یادداشت فنی

کاربرد نرم‌افزار MIKE21 در روندیابی جریان رودخانه جزر و مدی زهره

علی کرمی خانیکی [۱] مسعود گودرزی [۲] مرتضی دهقانی [۳] سید فرهاد موسوی [۴]

(دریافت ۸۵/۲/۲٤ پذیرش ۸۵/۱۰/۷)

چکیده

روندیابی سیل در رودخانه‌ها و مسیلها از جنبه‌های مختلف مهندسی رودخانه نظیر پهنه‌بندی سیل، پیش‌بینی سیل و غیره از اهمیت خاصی برخوردار است. روندیابی سیل در رودخانه به دو روش هیدرولوژیکی و هیدرولیکی انجام می‌شوند. روشهای هیدرولوژیکی برای شرایط معمولی رودخانه کاربرد داشته و قادر به تحلیل سیلهای ناشی از جزر و مد در رودخانه نمی‌باشند. برای رودخانه‌های جزر و مدی که جهت جریان در شرایط مد دریا معکوس می‌گردد، باید از روشهای هیدرولیکی استفاده گردد. در این تحقیق مدل Mike21 برای روندیابی سیلهای جزر و مدی رودخانه زهره مورد استفاده قرار گرفته است. واسنجی مدل به وسیله نقشه‌برداری از کانال رودخانه، نمونه‌برداری از بستر، اندازه‌گیری تراز سطح آب دریا و اندازه‌گیری سرعت در مقطع رودخانه انجام گرفت. تحلیل حساسیت مدل نشان داد که ضریب تعیین، جذر میانگین مربع خطا و خطای نسبی به ترتیب برابر ۰/۹۵، ۰/۰۳۲ و ۰/۲۷ درصد است که نشان دهنده کارآیی خوب مدل برای شبیه‌سازی پارامترهای مختلف جریان از جمله سرعت، دبی و پروفیل سطح آب می‌باشد. نتایج روندیابی جریانهای جزر و مدی نشان می‌دهد که تغییرات هیدروگراف ورودی و خروجی به بازه در هنگام مَد که جهت جریان به سمت رودخانه است، مشابه روندیابی معمولی رودخانه است؛ ولی در حالت جزر دریا که جهت جریان از رودخانه به دریاست، هیدروگراف‌های ورودی و خروجی از قوانین روندیابی جریان در رودخانه‌های معمولی تبعیت نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: *رودخانه‌های جزر و مدی، روندیابی سیل، MIKE21، رودخانه زهره.*

Application of MIKE21 Software in Flood Routing of Tidal Rivers: A Case Study of the Zohre River

Ali Karami Khaniki[1] Masoud Goodarzi[2] Morteza Dehghani[3] Seyyed Farhad Mousavi[4]

(Received May 14, 2006 Accepted Dec. 28, 2006)

Abstract

Flood routing is of special importance from different aspects of river engineering such as flood zoning, flood forecasting, etc. There are two methods employed in river flood routing, hydraulic and hydrological. Hydrological methods are used when the river is at low tide and, hence, cannot be employed to analyze floods caused by the tide. Hydraulic methods must be employed in tidal rivers when the direction of the current reverses at high tide. In this research, MIKE21 modeling software was used for the flood routing of the Zohreh tidal river. The model was calibrated by surveying the river, taking samples form the river bed, measuring sea water level and the velocity of the river flow. Analyzing the sensitivity of the model showed that the coefficient of determination, root mean square error and relative error were 0.95, 0.032, and 0.27, respectively, all indicating the efficacy of the model in simulating different parameters such as velocity, flow rate, and water surface profile. The flood routing results of the tidal currents showed that the hydrograph of the influent and effluent to the reach at high tide (when the current direction is from sea to the river) was similar to the normal flood routing of the river, but at low tide (when the current direction is from the sea to the river) influent and effluent hydrograph would not follow the laws of normal flood routing.

Keywords: *Tidal Rivers, Flood Routing, MIKE21 Software, Zohre River.*

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
۲- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، Massoud_goodarzi@yahoo.com
۳- کارشناس ارشد آبخیزداری و مدیر آبخیزداری استان خراسان جنوبی
۴- استاد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

1- Faculty Member, SCWMRI
2- Faculty Member, SCWMRI, Massoud_goodarzi@yahoo.com
3- Head, Southern Khorasan Department of Watershed Management
4- Prof., College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

روندیابی سیل با دو روش هیدرولیکی و هیدرولوژیکی انجام می‌گردد. روندیابی هیدرولیکی مانند روش همانندی پخش[1] بر اصول جریانهای غیر دائمی و حل معادله دیفرانسیل مربوطه استوار است [۱]. روشهای هیدرولوژیکی، معادلات دیفرانسیل جریانهای غیر دائمی را مستقیما به‌کار نمی‌برد، بلکه از اصل پیوستگی جریان و رابطه بین دبی و ذخیره آب استفاده می‌کند(مانند روش ماسکینگهام[2]، روش مقادیر اجرایی[3] و روش مشخصه‌ها[4])[۲].

