



ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

Investigating the Effect of Changing the Topography of Arvandroud River on the Flow Pattern and Water Level Fluctuation

Mohammad Fayaz Mohammadi ^{1*}, Masoud Sadrinasab ², Vahid Chegini ³, Amir Ashtari Larki ⁴

¹ Department of Physical Oceanography, Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

² Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

³ Department of Physical Oceanography, Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

⁴ Iranian National Institute for Oceanography and Atmosphere Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Code: A-10-1463-1

Article History:

Received: 21/07/2019

Revised: 28/08/2021

Accepted: 01/07/2021

Keywords:

Arvandroud

Dredging

Venture

Numerical Modelling

Mike 21/3

*Corresponding author:

✉ fayyaz1360@yahoo.com

id 0000-000-7699-4636

ABSTRACT

Background and Objectives: Arvandroud is Iran's most essential and only navigable river. The river flows into the sea, and the flow velocity is drastically reduced, causing the deposition of suspended sediments and reducing the depth of the confluence of the river and the sea. This decrease in-depth at the entrance of the Arvandroud is such that it has restricted the entry of high-capacity vessels, and its dredging seems necessary to supply water to vessels on this international waterway. In the present study, the effect of dredging the Arvand estuary and constructing an earthen pier in the Arvandkenar position on the physical parameters of flow velocity and water level fluctuation has been simulated.

Methods: Mike 21.3's three-dimensional hydrodynamic model was used in two dimensions for simulation. This model performs based on the distinctive triangular meshing approach. The main computing platform of the model is the HD module, which is based on the numerical solution of 2 and 3-dimensional Navier-Stokes average equations for the non-compressible state, taking into account Bozinsky and hydrostatic pressure. Equations of continuity, momentum, temperature, salinity, and density are also considered. In the initial settings, the initial conditions of the model, consisting of temperature and salinity, are uniform for the whole field at 25 °C and 32 PSU, respectively. Initially, the water level and flow velocity in the entire basin was considered zero. Due to the small width of the river, the wind effect has been ignored. The model has a sea boundary downstream and a river boundary upstream. Temperature and salinity at the sea border were applied by the nesting method from the mother model of the Persian Gulf to the daughter model. The time series of water level fluctuation at the sea border was constructed from the four main components of the tide (M_2 , S_2 , O_1 , K_1) related to the SHATT AL ARAB OUTER BAR and applied to the model. At the upper boundary of the river, the temperature and salinity were constant, and 26 °C and 2.39 PSU were adjusted, respectively. At this limit, the water level fluctuation was changed so that the net discharge of the river was 600 m³/s.

Findings: In the validation stage, the root means square error test for water level fluctuation in Faw was 0.16 m, indicating good accuracy of the model results compared to field measurements. The results showed that if the Arvand mouth is dredged to reach a depth of 8 m and a width of approximately 300 m, the water level after dropping will drop to a maximum of 10 cm near the mouth, and the flow velocity in the dredged area will decrease. In addition, if 33% of the river section in the Arvandkenar region is blocked, the difference in water level on both sides of the gorge will be up to 13 cm, and the maximum tidal velocity in the middle of the canyon will reach 0.57 m/s from 0.87 m/s in average condition.

Conclusion: Dredging of the Arvandroud estuary reduces the flow rate in the dredging canal, increasing sedimentation in the dredging canal. However, reducing the river's width can compensate for this slowdown and prevent sedimentation. These two methods should be used in combination to reduce the maintenance costs of the channel.

doi [10.52547/joc.12.46.51](https://doi.org/10.52547/joc.12.46.51)

©2021 JOC. All rights reserved



NUMBER OF TABLES



NUMBER OF FIGURES



NUMBER OF REFERENCES

مقاله پژوهشی (علوم دریایی)

بررسی اثر تغییر توپوگرافی اروندرود بر الگوی جریان و نوسان سطح آب

محمد فیاض محمدی^{۱*}، مسعود صدری نسب^۲، وحید چگینی^۳، امیر اشتری لرکی^۴^۱ نویسنده مسئول، دانش آموخته دکتری فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران^۲ عضو هیئت علمی دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران^۳ پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، تهران^۴ عضو هیئت علمی دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۳۰
 تاریخ بازبینی: ۱۴۰۰/۰۶/۰۶
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

واژگان کلیدی:

