح آب در محل جزیره هنگام به عنوان یکی از نزدیکترین مناطق به تنگه هرمز به بخش هیدرودینامیک^۴ این نرم‌افزار، سرعت جریان آب در بازه زمانی ۲۲ آگوست تا ۹ سپتامبر سال ۲۰۰۸ میلادی برای مدل‌های توربولانسی ذکر شده به دست آمده و نتایج با داده‌های تجربی صحت‌سنجی شده است.

کلمات کلیدی: مدل توربولانسی، سری زمانی، مدل هیدرودینامیکی، نرم افزار مایک

علائم یونانی	علائم یونانی	فهرست علائم
β	ضریب انبساط حجمی	c_s سرعت صوت در آب
δ_{ij}	دلتای کرونکر	c_D ثابت تجربی
\mathcal{D}_T	ویسکوزیته توربولانسی	D_T, D_S ضرایب انتشار
ρ	چگالی سیال	k انرژی جنبشی اغتشاشی
$\sigma_T, \sigma_k, \sigma_\epsilon$	ثابت تجربی	p فشار
ϕ	کمیت اسکالر شناوری	S شوری
Ω_{ij}	تانسور کوریولیس	SS ترم‌های چاه و چشمه
		T دما
		t زمان
		u_i سرعت در جهت محور افقی
		w', v', u' نوسانات جریان متلاطم

1. Smagorinsky formulation
2. Constant eddy viscosity
3. MIKE
4. Hydrodynamic module

۱- مقدمه

خلیج فارس در عرض جغرافیایی $24^{\circ}30'$ شمالی و طول جغرافیایی $56/5^{\circ}$ 48° شرقی قرار دارد. طول خلیج فارس ۹۹۰ کیلومتر و پهنای آن ۲۰۰۰-۳۰۰ کیلومتر است. خلیج فارس به علت ویژگی‌های خود مانند آب‌وهوای گرم، شوری زیاد، عمق کم، بارندگی اندک و تنوع زیستی دارای موقعیت بسیار ویژه‌ای است. همچنین خلیج فارس مرکز عمده استخراج نفت و گاز جهان است. به همین جهت پیش‌بینی سرعت جریان در خلیج فارس و به‌ویژه منطقه عسلویه به دلیل موقعیت اقتصادی این منطقه حائز اهمیت می‌باشد. پیش‌بینی هیدرودینامیک آب در این منطقه می‌تواند به پیش‌بینی مسیر حرکت لکه نفتی در پی یک حادثه در منطقه خلیج فارس و همچنین کمک به ردیابی اجسام شناور گمشده، از جمله بویه‌های هواشناسی بیانجامد. جریان آب در خلیج فارس به علت طبیعت نیمه‌بسته، کم‌عمق و قرار گرفتن در مناطق خشک دارای ماهیت اغتشاشی است. در خصوص جریان‌های خلیج فارس و تنگه هرمز مطالعات زیادی در ایران انجام شده است. در مطالعه‌ای که آقایان سنگچولی و ماهانی [۱] انجام دادند، گردش جریان آب در منطقه تنگه هرمز بر اثر عوامل مولد حرکتی چون جزرومد، باد و اختلاف چگالی با استفاده از مدل سه بعدی هیدرودینامیکی کوهیرنس در ۵ لایه از سطح تا بستر مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش سرعت و جهت باد ثابت در نظر گرفته شده است. آقایان صمغی و حجازی [۲] نیز مدلسازی ریاضی سه بعدی هیدرودینامیک جریان ترکیبی جزرومد و باد در منطقه تمیک خلیج فارس را انجام دادند. در تحقیق دیگری که توسط اسماعیل حسن زاده و امید حاج رسولیها [۳] انجام شده است، شبیه‌سازی عددی توزیع شوری و بررسی اثرات آن بر الگوی جریان در تنگه هرمز با استفاده از مدل کوهیرنس مورد مطالعه قرار گرفته است. موحیدیان و رضاپور [۴] نیز با استفاده از مدل هیدرودینامیک مایک ۲۱، با مدلسازی الگوی جریان جزرومد، به این نتیجه رسیدند که اثرات باد بر جریان‌های خلیج فارس به‌طور کلی کم بوده و تأثیر ناچیزی بر الگوی گردش آب دارد. در مطالعه نیلچی [۵] نیز با استفاده از پیاده‌سازی تقریب آب‌های کم‌عمق روی معادلات ناویر استوکس در دو بعد و با استفاده از روش تفاضل محدود و در نظر گرفتن شرایط مرزی و اولیه این منطقه مقادیر پارامترهای جدید در لایه سطحی و تراز دریا در زمان‌های بعد محاسبه گردیده است. دانکن در مورد اثر تلاطم بر امواج شکست بحث کاملی نمود [۶]. همچنین در مقاله یوری [۷] انواع آب‌های سطحی در دریا و خلیج‌ها در مناطق مختلف مورد بررسی قرار گرفت و انواع نیروهایی که بر آب اثر می‌گذارند، شامل نیروهای گرانش، جزرومدی و جریان بررسی شد. در مقاله آقای هونگ زانگ اثرات موج ناشی از باد بر مدل هیدرودینامیکی مطالعه شد؛ تغییرات این مدل در برابر جریان، دما و شوری حساسیت‌سنجی شد [۸]. فالگوسی و همکارانش جریان برشی مغشوشی آب و هوا را مدل کردند. آنها همچنین غیر همگن بودن تلاطم در نزدیکی سطح را نیز در نظر گرفتند [۹].