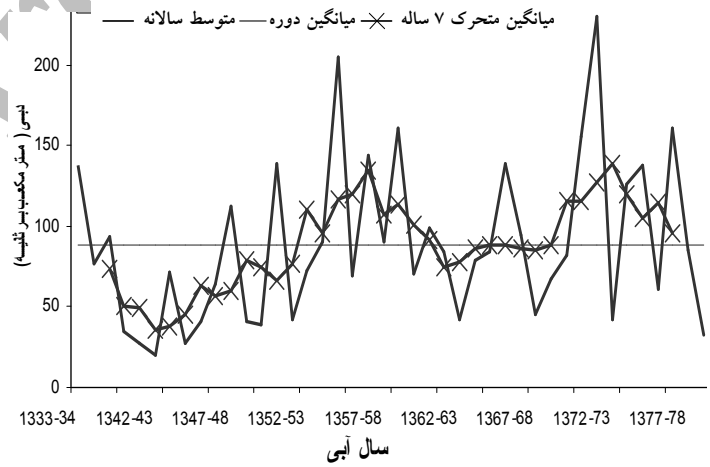
همزمانی دو جریان در ورودی و خروجی رودخانه‌های جزر و مدی باعث می‌گردد که روشهای هیدرولوژیکی قادر به شبیه‌سازی و پیش‌بینی دبی جریان در مقاطع مختلف رودخانه نباشد. در این رودخانه‌ها باید از روشهای هیدرولیکی استفاده شود. از طرفی حل معادلات هیدرولیکی به روش دستی بسیار مشکل و طاقت فرساست، لذا امروزه از نرم‌افزارهای مختلف استفاده می‌شود. برنامه کامپیوتری MIKE21 ازجمله نرم‌افزارهای بسیار قوی جهت بررسی تأثیر عوامل مختلف در هیدرودینامیک دریا، خورها و مصب رودخانه‌ها می‌باشد. تحقیقات زیادی با این برنامه در خورها و رودخانه‌های جزر و مدی صورت گرفته است. دیوید[5] و همکاران در سال ۲۰۰۲ مدول هیدرودینامیک برنامه MIKE 21 را برای منطقه‌ای شامل ۲ کیلومتر از کانال رودخانه و ۱۴ کیلومترمربع از خلیج تیگنموت[6] انگلستان اجرا کردند [۳]. نتیجه تحلیل حساسیت مدل پس از واسنجی برنامه نشان داد که مدل مجموع مربعات خطای حدود ۰/۰۰۹ دارد. در این تحقیق مقادیر پروفیل سرعت آب در طول و عرض رودخانه، شیب سطح آب و همچنین جهت جریان برای شرایط مرزی مختلف و برای موقعیتهای مختلف تعیین گردید. در تحقیق دیگری توسط ساودرا[7] و همکاران در سال ۲۰۰۳ در رودخانه جزر و مدی سان خُوان[8] ونزوئلا ، تکنیک جاروی دو طرفه برای حل معادلات هیدرولیک جریان بسیار خوب ارزیابی گردید [۴].

۲- منطقه مورد مطالعه

جزر و مد دریا در منطقه مورد مطالعه تقریبا نیم‌روزی با متوسط جزر و مد ۱/۶۷ متر و میانگین حداکثر جزر و مد ۲/۷ متر می‌باشد. وسعت حوزه آبریز این رودخانه ۱۶۰۳۳ کیلومتر مربع می‌باشد، میانگین دبی رودخانه در ایستگاه دهملا(آخرین ایستگاه هیدرومتری و نزدیک‌ترین ایستگاه به دریا)، ۸۸/۱۵ متر مکعب بر ثانیه است. شکل ۱، نوسانات سالانه و میانگین متحرک ۷ ساله دبی نسبت به میانگین دراز مدت دوره آماری(۸۰-۱۳۳۳) و شکل ۲، دبی متوسط ماهانه دوره آماری در ایستگاه دهملا را نشان می‌دهد.