اروندرود
 لایروبی
 ونتوری
 مدل سازی عددی
 مایک ۲۱/۳

*نویسنده مسئول

✉ fayyaz1360@yahoo.com

پیشینه و اهداف: اروندرود مهم ترین و تنها رودخانه قابل کشتیرانی ایران است. در جایی که رودخانه به دریا می ریزد، سرعت جریان به شدت کاهش می یابد و این، باعث ته نشست رسوبات معلق و کاهش عمق محل تلاقی رودخانه و دریا می شود. این کاهش عمق در ورودی رودخانه ارونند به حدی است که ورود کشتی ها با ظرفیت بالا را محدود کرده است و لایروبی آن برای تأمین آب خور شناورها در این آبراه بین المللی ضروری به نظر می رسد. در این تحقیق تأثیر لایروبی دهانه ارونند و همچنین احداث یک اسکله خاکی در موقعیت ارونندکنار، بر پارامترهای فیزیکی سرعت جریان و نوسان سطح آب شبیه سازی شده است.

روش ها: برای شبیه سازی، از مدل سه بعدی هیدرودینامیکی مایک ۲۱/۳ به صورت دوبعدی استفاده شده است. این مدل، بر اساس رویکرد مش بندی مثلثی نامنظم کار می کند و بستر محاسباتی اصلی مدل، ماژول HD است که بر مبنای حل عددی دو و سه بعدی معادلات میانگین ناویه- استوکس برای حالت بدون تراکم پذیر با در نظر گرفتن بوزینسک و فشار هیدرواستاتیک بنا شده است. معادلات پیوستگی، مومنتم، دما، شوری و چگالی نیز لحاظ شده اند. در تنظیمات اولیه، شرایط اولیه ی مدل شامل دما و شوری، یکنواخت برای کل حوزه به ترتیب ۲۵ درجه سانتی گراد و ۳۲ psu است. در ابتدا تراز سطح آب و سرعت جریان در کل حوضه، صفر در نظر گرفته شد. با توجه به پهنای کم رودخانه، از اثر باد چشم پوشی شده است. مدل دارای یک مرز دریا در پایین دست و یک مرز رودخانه در بالادست است. دما و شوری در مرز دریا به روش تودرتویی از مدل مادر خلیج فارس به مدل دختر اعمال شد. سری زمانی نوسان سطح آب در مرز دریا، از روی چهار مؤلفه اصلی جزرومد (M_2, S_2, O_1, K_1) مربوط به بار بیرونی اروندرود ساخته و به مدل اعمال شد. در مرز بالا دست رودخانه، دما و شوری ثابت، و به ترتیب $26^{\circ}C$ و $2/39psu$ تنظیم شد. در این مرز نوسان سطح آب به گونه ای تنظیم شد که دبی خالص رودخانه $600m^3/s$ باشد.

یافته ها: در مرحله صحت سنجی، مشخص شد نتیجه ی آزمون خطایابی جذر میانگین مربعات برای نوسان سطح آب در فاو ۰/۱۶ متر به دست آمده است و این به معنی دقت خوب نتایج مدل در مقایسه با اندازه گیری های میدانی است. نتایج مدل نشان می دهند در صورت لایروبی دهانه ارونند برای رسیدن به عمق ۸ متر و عرض تقریبی ۳۰۰ متر، تراز سطح آب پس از لایروبی حداکثر تا ۱۰ سانتی متر در نزدیکی دهانه افت پیدا می کند، و سرعت جریان در ناحیه ی لایروبی شده کاهش می یابد. همچنین در صورتی که ۳۳٪ از مقطع رودخانه در منطقه ارونندکنار مسدود شود، اختلاف تراز سطح آب در دو طرف گلوگاه حداکثر تا ۱۳cm، و بیشینه سرعت جزر در میانه ی گلوگاه از $0.87m/s$ در حالت طبیعی به $1.57m/s$ می رسد.

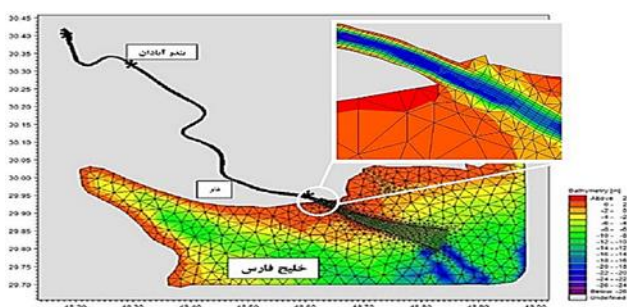
نتیجه گیری: لایروبی دهانه رودخانه ارونند باعث کاهش سرعت جریان در کانال لایروبی می شود و این خود باعث افزایش رسوب گذاری در کانال لایروبی می شود. از طرف دیگر کاهش عرض رودخانه می تواند این کاهش سرعت را

جبران کند و مانع رسوب‌گذاری شود. برای کاستن هزینه‌های نگهداری کانال باید از این دو روش به‌صورت ترکیبی استفاده کرد.