در این مقاله پس از مقدمه، معادلات حاکم و سپس مدل‌های اغتشاشی گوناگون برای منطقه عسلویه مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

۲- معادلات حاکم

مدل هیدرودینامیکی در نرم‌افزار مایک ۳ یک سیستم مدلسازی عددی کلی برای جریان سواحل دریایی، خلیج‌ها و حوضچه‌ها می‌باشد. این نرم‌افزار جریانات سه‌بعدی غیر پایا را براساس تغییرات چگالی، عمق و نیروهای خارجی مثل نیروهای جوی، جزرومدی و جریان مدلسازی می‌کند. در مدل هیدرودینامیکی سه‌بعدی برای جریان سیالات نیوتنی از معادلات پیوستگی جرم، بقای ممنتوم، پیوستگی شوری و دما و معادله نسبت بین چگالی با شوری، دما و فشار استفاده شده است. بنابراین، معادلات حاکم، در برگزیده‌ی هفت معادله با هفت پارامتر مجهول می‌باشند. پایه ریاضی در مایک ۳ معادله پیوستگی جرم، معادلات متوسط‌گیری شده ناویراستوکس در سه بعد می‌باشد. این معادلات اثرات اغتشاش و تغییر چگالی را با معادلات پیوستگی شوری و دما باهم در نظر می‌گیرد [۱۱].

$$\frac{1}{\rho c_s^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j} = SS \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} + 2\Omega_{ij} u_j = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mathcal{D}_T \left\{ \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right\} - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \right) + u_i SS \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (S u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} (D_s \frac{\partial S}{\partial x_j}) + SS \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (T u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} (D_T \frac{\partial T}{\partial x_j}) + SS \quad (4)$$

معادلات ۱ و ۲ به معادلات هیدرودینامیکی مربوط هستند و در مدول هیدرودینامیکی حل خواهند شد، درحالی که معادلات ۳ و ۴ به معادلات انتشار معروفند و توسط مدول انتشار در نرم‌افزار حل خواهند شد [۱۲].

۳. مدل اغتشاشی

آنالیز و پیش‌بینی جریان متلاطم از مسائل اساسی در دینامیک سیالات است، که به‌وسیله تئوری CFD بررسی می‌گردد. مشکل اساسی این روش ناشی از خصوصیات طبیعی پدیده‌های متلاطم مانند آشفتگی و اتفاقی بودن این پدیده‌ها است. ماهیت وابسته به زمان جریان متلاطم که به دامنه وسیعی از مقیاس‌های زمانی وابسته است ما را ناچار به این می‌سازد که از تکنیک‌های متوسط‌گیری، برای تقریب نوسانات که یک پدیده اتفاقی می‌باشد، استفاده کنیم. در اواخر دهه ۵۰، چهار دسته اصلی از مدل‌های تلاطم توسعه یافته بودند. در این پژوهش هدف استفاده از برخی از این مدل‌ها برای تعیین سرعت جریانات در منطقه مورد مطالعه با نرم‌افزار موسسه DHI می‌باشد.

۳-۱. مدل اغتشاشی K

مدل اغتشاشی K اولین مدل مهم بهبود یافته نظریه طول اختلاط است. این مدل توربولانسی اندازه سرعت معادله انتقالی را سریع‌تر از جریان متوسط‌گیری شده به دست می‌آورد. K در این مدل میزان شدت نوسانات توربولانسی (انرژی جنبشی اغتشاش) است و به‌طور فیزیکی یک کمیت ذاتی است. با معلوم بودن مقدار این کمیت و اندازه شبکه ℓ ، ویسکوزیته اغتشاش با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$v_T = c_u' \sqrt{k} \cdot \ell \quad (5)$$

این معادله به نام معادله پرانتل-کلوموگرف شناخته می‌شود. c_u' یک ضریب تجربی است که از آزمایشات به دست می‌آید. مقدار K از حل معادله انتقالی برای K استنباط می‌شود. در اینج توسط معادله ارائه شده توسط ردی (۱۹۸۰) گرفته شده است:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + v_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \beta g_i \frac{v_T}{\sigma_T} \frac{\partial \phi}{\partial x_i} - c_D \frac{k^{3/2}}{\ell} \quad (6)$$

در این معادله σ_k ، σ_T و c_D ثابت‌های تجربی هستند. β ضریب انبساط حجمی و ϕ اندازه نیروی شناوری است. این ثابت‌ها در جدول شماره ۱ مقداردهی شده‌اند.