برای تحقیق حاضر بازه‌ای در نظر گرفته شد که تحت تأثیر جزر و مد بوده و امکان برداشت و اندازه‌گیری صحرایی در آن وجود داشته باشد، لذا بازه‌ای به‌طول ۱۲ کیلومتر از مصب رودخانه زهره انتخاب گردید. شیب طولی رودخانه در این بازه برابر با ۰/۰۰۰۱ می‌باشد شکل ۳، موقعیت حوزه مورد مطالعه در ایران و شکل ۴ ، بازه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

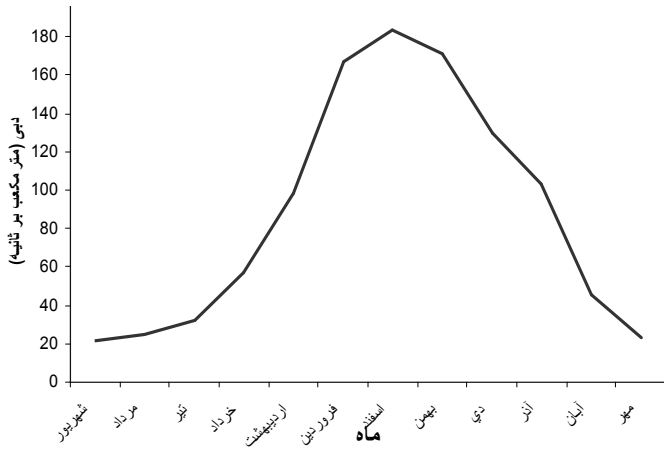
[1] Diffusion Analogy
[2] Muskingum
[3] Working Value
[4] Method of Characteristics
[5] David
[6] Tiegnmout
[7] Saavedra
[8] San Juan



شکل ۱- متوسط سالانه میانگین متحرک ۷ ساله و میانگین دوره

Archive of SID

www.SID.ir



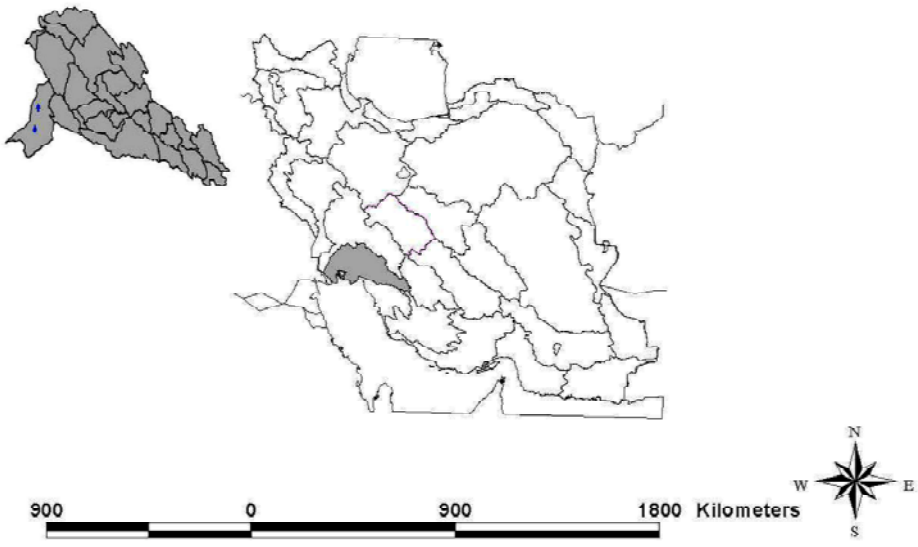
شکل ۲- دبی متوسط ماهانه در دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۳۳

۳- معرفی و اجرای نرم‌افزار

نرم‌افزار Mike 21 توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک(DHI)[1] طراحی شده و برنامه پیشرفته‌ای برای شبیه‌سازی امواج، تغییرات سطح آب، جریانهای دریایی ناشی از موج و جزر و مد، انتشار یا توزیع شوری ، حرارت و آلودگی در دریا، بررسی امواج ناشی از زلزله‌های زیردریایی و هیدرولیک رسوب می‌باشد. این برنامه جریان را دو بُعدی و تک لایه فرض کرده و از تغییرات چگالی در عمق صرف‌نظر می‌کند. نرم افزار مذکور دارای مدول‌های مختلفی مانند هیدرودینامیک[2]، امواج دور از ساحل[3]، امواج نزدیک ساحل[4]، انتقال رسوب[5]، پخش آلودگی و حرارت در دریا[6] می‌باشد. دراین تحقیق از مدول هیدرودینامیک(HD) برای محاسبه دبی و سرعت جریان استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدول هیدرودینامیک شامل توپوگرافی بستر رودخانه، ضریب زبری بستر، لزجت آب، وجود یا عدم وجود چشمه یا چاه در طول مسیر و شرایط مرزی به صورت سری زمانی می‌باشد. این برنامه معادله مومنتم و پیوستگی را از روش تفاوت محدود[7] و تکنیک جاروی دو طرفه حل می‌کند[۵]. داده‌های ورودی و داده‌های خروجی در جدول ۱ ارائه شده است.