مقدمه

سازي عددی است. برای مثال گارسیا و همکارانش در اسپانیا قبل از شروع عملیات لایروبی در بندر مارین، لایروبی در این بندر را به کمک مدل سه بعدی IH-Dredge شبیه سازی کردند و اثرات عملیات لایروبی بر محیط را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند [۴]. ژئو و همکارانش در چین به کمک ماژول دو بعدی مایک ۲۱ میزان نفوذ شوری دریا به مصب رودخانه یانگ تسه در چین را به ازای دبی‌های متفاوت رودخانه مورد بررسی قرار داد. ژئو ابتدا مدل را برای شرایط واقعی واسنجی کرد و سپس با تغییر میزان دبی، میزان نفوذ شوری را به دست آورد [۵]. بسته نرم افزاری مایک یکی از معروفترین مدل های اقیانوسی است که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است و جزئیات آن در ادامه ارائه خواهد شد. محدوده مورد مطالعه، ۸۴ کیلومتر از مسیر اروندرود است که از قسمت شمالی خلیج فارس تا خرمشهر ادامه دارد (شکل ۲).

اروندرو رودخانه پهناوری در مرز ایران و عراق در جنوب غربی ایران است که از هم ریزش رودهای دجله، فرات و کارون پدید آمده است. بعد از متصل شدن کارون به اروندرود، رودخانه مسیری حدود ۸۵ کیلومتر را در مرز ایران و عراق، با طی کردن شهرهای خرمشهر، آبادان، بخش‌های خسروآباد، اروندکنار و فاو، به شمال خلیج فارس می‌ریزد [۱]. اگرچه این رودخانه بین‌المللی قابلیت خوبی در زمینه کشتیرانی دارد، اما عدم لایروبی آن در چند دهه اخیر موجب شده تا تنگنا در رسوبات در قسمت دهانه عمق آن را به حداقل برساند و تردد کشتی‌های عظیم الجثه محدود شود. با توجه به نقشه‌های هیدروگرافی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (شکل ۱)، آبخور فعلی برای کشتی‌ها در قسمت دهانه در زمان مد حدود ۴ متر، و طول این ناحیه حدود ۹ کیلومتر است که نیاز به لایروبی دارد. تغییر عمق دهانه اروندرود می‌تواند منجر به تغییر رژیم جریان و دیگر پارامترهای فیزیکی آب در امتداد رودخانه شود.

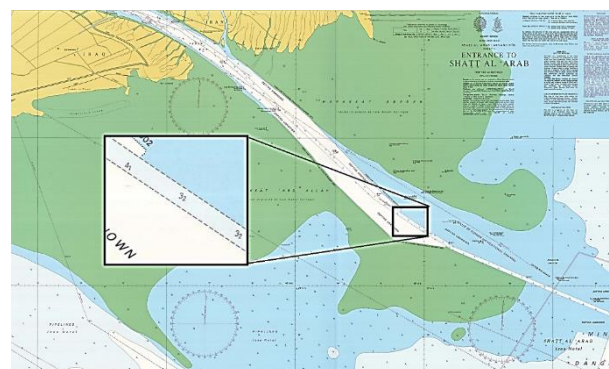


شکل ۲: هیدروگرافی و مش منطقه مورد مطالعه به همراه موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری (دهانه، آبادان، و خرمشهر)

Fig. 2: Hydrography and mesh of the study area along with the location of measuring stations (Mouth, Abadan, and Khorramshahr)

الگوی جزرومد در بخش شمالی خلیج فارس به‌صورت آمیخته است و از نیمه روزانه تا روزانه تغییر می‌کند. ارتفاع جزرومد در دهانه اروندرود طبق جداول پیش‌بینی آد میرالیتی، حداکثر تا ۳/۱۵ متر می‌رسد. هرچه به طرف بالادست رودخانه پیش می‌رویم، به علت اصطکاک، شیب سطح آب و دبی رودخانه، از دامنه جزرومد کاسته می‌شود، به طوری که طبق پیش‌بینی واحد آب‌نگاری سازمان نقشه‌برداری کشوری، حداکثر دامنه جزرومد در بندر خرمشهر حدود ۰/۹ متر می‌رسد. در واقع اختلاف ارتفاع جزرومد بین دهانه و بندر خرمشهر حدود ۲/۱ متر است [۶].