جدول ۱. ضرایب ثابت در مدل توربولانسی K

c_μ	c'_μ	c_D	σ_k	σ_T
۰/۰۹	۰/۳	۰/۳	۱	۰/۹

۳-۲. مدل اغتشاشی $k - \varepsilon$

مدل اغتشاشی $k - \varepsilon$ ، مدل تک‌معادله‌ای است که ارتباط بین لزجت گردابه‌ای و انرژی سینتیک جریان را بیان می‌کند [۱۵]. در روش تک‌معادله‌ای مشکل اصلی مشخص کردن اندازه طول اختلاط می‌باشد؛ زیرا برای هر نوع جریان اندازه طول اختلاط متفاوت می‌باشد. به این ترتیب مدل‌های کامل تری تحت عنوان مدل‌های دو معادله‌ای ارائه شده‌اند. یکی از این مدل‌ها مدل $k - \varepsilon$ می‌باشد. اولین فرض اصلی برای مدل‌های دو معادله‌ای این است که نوسانات جریان متلاطم یعنی پارامترهای u' ، v' ، w' به طور کلی در همه جهات، همگن یا برابر است و دومین فرض اساسی این است که ترم‌های تولید و اتلاف تقریباً به طور محلی با هم برابر هستند. در مدل $k - \varepsilon$ استاندارد و مدل‌های توسعه‌یافته آن، لزجت اغتشاش به عنوان تابعی از انرژی جنبشی توربولانسی و نرخ اتلاف آن می‌باشد.

$$v_T = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

که در آن c_μ یک ثابت تجربی است که از آزمایشات به دست می‌آید. در مدل $k - \varepsilon$ معادلاتی که تلاطم را مدل می‌کنند، شامل دو معادله می‌باشند. معادله اول، معادله انرژی جنبشی توربولانسی نامیده می‌شود. این معادلات به شکل زیر می‌باشند:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + v_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \beta g_i \frac{v_T}{\sigma_T} \frac{\partial \phi}{\partial x_i} - \varepsilon \quad (8)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \left(v_T \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + c_{3\varepsilon} \beta g_i \frac{v_T}{\sigma_T} \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) - c_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (9)$$

در معادله بالا $c_{1\varepsilon}$ ، $c_{2\varepsilon}$ ، $c_{3\varepsilon}$ ، σ_k ، σ_ε و σ_T ثابت‌های تجربی هستند. β ضریب انبساط حجمی است و ϕ کمیت اسکالر شناوری است. ثابت‌های تجربی مدل توربولانسی $k - \varepsilon$ در جدول زیر آورده شده‌اند.

جدول ۲. ثابت‌های تجربی مدل توربولانسی $k - \varepsilon$

c_μ	$c_{1\varepsilon}$	$c_{2\varepsilon}$	$c_{3\varepsilon}$	σ_k	σ_ε	σ_T
۰/۰۹	۱/۴۴	۱/۹۲	۰	۱	۱/۳	۰/۹

۳-۳. فرمول اسماکورینسکی

فرمول اسماکورینسکی معروف‌ترین مدل برای لزجت اغتشاش زیر شبکه است که توسط اسماکورینسکی در سال ۱۹۶۳ به دست آمده است. در فرمول اسماکورینسکی لزجت اغتشاش توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$u_T = \ell^2 \sqrt{S_{ij} S_{ji}} \quad (10)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (11)$$

که در آن u_i جزء سرعت در جهت x_i ، ℓ اندازه شبکه است که با $C_{sm} \Delta s$ جایگزین می‌شود و در آن Δs اندازه شبکه و C_{sm} ثابت فرمول اسماکورینسکی می‌باشد. این مقدار دارای دو مقدار یکی در جهت افقی و دیگری در جهت عمودی می‌باشد.

۳-۴. اختلاط مدل اغتشاشی $k - \varepsilon$ و فرمول اسماکورینسکی

مقدار در جهت عمودی مدل $k - \varepsilon$ به کار گرفته شده است. این مدل، از معادلات انتقالی برای دو کمیت انرژی جنبشی اغتشاش K و میزان اتلاف انرژی جنبشی ε استفاده خواهد نمود تا حرکت توربولانسی را تشریح کند. با استفاده از رابطه‌ی پراتل-کولومگروف یعنی $u_T = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ معادلات جریان میانگین با عبارات متغیر مدل توربولانسی کوپل گردیده است. فرض اساسی برای مدل $k - \varepsilon$ حاضر این است که حرکت عمودی غالب نوسانات توربولانسی است و جزء متوسط را می‌توان نادیده گرفت. معادله انتقالی برای K و ε برابر است با:

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{u_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + P + G - \varepsilon \quad (12)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{u_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (P + c_{3\varepsilon} G) - c_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (13)$$

که در آن $P = u_T \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\}$ ترم تولیدی به خاطر تنش سرعت و $G = \frac{g}{\rho} \frac{u_T}{\sigma_T} \frac{\partial \rho}{\partial z}$ است.