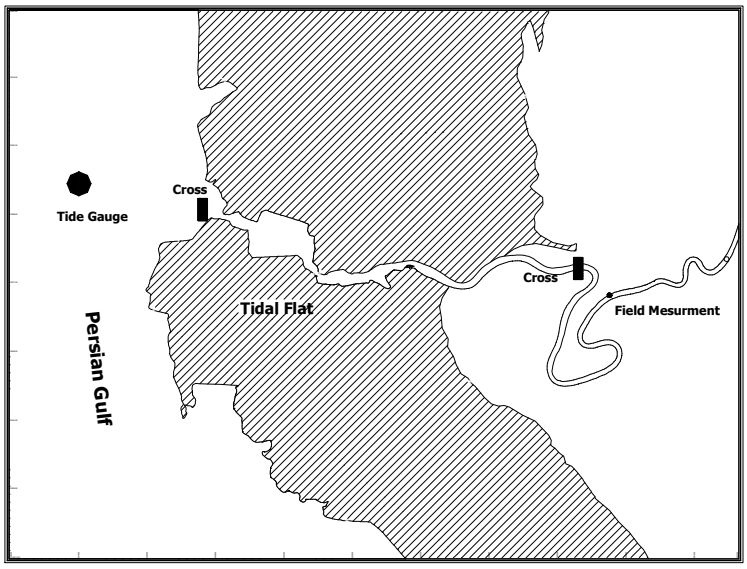
[1] Danish Hydraulic Institute
[2] Hydrodynamic (HD)
[3] Off Shore Wave (OSW)
[4] Near Shore Wave (NSW)

[5] Sediment Transport (ST)
[6] Advection/Dispersion (AD)
[7] Finite Difference



شکل ۳ - موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

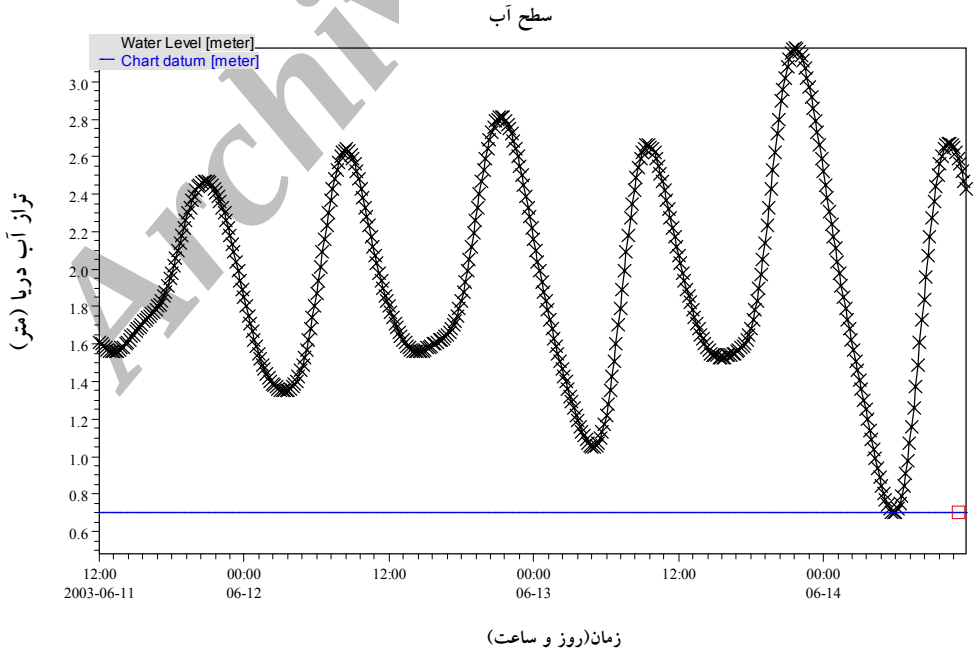
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴- بازه مورد مطالعه

