

## شبیه سازی هیدرودینامیک جریانات جزرومدی در محل تلاقی رودخانه های کارون و اروند

محمد خوش خواهش، ابوالفضل دلبری<sup>۱\*</sup>، محمد فیاض محمدی

<sup>۱\*</sup> - نویسنده مسئول، دانشکده علوم اقیانوسی ، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

ایمیل نویسنده مسئول: abolfazl\_delbari@yahoo.com شماره موبایل نویسنده مسئول: +۹۱۶۸۷۹۷۲۰۰

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۲۰

چکیده

در این مقاله به مدلسازی جریانات جزرومدی در محل تلاقی کارون و اروند با استفاده از مدل مایک ۲۱ پرداخته شده است. این مدل عددی بر پایه روش اویلری توسعه داده شده و در آن برای مشخص کردن الگوی حرکت جریان آب از معادلات پیوستگی و اندازه حرکت (معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده در عمق)، استفاده شده است. برای شبکه بندی حوضه مدل از مش نامنظم مثلثی استفاده شده است. مش منطقه مورد مطالعه به نحوی است که در محدوده ی تلاقی، مش بندی ریزتر انجام شده است. همچنین تعداد گره ها و المان های به کار رفته در این مطالعه به ترتیب ۹۸۳۲ و ۱۸۵۵۳ است و در ادامه سه مرز باز (رودخانه کارون و اروند، دریا) برای مدل در نظر گرفته شده است، به مرز دریا سری زمانی تغییرات تراز سطح آب اعمال شده است و در مرز رودخانه ها، از شرط فلتر استفاده شده است. در این مرز سرعت و تراز سطح آب و دبی تعریف شده است، تراز سطح آب بیشترین اثر را بر مدل اعمال کرده است. پس از واسنجی، مقایسه ی نتایج مدل با اندازه گیری های میدانی نشان داده است که خطای مجذور میانگین مربعات برای تراز سطح آب ۱۴ m/۰+ و برای سرعت آب ۱ m/s/۰+ می باشد.

کلمات کلیدی

"شبیه سازی"، "هیدرودینامیک"، "جزرومد"، "تلاقی کارون و اروند"، "سرعت جریان"

## Hydrodynamic simulation of tidal currents at the confluence of the kaoon and arvand rivers

Mohammad Khosh Khahesh, Abolfazl Delbari<sup>1,\*</sup>, Mohammad Fayaz Mohammadi

<sup>1</sup> Faculty of Ocean Sciences, Khorramshahr University of Marine Science and Technology

\*Email Address: abolfazl\_delbari@yahoo.com

\* Mobile Phone: +989168797200

### Abstract

In this paper , the modeling of tidal currents at the confluence of Karoon and Arvand rivers has been modeled using mike 21 model . the numerical model is developed based on the eulerian method and is used to determine the flow pattern of water flow from continuity and momentum equations ( navier - stokes equations in depth ) . triangular unstructured mesh is used for mesh scheme . the mesh of the study area is in a way that in the range of confluence , finer grained is performed . in addition , the number of nodes and elements used in this study are 9832 and 18553. in the following , three open boundary (Karoon river, Arvand river and sea ) are considered for the model . time series of level changes have been applied to the sea border. on the boundary of rivers, the flather condition is used .at this points, the velocity and level of water and discharge are defined. the level of water level has exerted influence on the model . after calibration , the comparison of the results of the model with the observational measurements shows that the root mean square error for the water surface level is 0.14 m and for the water velocity is 1 m / s .

### Keywords

“modeling”, “hydrodynamic”, “tide”, “confluence of Karoon and Arvand rivers”, velocity”

## ۱-مقدمه

امروزه در مناطق مختلف دنیا از مدل‌های عددی برای بررسی و پیش‌بینی جریان‌ها و امواج استفاده می‌گردد. دلیل این امر قابلیت تغییر در ضرایب و بهبودی کاربری فراسنج‌های موجود در معادلات مدل است که می‌توان به این وسیله با آزمایش و فراسنجی این ضرایب با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، نتایج را تا دقت‌های بسیار بالا به واقعیت نزدیک کرد. در واقع کار مدل‌سازی تلفیقی از حل معادلات حاکم بر طبیعت به همراه مشاهده و نمونه برداری از کمیت‌های مورد ارزیابی از طبیعت برای تطبیق نتیجه مدل با واقعیت است. مدل‌سازی بدون واقعیت بی‌معنی است. در مهندسی سواحل اطلاعات میدانی به هنگام و کافی از وضعیت کشندی برای مواردی نظیر توسعه سواحل، کالیبره کردن مدل هیدرودینامیکی عددی، هیدروگرافی، انتقال رسوب و سایر موارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این پژوهش ارزیابی و صحت‌سنجی مدل هیدرودینامیکی عددی کشندی در محل تلاقی کارون و اروند با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی در سه شاخه کارون و اروند و شط العرب است. در رابطه با مدل‌سازی جریانات تاکنون مطالعاتی انجام شده است که از جمله می‌توان به مطالعات انجام شده زیرآشاره کرد. در سال ۲۰۱۷ مطالعه "اثرات محتمل جزر ومد و امواج در پویایی (دینامیک) کوتاه مدت رسوبات با تلالی" انجام شد. برای درک دینامیک کوتاه مدت رسوب در باتلاق‌های نمکی، بررسی رسوب در اطراف رتکای<sup>۱</sup> و سنت انالان<sup>۲</sup> در جنوب غربی هلند<sup>۳</sup> مورد مطالعه قرار گرفتند. غلظت رسوب معلق (SSC) در طول چهار برش عرضی عمودی در طی ۹ دوره جزر ومدی سیلابی در ماه‌های مارچ و دسامبر ۲۰۱۳ اندازه‌گیری شد و در این مدت از دو نوع تله رسوب استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو SSC با سرعت باد در طی نمونه‌گیری رابطه معنی‌داری داشت. میزان رسوب و نسبت نگهداری به طور معنی‌داری با انرژی موج تجمعی در طول دوره اندازه‌گیری بستگی داشت (Zhang et al., 2017). چیانو با استفاده از مدل مایک ۲۱ به مدل‌سازی جریان و فرایند انتقال شوری در تالاب ساحل پینگ<sup>۴</sup> از مصب رودخانه لیاو<sup>۵</sup> پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که سرعت جریان جزر ومدی به طور قابل ملاحظه با تراکم پوشش گیاهی کاهش

می‌یابد و همچنین پوشش گیاهی اثر ناچیزی بر عمق آب و شوری در آن ناحیه دارد و همچنین غلظت شوری با افزایش ورودی آب به تالاب کاهش پیدا می‌کند. (Qiao et al., 2018) در سال ۲۰۱۶ مطالعه تحت عنوان تاثیر پتانسیل افزایش سطح آب دریا در آینده بر روی جزر ومد در دریای چین<sup>۶</sup> انجام شد. در این مطالعه سه سناریوی افزایش سطح (۱/۵، ۱، ۰/۵) متر اجرا شد. نتایج این تحقیق نشان داد که اندازه مؤلفه قمری اصلی  $M_2$  و اندازه مؤلفه روزانه  $K_1$  واکنش بیشتری به افزایش تغییرات تراز سطح آب نشان می‌دهند و همچنین نتایج نشان می‌دهد تغییرات دامنه  $M_2$  و  $K_1$  در آب‌های کم عمق بیشتر از آب‌های عمیق است و در ادامه نتایج نشان داد که افزایش زیادی بر روی مؤلفه  $M_2$  دارد در حالی که تاثیر بروی مؤلفه  $K_1$  ندارد (Kuang et al., 2016). زنگانه و مومنی در سال ۱۳۹۵، به بررسی رسوب‌گذاری در خور بوشهر با استفاده از نرم‌افزار مایک ۲۱ پرداخته‌اند. در آن تحقیق، در گام نخست با استفاده از ترازهای آب ثبت شده در منطقه چابهار، یک مدل عددی هیدرودینامیکی بزرگ مقیاس به کمک ماژول FM نرم‌افزار مایک ۲۱ توسعه داده شده است. مدل موردنظر با استفاده از ترازهای آب ثبت شده در ایستگاه ایران سیام بوشهر واسنجی شد. سپس با استفاده از یک مدل محلی، وضعیت جریانات و نوسانات جزر ومدی در محدوده طرح با دقت بیشتری مورد ارزیابی قرار گرفته است. در توسعه این مدل محلی از نتایج مدل کلی توسعه داده شده برای محدوده بوشهر استفاده گردیده است. در گام دوم با استفاده از غلظت رسوبات معلق ثبت شده در نقاط مختلف کانال بوشهر، روند رسوب‌گذاری در محل خور بوشهر در ماژول انتقال رسوبات چسبنده نرم‌افزار مایک ۲۱ در قالب یک مدل محلی مدل‌سازی شده است. بعد از واسنجی مدل مذکور، به منظور بررسی روند رسوب‌گذاری سالانه در خور بوشهر، این مدل برای مدت یک سال اجرا گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که در هر سال میزان رسوب‌گذاری در داخل خور بوشهر از حدود ۷ سانتی‌متر در جلو اسکله شرکت بازرگانی و تا ۲۲ سانتی‌متر در محل اسکله کوثر خواهد بود (زنگانه و مومنی، ۱۳۹۵). ارشادی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در پژوهش خود، با استفاده از داده‌های میدانی، از جمله تغییر در تراز سطح آب سرعت و سوی جریان،