$c_\mu, \sigma_k, \sigma_\varepsilon, c_{1\varepsilon}, c_{2\varepsilon}, c_{3\varepsilon}$ پارامترهای تجربی با مقادیر ثابت هستند، که در جدول ۳ آورده شده‌اند.

جدول ۳. ثابت‌های تجربی برای معادلات $k - \varepsilon$

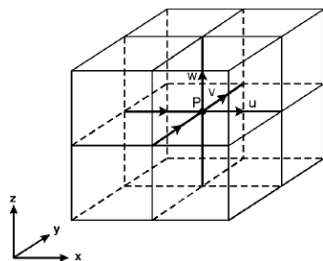
c_μ	$c_{1\varepsilon}$	$c_{2\varepsilon}$	σ_k	σ_ε
۰/۰۹	۱/۴۴	۱/۹۲	۱	۱/۳

مقادیر K و ε برای شرایط مرزی در کف و سطح آب با در نظر گرفتن لایه مرزی لگاریتمی و بالانس بین اتلاف و تولید انرژی جنبشی به دست آمده‌اند.

۴. حل عددی

در حل مدول هیدرودینامیکی در این مسئله از تکنیک ADI^1 برای حل انتگرالی معادلات پیوستگی جرم و ممنتوم در حوزه‌ی زمان و مکان استفاده شده است. در نتیجه مدول هیدرودینامیکی دارای این ویژگی‌ها خواهد بود:

- اتلاف ممنتوم و جرم عددی صفر است.
- ایجاد یک الگوریتم حل شرطی خوب که تأمین‌کننده دقت، صحت و عملکرد سریع خواهد بود.



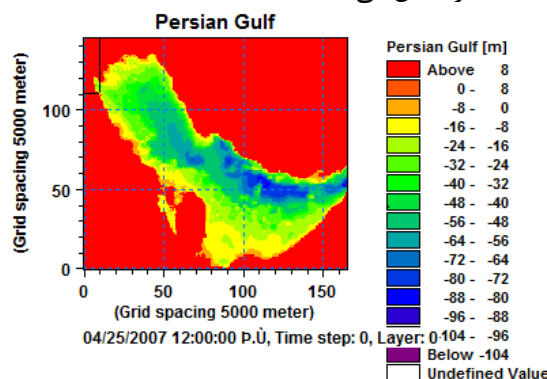
شکل ۱. شبکه‌ی تفاضلی در جهات X, Y, Z

۴-۱. شرایط مرزی

هدف اصلی مدل هیدرودینامیکی مایک ۳ حل معادلات دیفرانسیلی حاکم بر جریان سه‌بعدی است. همانند دیگر معادلات دیفرانسیلی آنها نیز نیازمند یک‌سری شرایط مرزی هستند. این شرایط مرزی عبارت از فشار (یا ارتفاع سطح آب) در مرزهای باز، عمق‌سنجی مناسب، مقاومت کف و سرعت، جهت و ضریب برشی باد می‌باشند. برای دستیابی به بهترین هیدرودینامیک خلیج فارس، بیش از هر چیز دیگری به انتخاب صحیح مرزهای باز نیاز است.

۴-۲. ایجاد دامنه حل و اعمال شرایط مرزی و اولیه

در این تحقیق دامنه حل خلیج فارس می‌باشد که به صورت یک فایل عمق‌سنجی به نرم‌افزار اعمال گردیده است. شکل ۲ عمق‌سنجی که به نرم‌افزار اعمال شده است را نشان می‌دهد.

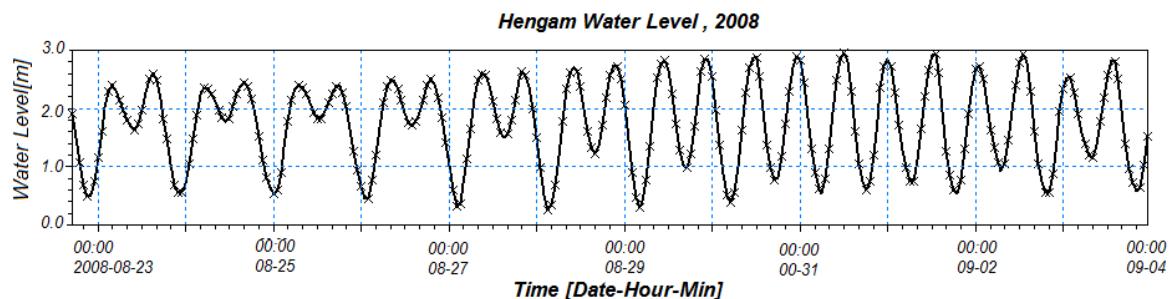


شکل ۲. فایل عمق‌سنجی خلیج فارس

تنگه هرمز نیز به عنوان مرز باز در نظر گرفته شده است و سری زمانی سطح آب جزیره هنگام به عنوان نزدیک‌ترین منطقه به تنگه هرمز در بازه زمانی مورد مطالعه به مدول هیدرودینامیکی اعمال گردیده است. در این مدل‌سازی دو نوع شرط مرزی فشار (یا ارتفاع سطح آب) یا سرعت به نرم‌افزار اعمال شده است، که می‌بایست در تمام نقاط مرزی و در تمام گام‌های زمانی لحاظ شوند. به همین دلیل سری زمانی سطح آب در جزیره هنگام را نیز در همان بازه زمانی مورد مطالعه