جدول ۱- داده‌های ورودی و خروجی برنامه

اطلاعات ورودی برنامه	اطلاعات خروجی برنامه
توپوگرافی بستر	سرعت جریان در مقطع بالادست
تراز سطح آب	سرعت جریان در مقطع پایین‌دست
ضریب زبری	سطح آب در بالادست و پایین دست



شکل ۵- ترازهای جزر و مدی برداشت شده توسط مد سنج

Archive of SID
www.SID.ir

نقشه توپوگرافی بستر رودخانه در بازه مورد مطالعه با استفاده از دوربین دیجیتالی و اکوساندر و GPS تهیه شد. برای به‌دست آوردن ترازهای سطح آب دریا و استفاده آن به‌عنوان شرایط مرزی پایین دست رودخانه اقدام به نصب مَد سنج گردید. برای نصب مد سنج[1] در دریا لازم است که یک مبنا[2] به صورت استاندارد انتخاب گردد. برای به‌دست آوردن مبنای استاندارد تراز آب دریا از روش IOS[3] استفاده شد. فاز و دامنه مؤلفه‌های جزر و مدی مورد نیاز از جدول جزر و مدی ایران به‌دست آمد(سازمان نقشه برداری) . نتایج، مقدار ۰/۷ متر را به‌عنوان حداقل تراز سطح آب دریا در یک دوره ۱۸ سال و ۶ ماه(استاندارد جهانی) نشان داد. مدسنج با توجه به این تراز نصب گردید و ترازهای سطح آب دریا در یک دوره ۱۵ روزه از تاریخ ۱۳۸۲/۳/۲۱ تا ۱۳۸۲/۴/۵ هر ده دقیقه برداشت گردید. شکل ۵ ترازهای برداشتی سطح آب دریا توسط مد سنج و سطح مبنای به دست آمده از اجرای روش IOS برای تاریخ ۱۳۸۲/۳/۲۱ تا ۱۳۸۲/۳/۲۳ را نشان می دهد.

برای به‌دست آوردن ضریب زبری، تعداد ۲۰ نمونه خاک از کانال اصلی و دشت سیلابی بازه مورد مطالعه برداشت گردید. با استفاده از نمونه های برداشت شده منحنی دانه‌بندی هر نمونه در آزمایشگاه خاک تهیه گردید و با قضاوت مهندسی و با استفاده از رابطه استریکلر[4] (معادله ۱)، ضریب زبری مانینگ برای هر نمونه به دست آمد

$$n = \frac{d_{50}^{1/6}}{21.2} \qquad (۱)$$

در این رابطه

n: ضریب زبری مانینگ و d_{50}: قطری است که ۵۰ درصد ذرات دارای قطری بیشتر از آن است و واحد آن میلی‌متر می‌باشد. با توجه به اینکه روش انتگرال‌گیری عمقی نیاز به دقت و تجربه زیادی دارد و در رودخانه‌های با عمق بیش از ۳ متر کاربرد ندارد و همچنین با توجه به اینکه زبری بستر کم است و تغییرات سرعت در عمق شدید نیست، لذا برای به دست آوردن سرعت متوسط لحظه‌ای رودخانه از روش دو نقطه‌ای استفاده گردید. برای به دست آوردن پروفیل سرعت جریان در هنگام جزر و مد در وسط بازه مورد مطالعه دو سرعت سنج چهار پارامتر مورد استفاده قرار گرفت. عرض مقطع حداکثر عمق با استفاده از اکوساندر مشخص گردید و دو سرعت سنج ثبّات در ۰/۶ عمق کل به فاصله ۱۰ متری از یکدیگر نصب گردید (تعیین این عمق به خاطر به دست آوردن سرعت متوسط پروفیل آن مقطع است) و سرعت جریان هر ۳ دقیقه توسط آن ثبت گردید. در سایر نقاط عرضی نیز به طور همزمان با دو قایق و استفاده از سرعت سنج غیرثبّات در فاصله زمانی ۲۰ دقیقه ، سرعت جریان در عمقهای ۰/۲d و ۰/۸d از سطح آب به دست آمد، سپس با توجه به سرعت متوسط هر پروفیل و همچنین مساحت سطح مقطع مربوط به آن، سرعت متوسط رودخانه به دست آمد.