4 - Pink Beach Wetland

5 - liao River

6 - Sea China

1 \_ Rattekaai

2 \_ sint Annalan

3 \_ Oosterschelde

• شبکه‌بندی

در مدل مایک ۲۱ فایل عمق باید به صورت xyz باشد. یعنی یک فایل با سه ستون که ستون اول عرض جغرافیایی، ستون دوم طول جغرافیایی و ستون سوم عمق به صورت اعداد منفی است. بلندی‌های اطراف را نیز می‌توان به صورت اعداد مثبت وارد کرد تا مدل از شیب ساحل مطلع شود. برای این تحقیق از نقشه‌ی هیدروگرافی سازمان بنادر خرمشهر با دقت ۱:۵۰۰۰ استفاده شده است بسته نرم‌افزاری مایک مجهز به ابزار رقومی سازی نقشه‌های کاغذی و مش‌سازی است. در اینجا به کمک این ابزار، تمامی نقشه‌ها رقومی‌سازی، درون‌یابی و مش‌بندی شدند. حوضه‌ی مورد مطالعه شامل محل تلاقی رودخانه کارون به اروندرود است. برای شبکه‌بندی حوضه مدل از مش نامنظم مثلثی استفاده شده است. مش منطقه مورد مطالعه به نحوی است که در محدوده‌ی تلاقی، ریزتر مش‌بندی شده است و همچنین تعداد گره‌ها و المان‌های به کار رفته در مطالعه به ترتیب ۹۸۳۲ و ۱۸۵۵۳ است. مرزهای مدل و مش‌بندی استفاده شده در مدل در شکل ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است.

• شرایط مرزی

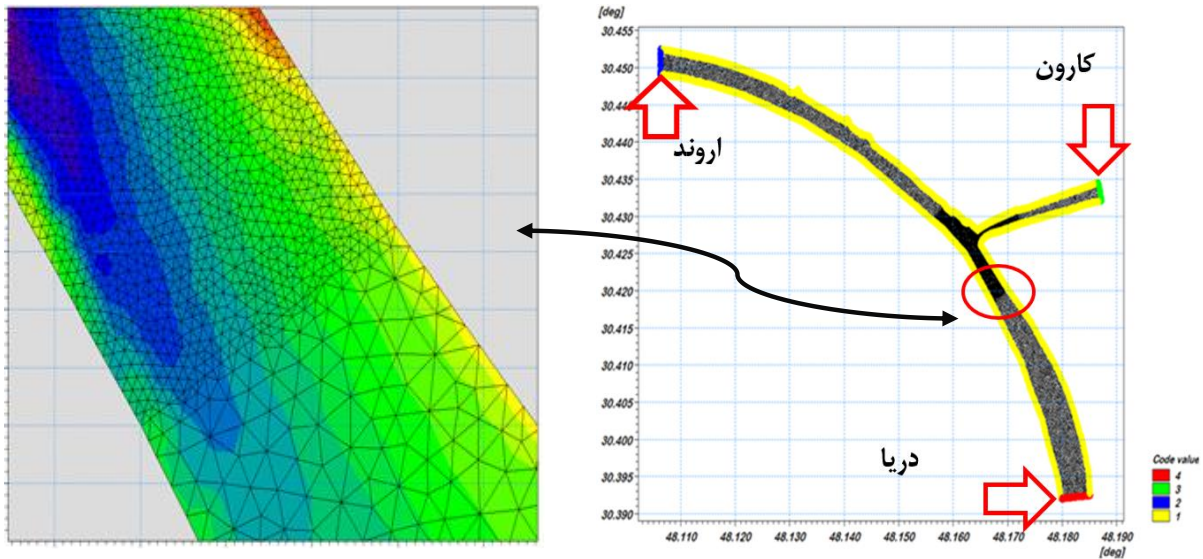
مدل دارای یک مرز باز دریا، در جنوب، و دو مرز باز رودخانه (کارون و اروندر) در بالادست است. نوسان سطح آب در مرز دریا به صورت سری زمانی همانند شکل ۳ به مدل داده شده است. این داده‌های تراز سطح آب از سازمان بنادر کل کشور گرفته شده است، لازم به ذکر است که این داده‌ها توسط رادار در مقابل بندر خرمشهر ثبت شده‌اند. در مرز رودخانه‌ها، از شرط فلتر<sup>۷</sup> استفاده شده است در این مرز سرعت و تراز سطح آب و دبی تعریف شده است، تراز سطح آب بیشترین اثر را بر مدل اعمال کرده است.

هیدروگرافی، مرزها و نرم افزار Mike21، جریانات جزرومدی دریاچه تیاب را شبیه سازی نمودند. مقایسه خروجی مدل با داده‌های میدان نشان داد که مدل به کار برده شده به خوبی قادر به شبیه سازی جریانات جزرومدی دریاچه بوده است (Ershadi et al., 2013). وفادار و حاجی ولیبی در سال ۱۳۹۴، به کمک مدل مایک، مدل‌سازی عددی الگوی رسوب در اطراف بندر حمیران را انجام داده‌اند. در این تحقیق به وسیله مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار مایک الگوی انتشار جریان و به تبع آن الگوی انتقال رسوب در طرفین بندر حمیران، واقع در سواحل خلیج فارس، بررسی و مطالعه شده است. بر اساس این تحقیق الگوی غالب موج و جریان و در نهایت انتقال رسوب از مدل استخراج و با تصاویر ماهواره‌ای صحت آن بررسی شده است. در نهایت تشخیص داده شد که حمیران، مشکل رسوب جدی نخواهد داشت (وفادار و حاجی ولیبی، ۱۳۹۴). همچنین مطالعات دیگری مانند (Ajiwibowo et al., 2017) و (Dongfeng et al., 2013) (نائینی و کرباسی، ۱۳۹۴) مشابه این تحقیق تاکنون انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