1 Alternating direction implicit technique

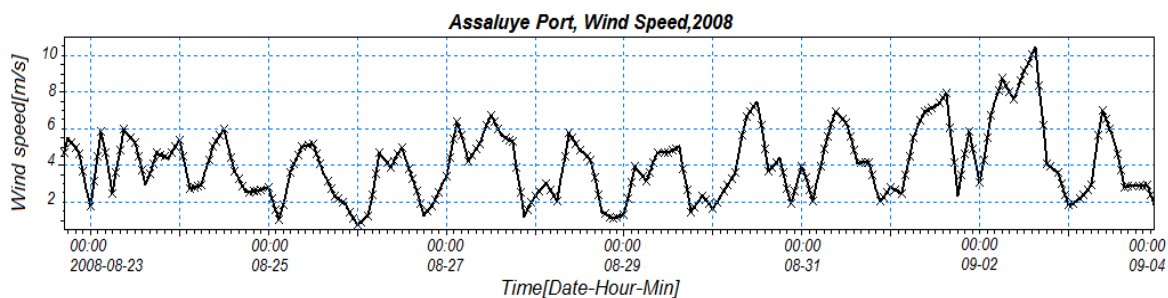
به مدل هیدرودینامیکی وارد شده است. در شکل ۳ تغییرات سطح آب در این جزیره در ماه‌های آگوست و سپتامبر نشان داده شده است.



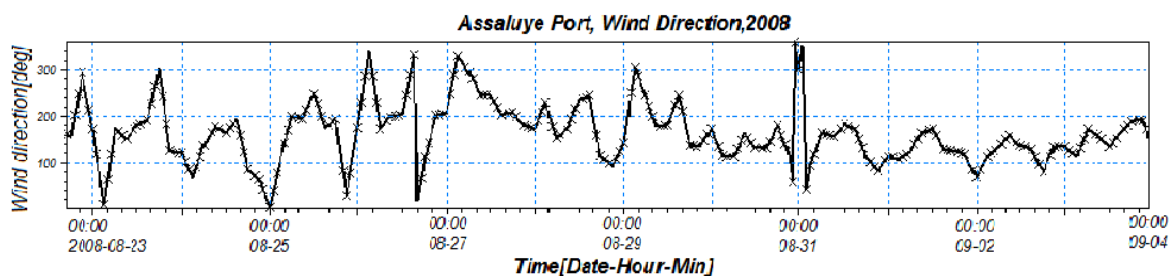
شکل ۳. سطح آب جزیره هنگام در سال ۲۰۰۸

۳-۴. اصطکاک باد

یکی از راه‌های دسترسی به پیش‌بینی ارتفاع و دوره تناوب امواج آگاهی از میدان باد ورودی است. بنابراین، اعمال اطلاعات بخش پایگاه داده‌ها در الگوی جریان به طور مستقیم موثر بوده و لذا از حساسیت بالایی برخوردار است. در اینجا سری زمانی سرعت و جهت باد در منطقه عسلویه به صورت متغیر با زمان به مایک ۳ به‌عنوان یک ورودی، اعمال گردیده است. شکل ۴ و ۵ سری زمانی سرعت و جهت باد را در این منطقه نشان می‌دهد.