برای واسنجی مدل‌ها استاندارد خاصی وجود ندارد. چنگ[5] و همکاران در سال ۱۹۹۱ و۱۹۹۳ پیشنهاد می‌کنند برای واسنجی از سری‌های زمانی مانند تراز سطح آب یا سرعت استفاده شود و مقادیر برآورد شده توسط مدل با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه گردد [۶ و ۷]. با توجه به اندازه‌گیری سرعت در یک مقطع رودخانه و به‌دست آوردن سرعت متوسط لحظه‌ای در آن مقطع، از این روش به منظور واسنجی مدل، استفاده شد. از آنجا که شرایط معمولی رودخانه و دریا که فراوانی بیشتری دارد و برای هدف تحقیق از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد و به‌دلیل نداشتن اطلاعات لازم در شرایط طوفانی، مدل فقط برای شرایط معمولی واسنجی شد. برای مقایسه مقادیر مشاهداتی و برآورد شده توسط مدل از روابط زیر استفاده گردید.

$$RE = \left|\frac{\Sigma(V_o - V_e)}{\Sigma V_o}\right| \times 100 \qquad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^N (V_o - V_e)^2}{N}} \qquad (۳)$$

در این روابط:

V_0: سرعت مشاهده‌ای(متر بر ثانیه)،

V_e: سرعت تخمینی مدل (متر بر ثانیه)،

RMSE: جذر میانگین مربع خطا،

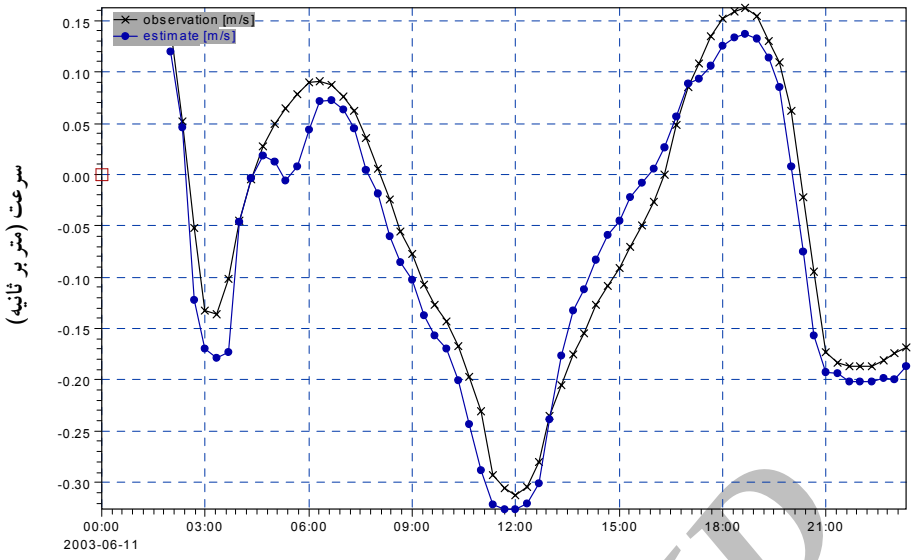
N: تعداد مشاهدات و

RE: خطای نسبی (درصد)

واسنجی مدل با توجه به پارامترهای گام زمانی[6]، ضریب‌زبری بستر و لزجت آب انجام گرفته است. مقادیر نهایی در نظر گرفته شده برای اجرای مدول هیدرودینامیک برای شرایط اندازه‌گیری شده(۲۱ خردادماه۱۳۸۲ شامل دو جزر و مد کامل) به‌ترتیب برابر با ۳، ۰/۰۴ و ۱۰ ثانیه می‌باشد. مقدار ضریب تعیین (R^2)، خطای نسبی و جذر میانگین مربع خطا در برآورد سرعت متوسط لحظه‌ای در جدول ۲ نشان داده شده است. در شکل۶، پروفیل سرعت جریان مشاهده‌ای و تخمینی برای یک چرخه کامل جزر و مدی پس از واسنجی مدل نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می شود در اولین پیک، مدل دارای خطای زیادتری نسبت به مقادیر مشاهده‌ای

[1] Tide Gauge
[2] Chart Datum
[3] Institute Ocean Science
[4] Strickler
[5] Cheng
[6] Time Step Interval