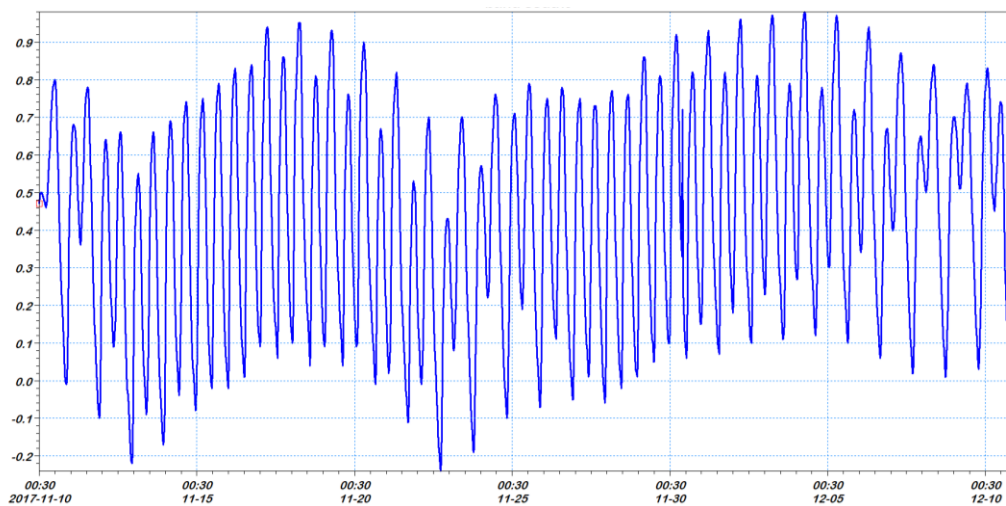
در این مطالعه برای بررسی جریانات جزرومدی از مدل عددی مایک استفاده شده است. مایک یک بسته نرم‌افزاری است که انستیتو هیدرولیک دانمارک و با همکاری انستیتو کیفیت آب پایه‌ریزی شده و به مرور زمان تکمیل و توسعه یافته است. مایک قابلیت محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده‌های مربوط به خورها، نواحی کم عمق ساحلی، خلیج‌ها، دریاها و رودها دارد. عمق حوضه آبی، جزو اولین و مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز در مدل‌سازی عددی است.

<sup>7</sup> - flather condition



شکل ۲- مش به کاررفته در مدل

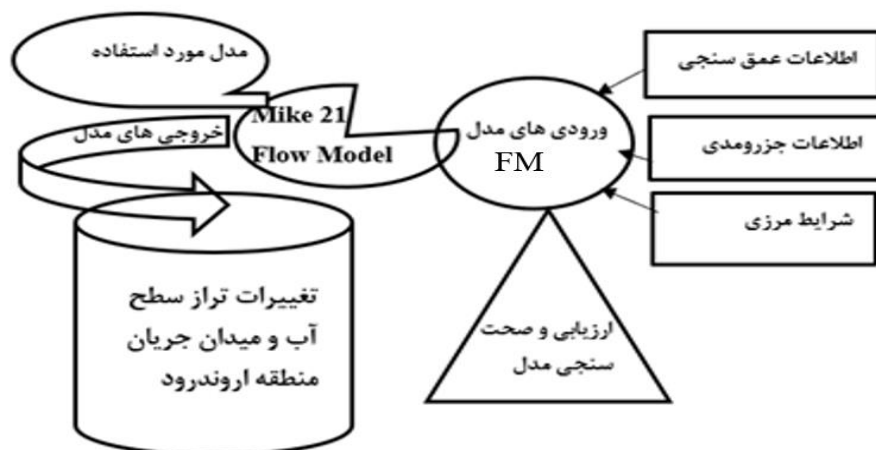
شکل ۱- مرزهای مدل



شکل ۳- تغییرات تراز سطح آب اعمال شده به مرز دریا (داده های ثبت شده توسط رادار)

شبه سازی شده است، شکل ۱-۳ فلوجارت مدل هیدرودینامیک را نشان می دهد.

در این تحقیق از مدل جریان<sup>۸</sup>، استفاده شده است. در مازول هیدرودینامیک، انتشار جریان و تراز سطح آب به کمک رفتارهای هیدرولیکی حاکم بر توپوگرافی بستر و شرایط مرزی



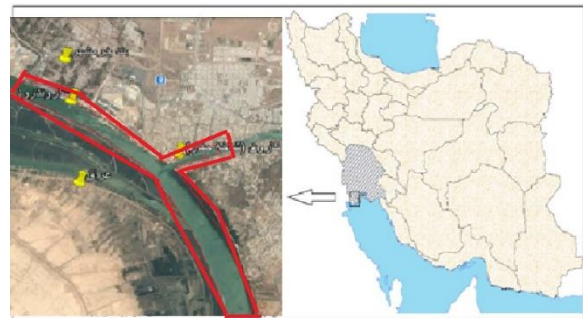
شکل ۴- فلوجارت مدل هیدرودینامیک

جدول ۱- تنظیمات مدل هیدرودینامیکی FM

Module Hydrodynamic	انتخاب ماژول
Minimum time= 0.001S, maximum time= 30S	گام زمانی
Time integration: low order fast algorithm	تکنیک حل
Critical CFL Number= 0.8	عدد کورانت یحرانی (برای پایداری حل)
Depth= No, drying depth= 0.05, flooding depth= 0.005 , wetting depth = 0.1	مناطق خشک و تر
Density = barotropic	چگالی
Eddy viscosity= Smagorinsky= 0.28	ادی ویسکوزیته
Bed resistance = maninng anaumber = 15	مقاومت بستر
Coriolis Forcing = Warying domain	نیروی کوریولیس
Wind forcing = No	نیروی باد
Wawe Radiation = No	تنش تشعشعی
Ice Coverage = No	یوشش یخ
includeTidal Potential	جزرومد
Surface elvation = 0	شرایط اولیه (تراز سطح آب، و سرعت آب)
U – velocity, v-velocity = 0	
Bandary condition [ code2, code 3, code 4]	شرایط مرزی
code2 = Flather condition [U – velocity = V – velocity = 0.3, Level = 0.45]	
code3 = Flather condition [U – velocity = V – velocity =- 0.3, Level = 0.45]	
code 4 = Spacefied level = file dfso surface elevation, still water depth, total water depth, u velocity, v velocity, current speed, current direction, CFL number, drag coefficient, eddy viscosity	خروجی های مدل

• منطقه مورد مطالعه

اروندروود از به هم پیوستن رودخانه‌های دجله و فرات در عراق و شاخه‌ای از کارون تشکیل می‌گردد. رود دجله از دامنه‌های جنوبی سلسله جبال توروس (کوه‌های اناتولی) در شرق ترکیه سرچشمه گرفته و از مرز عراق ، سوریه و ترکیه گذر کرده، وارد خاک عراق می‌شود. در خاک عراق از میان شهرهای بزرگی چون بغداد و موصل عبور می‌کند. فرات نیز نهر بسیار معروفی در شرق کشور عراق است. سرچشمه فرات نزدیک رود ارس در سرزمین ارمنستان است. (Hannaneh, 2005). دو رود دجله و فرات پس از اتصال و طی مسیری در حدود ۱۰۰ کیلومتر در مرز ایران و عراق قرار می‌گیرند و با رودخانه کارون پیوند می‌خورند. سرچشمه اصلی رودخانه کارون، زردکوه در رشته کوه‌های زاگرس است و از نزدیکی شهرهای شهرکرد، بروجن، لردگان، ایذه، مسجد سلیمان و از میان شهرهای شوشتر، اهواز و خرمشهر عبور می‌کند (آزاد بخت و نوروزی، ۱۳۸۷). طول کارون حدود ۸۹۰ کیلومتر است. رودخانه کارون پس از منشعب شدن بهمنشیر از آن در شمال شرقی خرمشهر و طی ۴ کیلومتر به اروند می‌ریزد. به روایتی مسیر اصلی کارون بهمنشیر بوده و قسمتی که در حال حاضر از وسط خرمشهر عبور کرده و کارون را به اروند متصل می‌سازد، در نتیجه حفر نهر حفار (یا فم عضدی) به فرمان عضدالدوله دیلمی (م-۹۸۲-۹۳۶ / ۳۲۴-۳۷۲) برای ارتباط دادن بصره به اهواز از راه آب ایجاد شده است (cgie.org2016). محدوده‌ای که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته محل تلاقی رودخانه کارون به اروندروود است. محدوده حوزه مورد بررسی تقریباً ۶۰ km<sup>2</sup> می‌باشد. شکل ۵ نشان دهنده محدوده‌ی مورد مطالعه است.