شکل ۴. سری زمانی سرعت باد در منطقه عسلویه

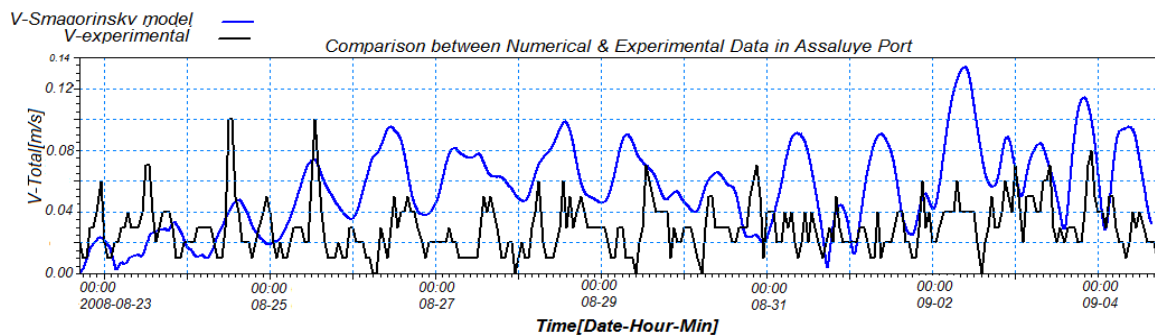


شکل ۵. سری زمانی جهت باد در منطقه عسلویه

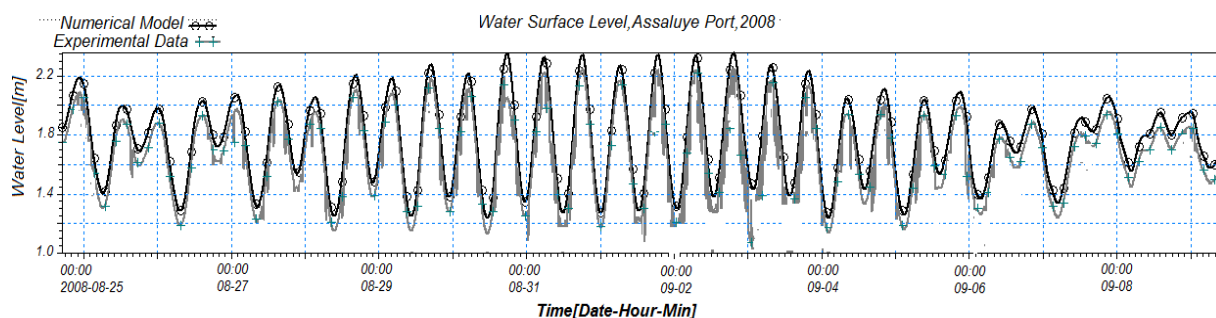
۵. نتایج

در مدل‌سازی انجام‌شده، خلیج فارس به عنوان مخزنی با یک مدخل ورودی جریان (تنگه هرمز) به درون آن فرض شده است. در ضمن جزیره هنگام و نوسانات جزرومدی سطح آب این جزیره به عنوان یکی از مناطق نزدیک به تنگه هرمز (نزدیک به مرز باز) انتخاب گردیده است. به‌علاوه، منطقه خلیج فارس شبکه‌بندی شده (شبکه‌های ۵۰۰۰ متری در صفحه افقی) و از مناطق خشکی جداسازی شده است. در کار فعلی، معادلات هیدرودینامیکی بر روی شبکه حجم محدود بی‌سازمان و با استفاده

از نرم افزارمایک ۳ حل شده است. مدل هیدرودینامیکی به وسیله داده‌های اندازه‌گیری شده موجود در خلیج فارس، ارزیابی و قلق‌گیری شده است. هدف اصلی پژوهش حاضر، استفاده از یک مدل سه بعدی برای تعیین میدان جریان می‌باشد. برای اعتباردهی و صحت‌سنجی داده‌ها و نتایج مدل هیدرودینامیکی، نوسانات سطح آب و سرعت کلی در منطقه عسلویه که برآیند سه جزء سرعت در راستاهای افقی، عمودی و عمق آب است با داده‌های اندازه‌گیری شده توسط بویه‌ها و جریان‌سنج‌ها در منطقه که با همکاری سازمان بندار و دریانوردی و موسسه تحقیقات آب و وزارت نیرو به‌دست آمده است مقایسه شده‌اند. نمودار زیر نتایج تجربی و عددی را با هم مقایسه می‌کند.