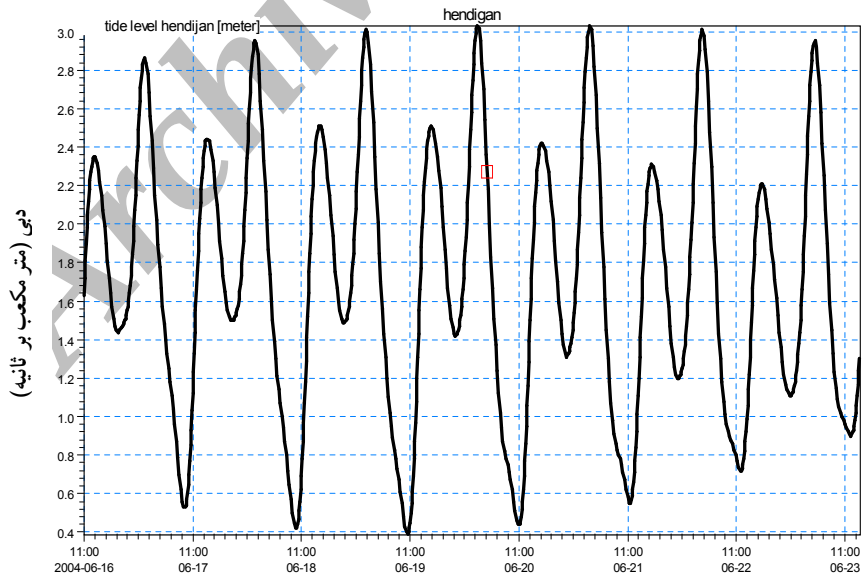
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۶- مقادیر سرعت متوسط جریان مشاهداتی و تخمینی در وسط بازه

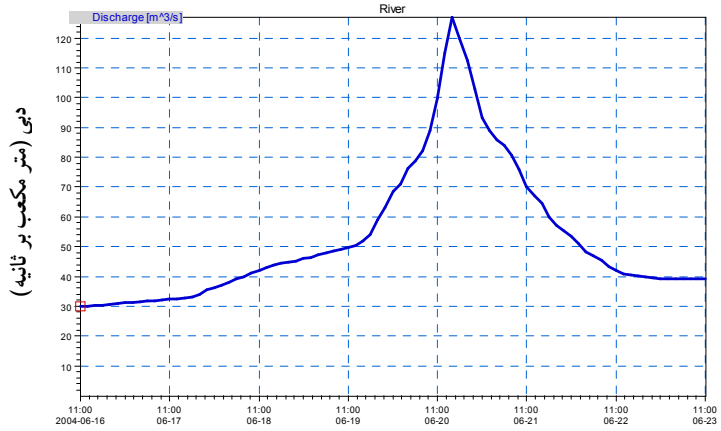
جدول ۲- پارامترهای آماری مورد مقایسه در مقطع مورد مطالعه برای دو سیکل کامل جزر و مد

پارامتر آماری	RE (٪)	RMSE	R^2
مقدار	۰/۲۷	۰/۰۳۲	۰/۹۵

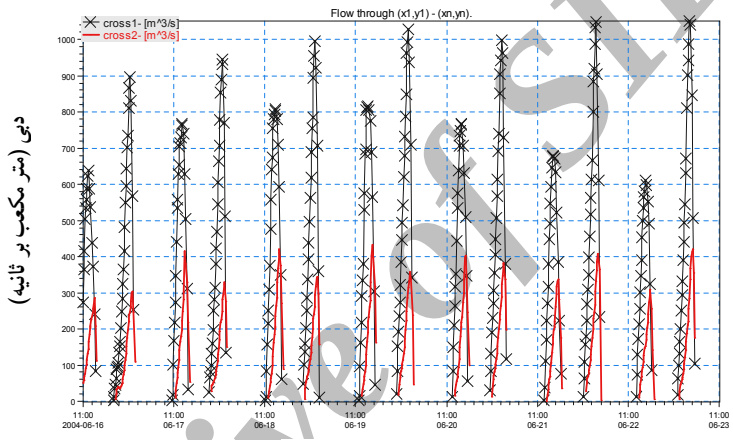


شکل ۷- ترازهای آب دریا مورد استفاده برای جزر و مد

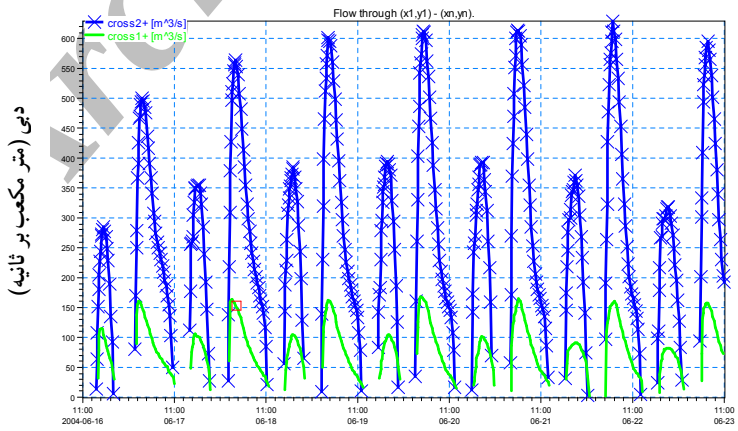
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۸ – هیدروگراف سیل مورد استفاده برای رودخانه