شکل ۵- منطقه مورد مطالعه

• مبانی تئوری و معادلات حاکم

ماژول هیدرودینامیک قادر است از مختصات کروی، کارتیزین، و مختصات قائم سیگما و در راستای قائم به صورت ترکیبی از مختصات  $z$  و سیگما با هم استفاده کند. برای سادگی بیشتر، معادلات فقط در دستگاه مختصات کارتیزین ارائه می‌شوند و از تکرار آن‌ها در دستگاه‌های دیگر خودداری می‌شود. مدل بر اساس حل سه بعدی معادلات ناویه استوکس، با فرض تراکم ناپذیری، بویزنسکی، و فشار هیدرواستاتیک استوار است.

معادله پیوستگی به صورت زیر است:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

و مؤلفه‌های افقی معادله اندازه حرکت (تکانه) در راستای  $x$  و  $y$  به ترتیب عبارت‌اند از:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} &= -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ &\frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_y + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_z S \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} &= fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ &\frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_x + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_z S \end{aligned}$$

کمیت‌های استفاده شده در این معادلات عبارت‌اند از:  $t$ : زمان؛  $z, y, x$ : راستای دستگاه مختصات کارتیزین؛  $\eta$ : نوسان سطح آب؛  $d$ : عمق آب در حالت آرام؛  $h = \eta + d$ : عمق کل آب؛  $u, v, w$ : مؤلفه‌های سرعت به ترتیب در راستای  $x, y$  و  $z$ ؛  $f = 2\Omega \sin \phi$ : پارامتر کوریولیس ( $\Omega$ : سرعت زاویه‌ای چرخش زمین و  $\phi$ : عرض جغرافیایی)؛  $g$ : شتاب جاذبه زمین؛  $\rho$ : چگالی آب؛  $s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$ : مؤلفه‌های تانسور تنش؛  $\theta_t$ : لزجت آسفته (یا گردابی)؛  $p_a$ : فشار هوا؛  $S$ : بزرگی دبی منبع نقطه‌ای؛  $(u_s, v_s)$ : سرعت ورود دبی به منطقه. جملات تنش افقی در معادلات فوق به صورت زیر می‌باشند:

ترازهای آب در شبیه سازی نشان داد که نسبت به ضریب گرانروی حساسیت ندارند. از آن جایی که شبیه سازی های انجام شده نشان دادند که ضریب گرانروی بر نتایج ترازهای آب ناشی از جزرومد، تاثیر نداشته است، لذا عدد ثابت ۰/۲۸، مقدار پیش فرض مدل، به کار گرفته شده است. در شکل ۶ حساسیت سنجی تراز سطح آب نسبت ضریب گرانروی نشان داده شده است.

• حساسیت سنجی مدل هیدرودینامیک

شبیه سازی ریاضی با ضرایب مانینگ<sup>۹</sup> مختلف انجام شد و با توجه به جدول ۲ ضریب مانینگ ۱۶ برای کالیبراسیون مدل انتخاب شده است.

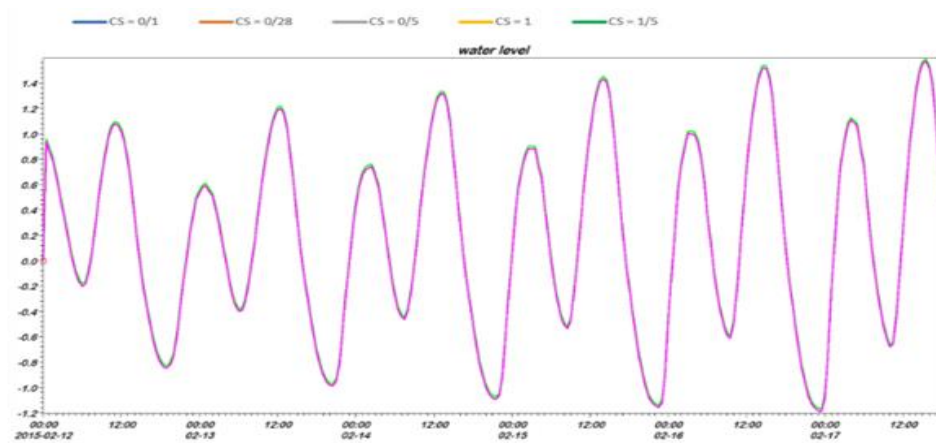
$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left( A \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2A \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

در اینجا  $A$  لزجت افقی گردابی است.

• حساسیت سنجی تراز سطح نسبت به ضریب گرانروی گردابه ای

به منظور بررسی اثر عدد کورانت بر تراز جزرومد ، مدلسازی حاضر با ضرایب گرانروی مختلف (۰/۱ ، ۰/۵ ، ۰/۲۸ ، ۱ ، ۱/۵) برای یک دوره ی مشخص اجرا گردیده و نتایج به دست آمده در مناطق مختلف با یکدیگر مورد مقایسه واقع شدند. مقایسه



شکل ۶- حساسیت سنجی تراز سطح آب نسبت ضریب گرانروی گردابه ای

جدول ۲- نتایج آماری اجرای مدل با ضرایب مانینگ مختلف در محل تلاقی کارون و اروند

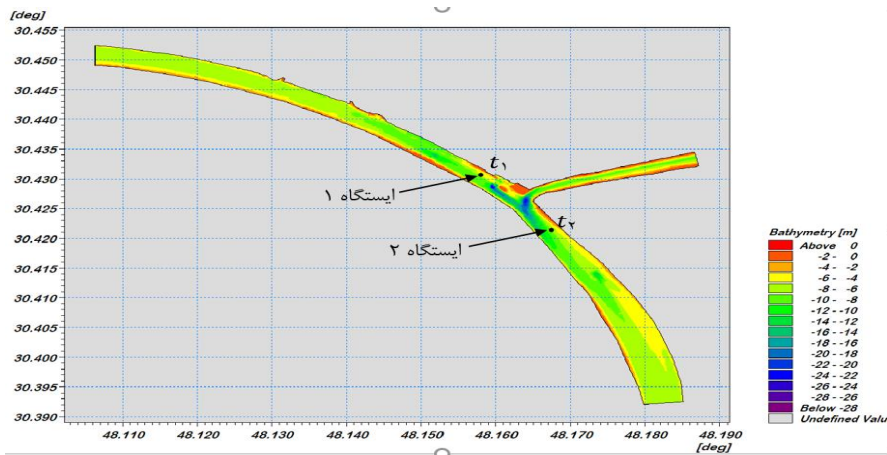
28/11/2017	Manning 10	Manning 13	Manning 16	Manning 20	Manning 28
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.5298$	$R^2 = 0.6298$	$R^2 = 0.8352$	$R^2 = 0.7298$	$R^2 = 0.5852$
معادله ی خط	$y = 1.515x + 0.021$	$y = 0.72x - 0.0278$	$y = 1.0955x - 0.0578$	$y = 0.7858x - 0.018$	$y = 0.6375x - 0.0177$

<sup>9</sup> -Coefficient manning

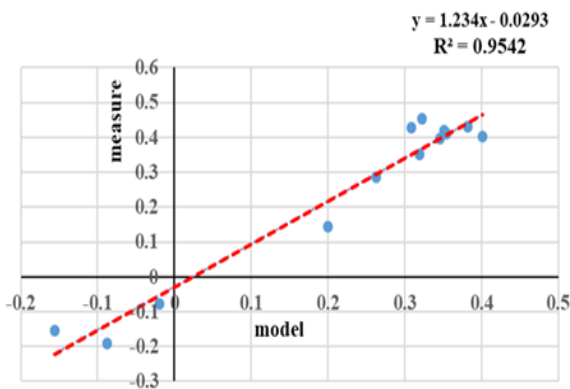
• کالیبراسیون مدل هیدرودینامیکی

نتایج آن با داده واقعی ضریب مانینگ مناسب ۱۶ به دست آمد. لازم به ذکر است برای اطمینان بیشتر از ضریب کالیبراسیون مدل را به ازای مانینگ کمتر از ۱۶ اجرا شد و مقایسه نتایج آن با داده‌های واقعی نشان داد که با کاهش ضریب مانینگ، خروجی از مقادیر واقعی دورتر شد و در نهایت با انتخاب عدد ۱۶ به عنوان ضریب مانینگ خروجی‌های مدل منطقی‌تر به دست آمده است. با توجه به جدول ۲ ضریب مانینگ ۱۶ برای کالیبراسیون مدل انتخاب شده است.