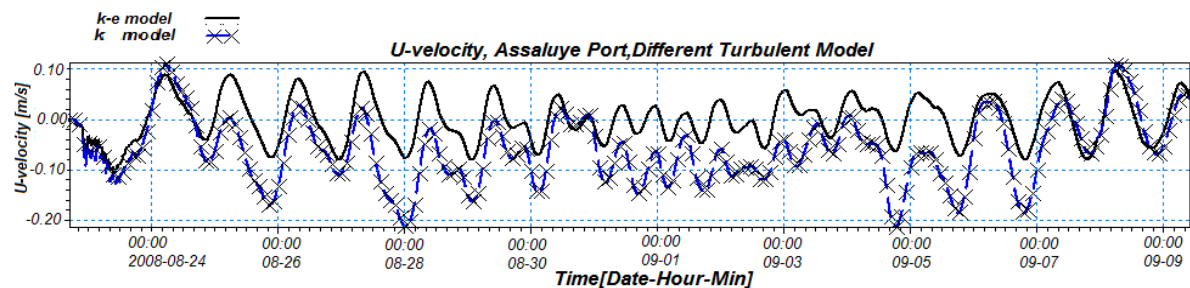


شکل ۶. مقایسه نتایج تجربی و عددی سرعت جریان در منطقه عسلویه

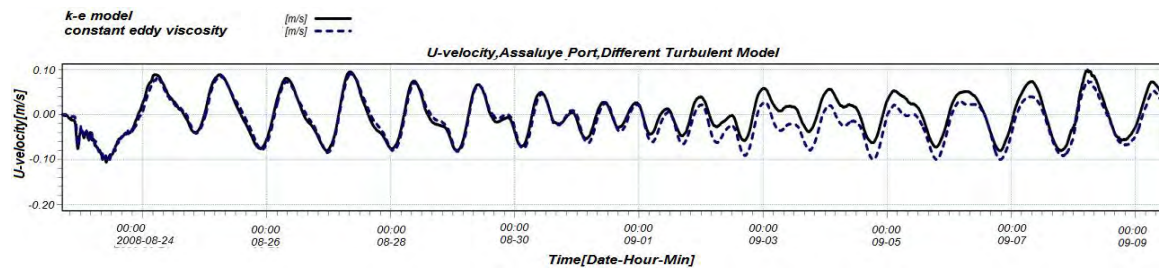


شکل ۷. مقایسه نتایج تجربی و عددی نوسانات سطح آب در منطقه عسلویه

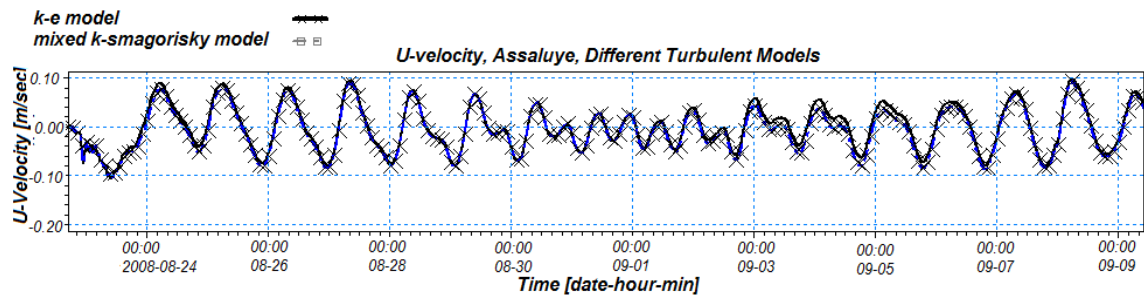
جزء سرعت u برای انواع مدل‌های عددی نشان می‌دهد که بین نتایج حاصل از این مدل‌ها در صد خطای کمی وجود دارد و تفاوت چندانی بین مدل‌های $k - \epsilon$ ، k و اختلاط مدل k و فرمول اسماکورینسکی وجود ندارد.



شکل ۸. مقایسه سرعت افقی u بین دو مدل $k - \epsilon$ و k عسلویه

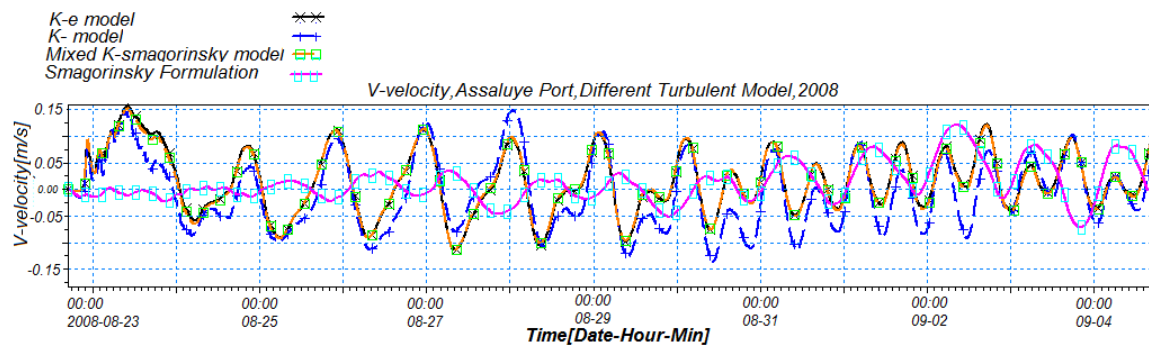


شکل ۹. مقایسه سرعت افقی U بین مدل $k - \epsilon$ و ویسکوزیته اغتشاش ثابت



شکل ۱۰. مقایسه سرعت U بین دو مدل $k - \epsilon$ و اختلاط مدل k و فرمول اسمگورینسکی

- جزء سرعت v نیز برای مدل‌سازی‌های توربولانسی مختلف بیانگر این مطلب است که:
- بین مدل‌های $k - \epsilon$ و k در روزهای اول تطابق خوبی وجود دارد ولی با گذشت زمان خطا افزایش خواهد یافت؛ ولی این خطا نیز قابل اغماض می‌باشد.
 - بین مدل‌های $k - \epsilon$ و اختلاط مدل k و فرمول اسمگورینسکی هماهنگی کامل وجود داشته و تفاوت این دو مدل قابل صرف‌نظر است.
 - بین مدل‌های $k - \epsilon$ و فرمول اسمگورینسکی در ابتدا تفاوت بسیاری دیده می‌شود؛ ولی با گذشت زمان روند این دو مدل به هم نزدیک می‌شوند. مقایسه این مدل‌ها در شکل ۹ آورده شده است.