شکل ۹– هیدروگراف همزمان سیلاب وقتی که جهت جریان به سمت رودخانه است



شکل ۱۰– هیدروگراف همزمان سیلاب وقتی که جهت جریان به سمت دریاست

Archive of SID
www.SID.ir

است ولی در بقیه مراحل دقت کاملا رضایت بخش است.

۴- نتایج و بحث

جدول ۱ نشان دهنده تطابق خروجیهای مدل از نظر آماری با مقادیر واقعی است. برای بررسی روند جریانهای جزر و مدی اقدام به اجرای برنامه با توجه به شرایط زیر شده است. برای اینکه نتایج مدل بتواند حالتهای عمده و مهم دریا و رودخانه را در برگیرد، ترازهای دریا برای تاریخ ۸۳/۳/۲۷ تا ۸۳/۴/۳ که در برگیرنده شرایط مختلف دریاست (شکل ۷)، برای شرایط جزر و مدی دریا و هیدروگراف شکل ۸ با دبی پیک ۱۲۷ متر مکعب بر ثانیه که تقریبا شرایط متوسط رودخانه را در بر می‌گیرد مورد استفاده قرار گرفته است. با شرایط مزبور، برنامه اجرا شد و خروجیهای برنامه در دو مقطع به فاصله ۷ کیلومتر از یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد زمانی‌که جهت جریان از دریا به سمت رودخانه است (شکل ۹)، مشابه رودخانه‌های معمولی، دو پدیده کاهش در پیک و تأخیر در پیک سیل مشاهده می‌شود. دبی در این فاصله، حدود ۴۲ درصد افت را نشان می‌دهد. زمان تأخیر در اوج دو هیدروگراف حدود ۵۰ دقیقه می‌باشد. همزمانی دو جریان رودخانه و دریا و نیز شیب بستر منفی در این حالت باعث به وجود آمدن افت شدید دبی در این فاصله کوتاه می‌گردد. شکل ۱۰ نشان می‌دهد، هنگامی که جهت جریان به سمت دریاست، قوانین روندیابی جریان مطابق رودخانه‌های معمولی صادق نیست و دبی در مقطع پایین دست ۳/۳ برابر بیش از مقطع بالادست می‌باشد. علاوه بر این در اکثر ترازهای جزر و مدی هیچ‌گونه تأخیری در پیک دو هیدروگراف مشاهده نمی‌شود. در طول زمان مد دریا، حجم زیادی آب در بازه رودخانه ذخیره می‌شود که در موقع جزر همه این آب باید از مقطع پایین دست تخلیه گردد؛ لذا دبی مقطع پایین‌دست به‌مراتب بیشتر از مقطع بالادست می‌گردد.

۵- مراجع

۱- **ابریشمی، ج.، و حسینی، م.** (۱۳۷۲). ***هیدرولیک کانال‌های باز***. **نشر مشهد، ۵۰۰ .**

۲- **شفاعی بجستان، م.** (۱۳۷۳). ***هیدرولیک رسوب***، **انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴۳۸.**

3- David, A., Huntley, F., and Davidson, A. (2003). "Modeling water surface topography at a complex inlet system-Teignmouth." *J. Coastal Research*, 36, 675-685.

4- Saavedra, I., Lopez, J., and Marunez, R. (2003). "Dynamic wave study of flow in tidal channel system of San Juan River." *J. Hydraulic Engineering*, 129, 519-526.

5- Warren, I.R., and Bach, H.K. (1992). "MIKE21:A modeling system for estuaries, coastal waters and seas." *Environmental Software*, 7, 229-240.

6- Cheng, R.T., Burau, J.R., and Gartner, J.W. (1991) .*Interfacing data analysis and numerical modeling for tidal hydrodynamic phenomena*, In: Parker, B.B. (ed), Tidal Hydrodynamic, John Wiley, New York, 543.

7- Cheng, R.T., Casulli,V., and Gartner, J. (1993). *Tidal,residual,intertidal mudflat* (TRIM) model and its application to San Francisco Bay, California, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 36, 235-280.

Archive of SID

www.SID.ir