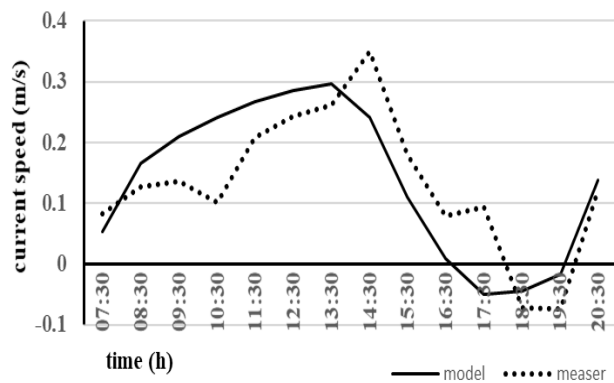
برای کالیبراسیون مدل جریانات در هر بار اجرای مدل ضریب زبری بستر را تغییر و عوامل دیگر ثابت فرض شد. ضریب مقاومت بستر که با عدد مانینگ تعریف می‌شود، ابتدا با عدد ۱۰ اجرا شد که نتایج با داده‌های میدانی در دو ایستگاه  $t_1$  و  $t_2$  در شکل زیر نشان داده شد مقایسه شده است. در ادامه چندین مرحله با زیاد کردن این عدد به اعداد ۲۸، ۲۰، ۱۶ و ۱۳ در هر بار اجرای مدل خروجی با مقادیر واقعی نزدیک‌تر شد و ضریب زبری بستر جهت واسنجی مدل به کار گرفته شد و پس از سعی خطای فراوان و اجرای چند باره مدل و مقایسه



شکل ۷- موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جریان آب

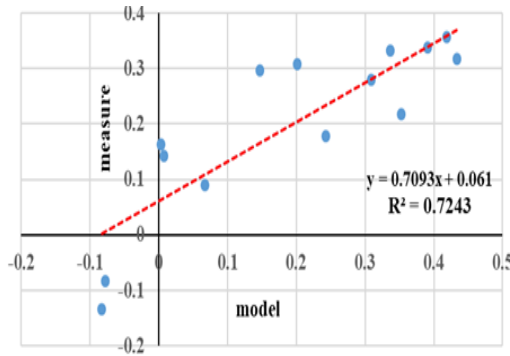


شکل ۹- نمودار پراکندگی نتایج مدل و داده های میدانی سرعت جریان در ایستگاه ۱

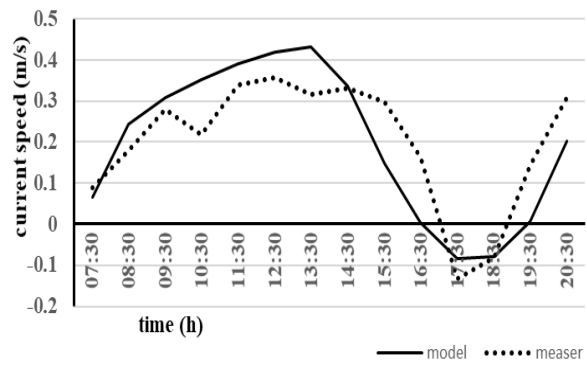


شکل ۸- کالیبراسیون سرعت جریان آب نتایج مدل و نتایج داده‌های اندازه گیری میدانی در ایستگاه ۱





شکل ۱۱- نمودار براکنندگی نتایج مدل و داده های میدانی سرعت جریان در ایستگاه ۲



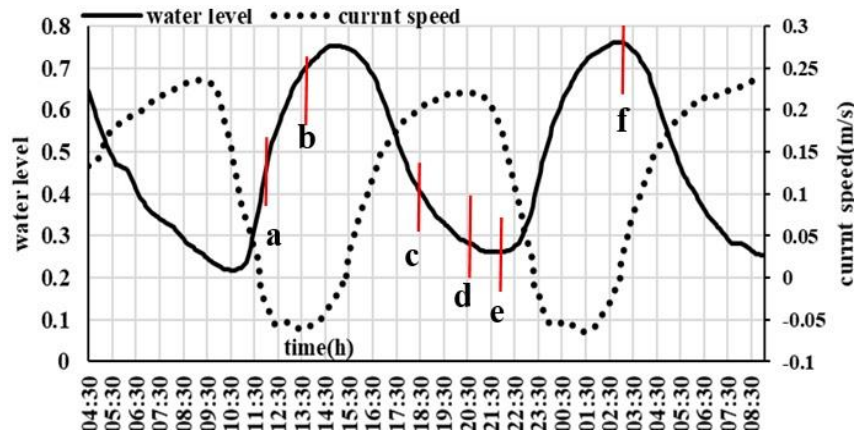
شکل ۱۰- کالیبراسیون سرعت جریان آب نتایج مدل و نتایج داده‌های اندازه گیری میدانی در ایستگاه ۲

### ۳- نتایج تحقیق

در دو حالت مهکشند و کهکشند نمودارهای سرعت جریان و تراز سطح آب را همزمان رسم کرده و در وضعیت های مختلف تراز سطح آب، جریان را را مورد نقد و بررسی قرار می دهیم.

در این بخش به بررسی توزیع مکانی سرعت‌ها در محل تلاقی کارون و اروند می‌پردازیم. برای اینکار نقطه‌ای در وسط تلاقی را به عنوان مبنای مقایسه و سنجش در نظر گرفته ایم. در اینجا

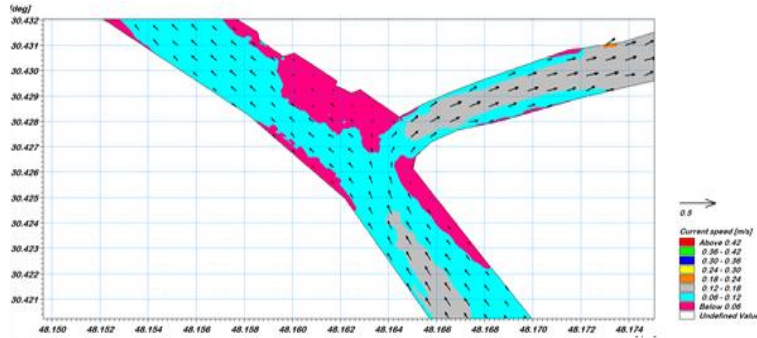
- کهکشند



شکل ۱۲- نمودار تراز سطح آب- جریان طی یک چرخه جزرومدی در کهکشند

کناره‌ی رودها و به ویژه مقابل بندر خرمشهر مشاهده می‌شود هم چنین با توجه به این شکل می‌توان گفت سرعت در شاخه‌ی کارون و اروند بیشتر از شاخه‌ی شط العرب (شاخه‌ی بالایی) است.

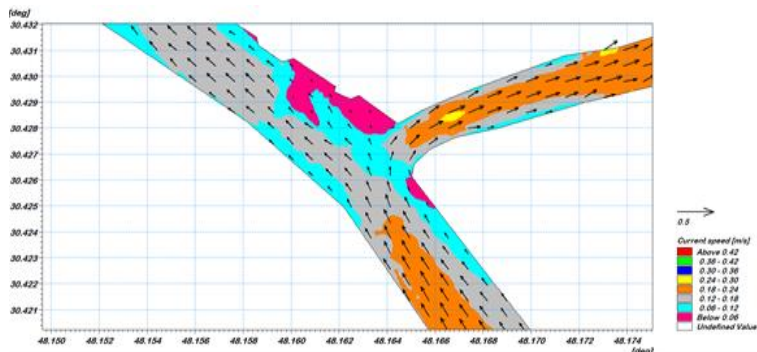
شکل ۱۳ شکل ۱۳ مبین وضعیت رژیم جریان در وسط تراز مدی است. با توجه به این شکل بیشینه‌ی سرعت  $1.8 \frac{m}{s}$  -  $1.2 \frac{m}{s}$  و در قسمت‌های میانی کارون و اروند متمایل به سواحل کشور عراق است. کمینه مقدار سرعت کمتر از  $0.6 \frac{m}{s}$  است که در



شکل ۱۳- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در کپکشدن در نقطه a

شاخه‌ی کارون بیشترین و در شط العرب (مقابل بندر خرمشهر) کمترین می‌باشد. برداشت دیگری که از تصویر می‌توان داشت این است که به طور کلی میزان سرعت جریان آب اروند سمت سواحل عراق بیشتر از سواحل ایران است.