شکل ۱۱. مقایسه سرعت عمودی v بین مدل‌های توربولانسی $k - \epsilon$ و k و اختلاط مدل k و فرمول اسمگورینسکی

۶- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدل‌های اغتشاشی مختلف جهت حل جریان‌های مغشوش در منطقه عسلویه در بازه زمانی ماه‌های آگوست و سپتامبر سال ۲۰۰۸ میلادی با استفاده از نرم‌افزار مایک ۳ بررسی و نتایج با داده‌های سازمان بنادر و دریانوردی مقایسه گردیده است. همچنین برای دستیابی به بهترین تحلیل، سرعت و جهت باد در منطقه به صورت سری زمانی به عنوان یکی از شرایط محلی به نرم‌افزار اعمال گردید. علاوه بر این سری زمانی نوسانات سطح آب جزیره هنگام به عنوان نزدیک‌ترین منطقه به مرز

باز خلیج فارس (تنگه هرمز) به همراه فایل عمق سنجی منطقه به مدل اعمال گردید. در روزهای نخستین به دلیل دوره گرم شدن^۱ نرم افزار داده های میدانی سرعت جریان هماهنگی کمی دارند ولی با گذشت زمان هر دو نمودار تجربی و عددی روند یکسانی را دنبال نموده اند. علاوه بر این با مقایسه مدل های توربولانسی مختلف در نرم افزار مایک ۳ مشخص شده است که مدل های $k, k - \epsilon$ و اختلاط مدل های اسماکورینسکی و k تطابق خوبی با یکدیگر دارند. ولی نشان داده شده است که از بین مدل های توربولانسی، فرمول اسماکورینسکی بهترین سازگاری را با نتایج تجربی به دست آمده از شناورهای سطحی و بویه های موج نگار را دارد. به همین جهت بهترین مدل اغتشاشی سازگار با داده های تجربی در منطقه عسلویه، فرمول اسماکورینسکی می باشد.

مراجع

- [۱]. سنگچولی، ط. بنازاده ماهانی، م، " مطالعه جریان های تنگه هرمز با استفاده از یک مدل سه بعدی"، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آذر ۸۸
- [۲]. حسین اردلان صمغی، کورش حجازی، " مدلسازی سه بعدی هیدرودینامیک جریان ترکیبی جزرومد و باد در منطقه تمبک خلیج- فارس".
- [۳]. امید حاج رسولیها، اسماعیل حسن زاده، " شبیه سازی عددی توزیع شوری و بررسی اثرات آن بر الگوی جریان در تنگه هرمز"، کنفرانس ملی بهره برداری از آب دریا، دی ماه ۹۰
- [۴]. عبدالوحدید موحدیان، مهدی رضاپور، " بررسی تاثیر امواج ناشی از باد بر الگوی جریان جزرومدی در خلیج فارس"، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه ۹۱.
- [۵]. احمد رضا نقش نیلچی، سهراب پورخلیلی، " مدلسازی هیدرودینامیکی جهت تعیین سرعت جریان مشتق شده از باد و تراز دریا"، دانشگاه اصفهان
- [۶]. Duncan, J.H., " Spilling Breakers", *Ann. Rev. Fluid Mech.*, ۳۳, ۵۱۹, ۲۰۰۱.
- [۷]. Yuri, S. Dolotov, " Surface Water: Oceans, Interior Seas, Coastal Zones And Estuaries", *Water Problems Institute Ras, Russia*, ۲۰۰۵.
- [۸]. Hong Zhong, S.A. Sannasirag and Engsoon Chan., "Wind wave effects on hydrodynamic modeling of ocean circulation in the south china sea". *The open civil Engineering Journal*, ۳, ۴۸-۰۱, ۲۰۰۹.
- [۹]. Fulgoso, D., Lakehal, S., "Direct Numerical Simulation of Turbulence in Sheared Air-Water Flow with Deformable Interface", *J. Fluid Mech*, ۴۸۲, ۳۱۹-۳۴۵, ۲۰۰۳
- [۱۰]. Menter, F.R., " Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications, " *AIAA Journal*, Vol. ۳۲, pp ۱۵۹۸-۱۶۰۵, ۱۹۹۴.
- [۱۱]. UNESCO, The practical salinity scale ۱۹۷۸ and the international equation of seawater, Unesco technical papers in marine science, ۳۶, ۱۹۸۱.
- [۱۲]. MIKE۳ Flow Model, Hydrodynamic Module, User Guide, pp. ۱۱-۱۳.
- [۱۳]. Chorin, A.J., A Numerical Method for Solving Incompressible Viscous Flow Problems, *J. Comp. Physics*, ۲, pp. ۱۲-۲۶, ۱۹۶۷.

1. Warm up period

پانزدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها FD1023

بندرعباس، دانشگاه هرمزگان، ۲۷-۲۹ آذر ۱۳۹۲

[۱۴]. Rasmussen, E.B., Three Dimensional Hydrodynamic Models, In Abbott, M.B. and Price, N.A. (eds), Coastal, Estuarial and Harbour Engineering Book, Chapman and Hall, London, ۱۹۹۳.

[۱۵]. مهناز کریمی، حبیب موسوی جهرمی، " مقایسه مدل‌های تلاطم در شبیه‌سازی جریان‌های اغتشاشی"، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه ۸۹.