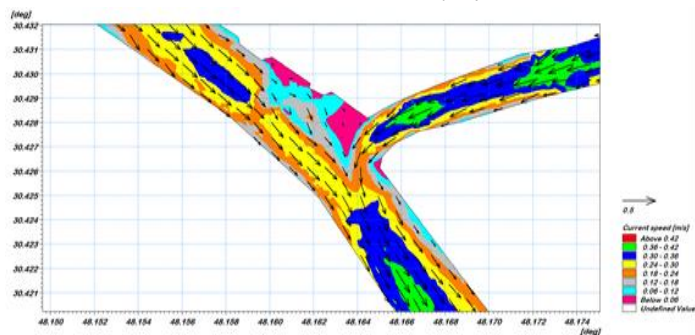
شکل ۱۴ نشان دهنده‌ی رژیم جریان در اواخر مد، زمانی که سرعت جریان مدی بیشینه است. بیشینه سرعت با توجه به این شکل در شاخه‌ی کارون و تا  $0.3 \text{ m/s}$  می‌رسد و کمترین مقدار آن در شاخه‌ی شط العرب (مقابل بندر خرمشهر) به میزان کمتر از  $0.6 \text{ m/s}$  می‌باشد. هم چنین می‌توان گفت سرعت در



شکل ۱۴- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در کپکشدن در نقطه b

تلاقی  $0.24 \text{ m/s}$  -  $0.18 \text{ m/s}$  است. در این تصویر هم واضح است که سرعت اروند سمت سواحل عراق بیشتر از سواحل ایران است.

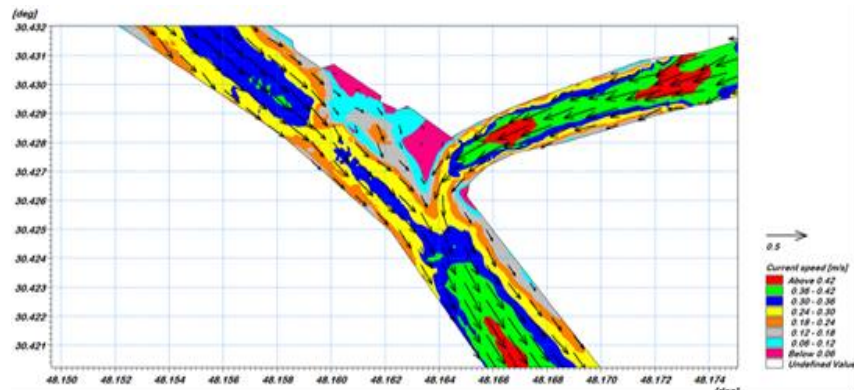
شکل ۱۵ نشان دهنده‌ی رژیم جریان در اواسط تراز جزری است. بیشینه مقدار سرعت در این زمان در شاخه‌ی کارون و اروند و به میزان  $0.42 \text{ m/s}$  -  $0.36 \text{ m/s}$  مشاهده می‌شود. حداکثر سرعت در شاخه شط العرب  $0.3 \text{ m/s}$  تا  $0.36 \text{ m/s}$  و در محل



شکل ۱۵- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در کپکشدن در نقطه c

در شاخه‌ی کارون و اروند بیش از  $0.42 \text{ m/s}$  است و در شاخه‌ی شط العرب بیشینه سرعت  $0.42 \text{ m/s}$  است.

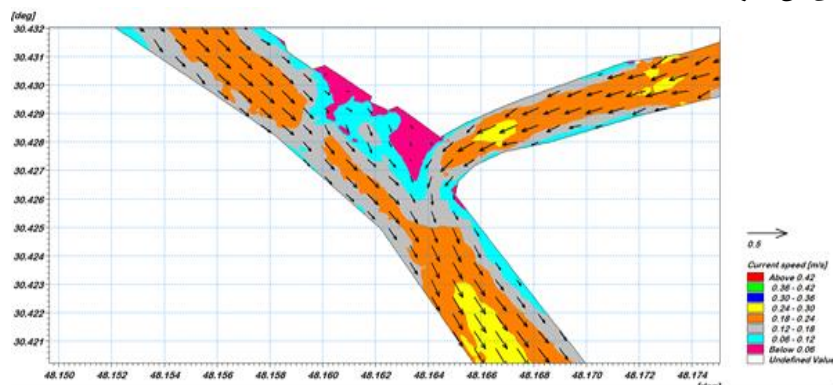
شکل ۱۶ توصیف‌کننده‌ی رژیم جریان در اواخر تراز جزر زمانی که سرعت بیشینه است. روند کلی جریان در این شکل مشابه الگوی جریان شکل ۱۳ است، با این تفاوت که بیشینه سرعت



شکل ۱۶- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در کپهکشدن در نقطه d

در شاخه‌های کارون و اروند بیشترین مقدار سرعت در محدوده‌ی  $0.3 \text{ m/s}$  -  $0.24 \text{ m/s}$  و در شاخه‌ی شط العرب  $0.24 \text{ m/s}$  -  $0.18 \text{ m/s}$  است.

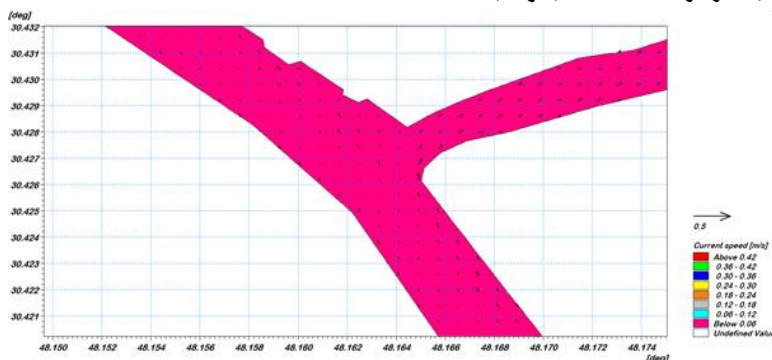
شکل ۱۷ مربوط به ناو تراز جزرومدی است. آب در پایین‌ترین تراز سطح خود قرار دارد، ولی سرعت جریان در محل تلاقی صفر نمی‌شود. و اندازه‌ی آن تقریباً  $0.12 \text{ m/s}$  -  $0.06 \text{ m/s}$  است



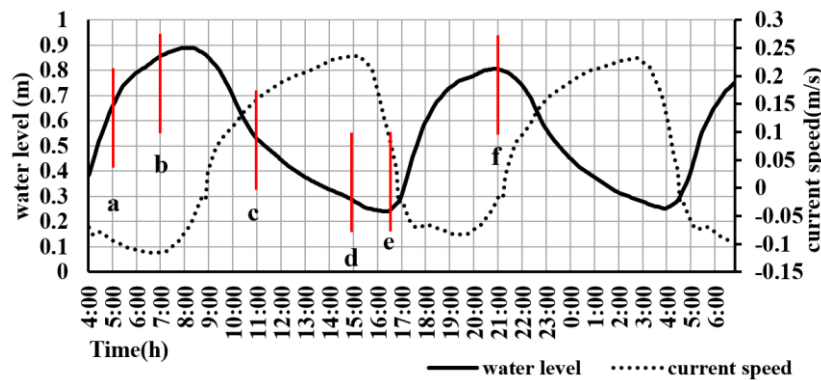
شکل ۱۷- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در کپهکشدن در نقطه e

ایستا به خود گرفته است. بنابراین slack water اتفاق افتاده است.

شکل ۱۸ مربوط به ستیغ تراز جزرومدی است. در این لحظه سرعت تقریباً صفر است (کمتر از  $0.06 \text{ m/s}$ ) و آب حالت



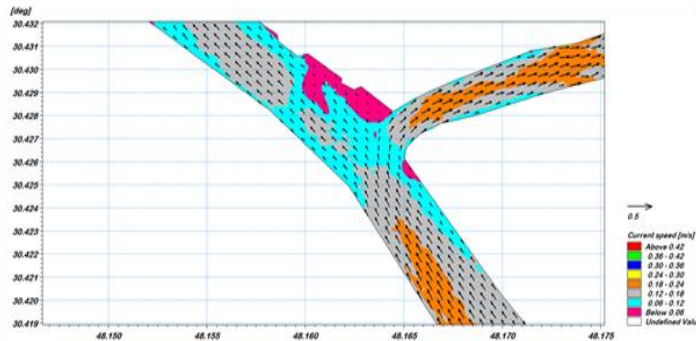
شکل ۱۸- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در کپهکشدن در نقطه f



شکل ۱۹- نمودار تراز سطح آب- جریان طی یک چرخه جزرومدی در مهکشند

است. در محل تلاقی سرعت تقریباً  $+0.12$  -  $+0.06$  m/s است در این تصویر مشخص است که سرعت سواحل عراق از سواحل ایران بیشتر است کمترین سرعت در سواحل ایران مربوط به اطراف بندر خرمشهر است (تقریباً نزدیک به صفر).

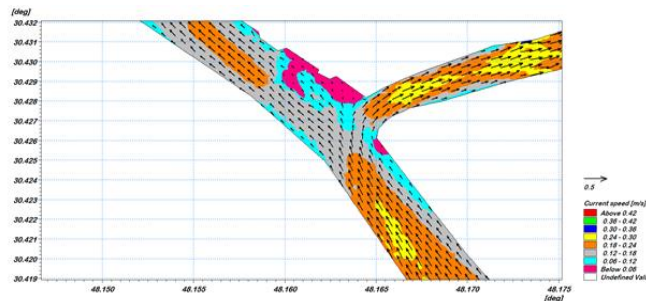
شکل ۲۰ مربوط به وسط تراز مدی است. با توجه به این شکل بیشینه سرعت  $+0.24$  -  $+0.18$  m/s و مربوط به قسمت‌های میانه‌ی شاخه‌ی کارون و اروند می‌باشد ولی سرعت در شاخه‌ی شط العرب نسبت به دو شاخه‌ی دیگر کوچکتر است. به گونه‌ای که بیشترین سرعت در آن قسمت  $+0.12$  -  $+0.18$  m/s



شکل ۲۰- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در مهکشند در نقطه a

در شاخه‌ی شط العرب  $+0.24$  -  $+0.18$  m/s و در محل تلاقی تقریباً  $+0.12$  -  $+0.18$  m/s است. لازم به توضیح است که مبنای این بررسی‌ها همگی محل تلاقی می‌باشد.

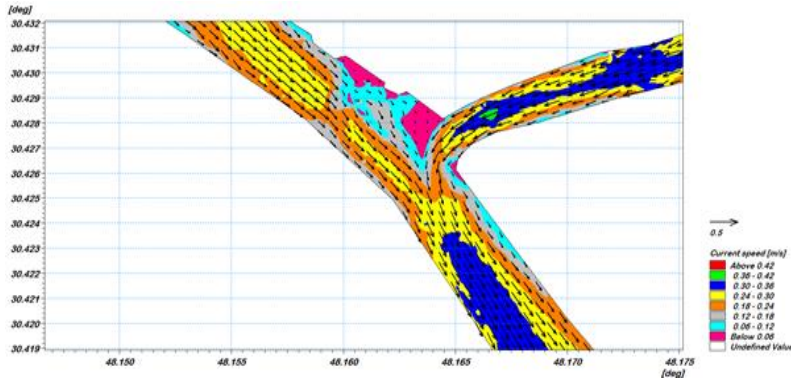
شکل ۲۱ نشان دهنده‌ی رژیم جریان در اواخر مد و جاییکه سرعت جریان مدی بیشینه است. روند جریان در این شکل مشابه الگوی جریان شکل ۲۰ است با این تفاوت که بیشینه سرعت در شاخه‌ی کارون و اروند  $+0.3$  -  $+0.24$  m/s می‌رسد



شکل ۲۱- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در مهکشند در نقطه b

شکل ۲۲ وضعیت رژیم جریان در میانه‌ی تراز جزر می باشد. به طور کلی سرعت جریان نسبت به زمان جزر خیلی بیشتر است. به گونه ای که اوج سرعت در هنگام جزر به بیش از  $0.42 \text{ m/s}$  می‌رسد. در این شکل سرعت جریان بیشترین مقدار خود را در شاخه‌ی کارون با مقدار  $0.42 \text{ m/s}$  -  $0.36 \text{ m/s}$  و کمترین سرعت هم در مقابل بندر خرمشهر تقریباً نزدیک به

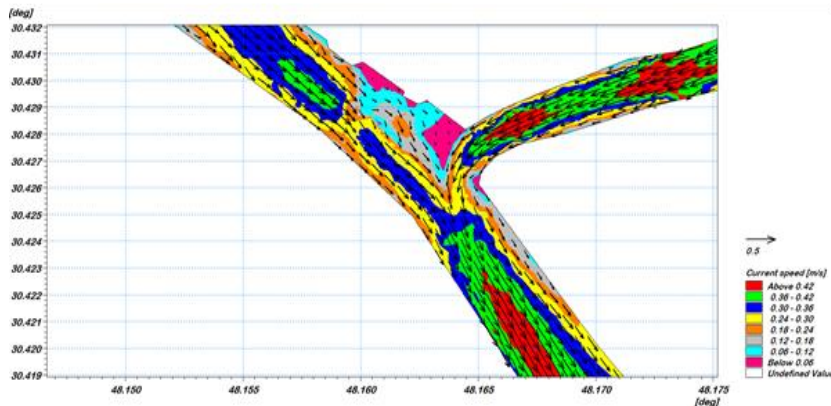
صفر است (زیر  $0.06 \text{ m/s}$ ) دارد. در محل تلاقی در این زمان سرعت بین  $0.18 \text{ m/s}$  تا  $0.24 \text{ m/s}$  متغیر است. هم چنین سرعت در میانه‌ی شاخه‌ی کارون نسبت به شاخه‌ی اروند و شط العرب بیشتر است لازم به ذکر است سرعت سمت سواحل عراق از سواحل ایران بیشتر است.



شکل ۲۲- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در مهکشند در نقطه c

شکل ۲۳ مربوط به اواخر جزر است جاییکه سرعت بیشترین مقدار را دارد در این زمان بیشینه مقدار سرعت در وسط شاخه‌ی کارون و اروند (بیشتر  $0.42 \text{ m/s}$ ) و سرعت در محل تلاقی بین

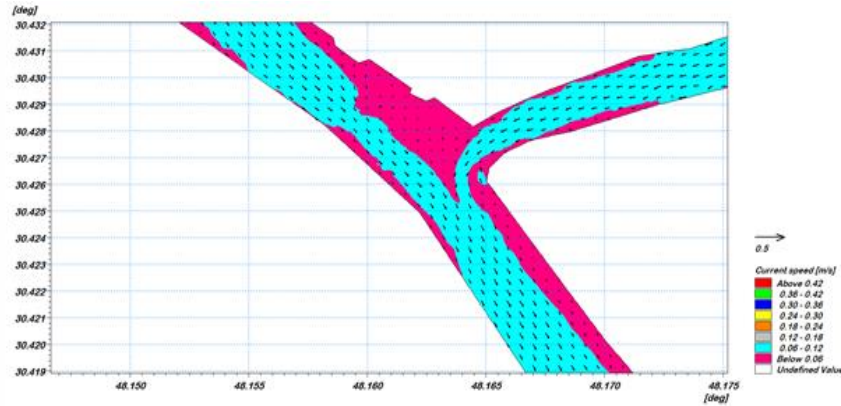
$0.36 \text{ m/s}$  -  $0.3 \text{ m/s}$  است. در شاخه‌ی شط العرب بیشینه سرعت  $0.42 \text{ m/s}$  -  $0.36 \text{ m/s}$  می باشد.



شکل ۲۳- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در مهکشند در نقطه d

شکل ۲۴ وضعیت جریان آب در پایین ترین سطح را نشان می‌دهد. با وجود آنکه تراز آب در کمترین مقدار خود است سرعت جریان هنوز صفر نشده است (تقریباً  $0.07 \text{ m/s}$ ). علت این موضوع را می‌توان به وجود اختلاف فاز سرعت و تراز آب نسبت داد.

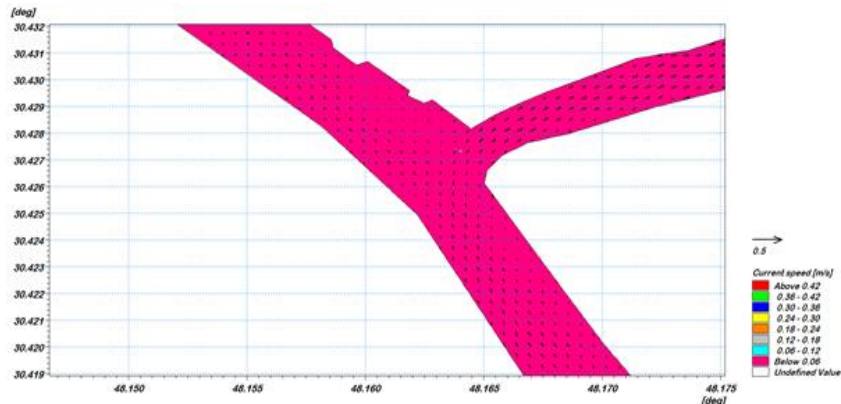
سرعت جریان تقریباً در میانه بین  $0.12 \text{ m/s}$  -  $0.06 \text{ m/s}$  می باشد و در اطراف کمینه است بنابر این در حالت slack water در هنگام تغییر رژیم جریان از جزر به مد سرعت جریان در میانه نسبت به کناره ها کمتر است.



شکل ۲۴- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در مهکشند در نقطه e

یعنی آب از حالت مد به جزر می رود سرعت جریان در این زمان تقریباً صفر است و در همه‌ی شاخه‌ها وضعیت یکسان است.

شکل ۲۵ نشان دهنده‌ی الگو و مقدار جریان در قله تراز جزرومدی است یعنی زمانی که آب حالت ایستاب (slack water) به خود دارد. در این زمان رژیم جریان تغییر می کند



شکل ۲۵- الگو و مقدار جریان در یک سیکل جزرومدی نیم روزه مختلط در مهکشند در نقطه f

#### ۴- نتیجه گیری و بحث

۰/۲۲۵+ و کمترین میزان سرعت جریان در حدود ۰/۰۴ m/s به دست آمده است سازگاری خوبی دارد. سرعت جریان در زمان انتقال آب از حالت کوه تاترین جزر به بلندترین مد مشابه سرعت جریان در هنگام انتقال بلندترین جزر به کوتاهترین مد می باشد و در این حالت ها سرعت جریان بیشتر بین ۰/۳۶- تا ۰/۱۲+ متر بر ثانیه می باشد، این پیش بینی با مطالعات (بهروز و همکاران، ۱۳۹۸) تطابق بسیار خوبی دارد. سرعت جریان سمت سواحل عراق بیشتر از سواحل ایران میباشد این نتیجه با مطالعات (عبدالخانیان و همکاران ۱۳۹۶) و همچنین (بهروز و همکاران، ۱۳۹۸) سازگاری بالای دارد.

در این مقاله به مدل سازی الگوی جریان در محل تلاقی کارون و اروند پرداخته است. بیشترین سرعت جریان هنگام کهکشند در وسط رودخانه کارون و اروندرود بزرگ (شاخه پایینی) ۰/۴۲ m/s+ و هنگام مهکشند بیش از ۰/۴۲ m/s+ می باشد. با حرکت به سمت بالادست رودخانه سرعت جریان کاهش پیدا می کند. بیشینه سرعت جریان به هنگام جزر بیشتر از بیشینه سرعت جریان در هنگام مد است علت این اتفاق همسو بودن جهت جریان رودخانه با جریان جزر است. و همچنین در محل تلاقی سرعت بین ۰/۰۶+ تا ۳ m/s+ متغیر است حدود این پیش بینی با مطالعات (امیری، ۱۳۹۵) که حداکثر سرعت جریان در محل تلاقی حدود ۰/۰۶ m/s+

منابع

- بهروز، ب. خلیل ابادی، م. ۱۳۹۸. مدل سازی هیدرودینامیکی در مصب اروندرود ایران تحت اثر جریانهای جزرومدی. مجله علوم و فنون دریایی
- عبدالخانیان، ن. علمی زاده، ه. دادالهی سهراب، ع: سواری، ا: فیاض محمدی، م. ۱۳۹۵۲. مدل سازی مقایسه پخش آلودگی در اروندرود در فصل کم آبی و پرآبی. مجله علوم و فنون دریایی. ص ۱۳-۲۴
- زنگانه، م. حاج مومنی، ع. ۱۳۹۵. مدل سازی رسوب گذاری در خور بوشهر با استفاده از نرم افزار مایک ۲۱. نشریه مهندسی دریا. ص ۲۵-۳۵.
- امیری، س. ۱۳۹۵، بررسی مطالعات هیدرودینامیک و نحوه رسوب گذاری در خط ساحل بندر خرمشهر، دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، کنفدراسیون بین المللی مخترعان جهان (IFIA)، دانشگاه جامع علمی کاربردی
- وفادار، ا. حاجی ولی، ف. جاوید، ا. چراغی، س. ۱۳۹۴. مدلسازی عددی الگوی رسوب در اطراف بندر حمیران با استفاده از نرم افزار مایک، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران،
- علوی نائینی، ه. و کرباسی، ع. ۱۳۹۴. مدل سازی عددی الگوی جریانات و امواج در منطقه بندر شهید رجایی. نشریه صنعت حمل و نقل دریایی
- Ajiwibowo H, Lodiwa KS, Pratama MB, Wurjanto A. 2017. Field measurement and numerical modeling of tidal current in Larantuka Strait for renewable energy utilization. *Int J Geomate* 13:124-131.
- Dongfeng X, Shu G, Zhengbing W. 2013. Numerical modeling of tidal currents, sediment transport and morphological evolution in Hangzhou Bay. *China* 28:316.
- Ershadi S, Arasteh M, Tajziehchi M. 2013. Numerical Modeling of Flow Pattern Changes in Tidal Inlet of TIYAB Port. *Journal of Environmental and Earth Sciences* 11:691-702.
- Kuang C, Liang H, Mao X, Karney B, Gu J, Huang H, Chen W, Song H. 2016. Influence of potential future sea-level rise on tides in the China Sea. *Journal of Coastal Research* 33:105-117.
- Qiao H, Zhang M, Jiang H, Xu T, Zhang H. 2018. Numerical study of hydrodynamic and salinity transport processes in the Pink Beach wetlands of the Liao River estuary, China. *Ocean Science* 14:437-451.
- Zhang G-j, Lu C-t, Luo X-f, Han Y-f. 2017. The water and sediment characteristics numerical simulation of dig-in basin in strong tidal estuary. In: *Civil, Architecture and Environmental Engineering Volume 2: CRC Press*. p 1095-1100.
- Hannaneh M. and Kangarani Rome, 2005. Euphrates and Tigris watershed Economic, social and institutional aspects of forest in an integrated watershed Management.
- <http://www.cgie.org.ir/shvolumef.asp?>.