با توجه به طبقه‌بندی‌هایی که برای خورها (مصب‌ها) در نظر گرفته شده است، خور اروندرود طبق تقسیم‌بندی دیویس، خور با جزرومد



شکل ۱: یک نمونه از نقشه‌های هیدروگرافی اروندرود (دهانه)

Fig. 1: An example of the Arvandroud River hydrographic maps (mouth)

مشکل دیگری که اروندرود با آن مواجه است شوری آب است. عمده آب اروندرود توسط رودخانه‌های دجله و فرات تأمین می‌شود که دبی آنها طی چند سال اخیر روند نزولی داشته و معضلاتی مانند افزایش سطح آلودگی و افزایش نفوذ شوری دریا به رودخانه را به دنبال داشته است [۲]. یکی از راهکارهایی که برای جلوگیری از ورود شوری دریا به رودخانه مطرح است روش ونتوری است. در این روش در مقطعی از رودخانه، عرض و عمق رودخانه به صورت مصنوعی کاهش می‌یابد تا ضمن تردد شناورها، جلوی نفوذ آب شور دریا به رودخانه گرفته شود [۳].

رفع هر یک از مشکلات مذکور نیازمند دستکاری در طبیعت است که خود ممکن است باعث بروز مشکلات دیگری شوند. یکی از روش‌های کارآمد در پیش‌بینی اثرات این نوع پروژه‌ها بر عوامل محیطی، مدل

کل حوضه صفر در نظر گرفته شده است. برای اینکه شرایط مرزی، که مقادیر واقعی هستند، کاملاً در سرتاسر مدل حاکم شده و جای شرایط اولیه فرضی را بگیرند، مدل دو ماه بدون دریافت خروجی اجرا شده است و خروجی‌های مدل از ماه سوم استخراج شده‌اند. لازم به ذکر است از آنجایی که حجم آبی مدل در زمان پایین‌ترین جزر حدود ۷ کیلومتر مکعب است، مدل در مدت زمان کوتاهی (حدود ۴۵ روز) به پایداری می‌رسد.

با توجه به پهنای کم رودخانه نسبت به دریا، اثر نیروهای جوی بر رودخانه به مراتب کمتر از دو نیروی مؤثر اصلی، یعنی اختلاف فشار ناشی از جریان طبیعی رودخانه، و جزرومد است. لذا اثر باد بر نوسان تراز سطح آب چشم‌پوشی شده است.

۳-۱ شرایط مرزی

مدل دارای دو مرز باز (دریا در جنوب و رودخانه در شمال) است. شرایط دما و شوری در مرز دریا به روش تودرتویی^۱ از مدل خلیج فارس استخراج شده و نوسان تراز سطح آب در مرز دریا به صورت سری زمانی در مدل وارد شده است. این سری زمانی، به کمک ابزار پیش‌بینی جزرومد^۲، از مؤلفه‌های جزرومدی، در جعبه‌ابزار مایک ۲۱ ساخته شده است. دامنه و فاز چهار مؤلفه اصلی جزرومد (M_2, S_2, O_1, K_1) مربوط به بار بیرونی اروندرود^۳ از کتاب جداول جزرومدی آدمیرالتی استخراج و به مدل معرفی شده‌اند. این منطقه، منطبق بر مرز جنوبی مدل است و دامنه و فاز جزرومدی مؤلفه‌های مذکور در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱: چهار مؤلفه اصلی جزرومد در مرز جنوبی مدل (جداول جزرومدی آدمیرالتی)

Table 1: four main tidal constituents at the sea boundary (Admiralty tide table)

نام مؤلفه	M_2	S_2	K_1	O_1
دامنه (متر)	۰/۱۸۴	۰/۲۹	۰/۵	۰/۳
فاز (درجه)	۳۰۸	۹	۲۹۵	۲۴۷

در مرز باز رودخانه، با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی از این نقطه در ماه‌های مهر و آبان، مقدار دما و شوری در مرز باز رودخانه ثابت، و به ترتیب ۲۶ درجه سانتی‌گراد و ۲/۳۹ psu در مدل بکار برده شده‌اند [۹]. نوسان تراز سطح آب در مرز باز رودخانه نیز به گونه‌ای تنظیم شده است که دبی ورودی با دبی برآورد شده در تحقیق محمودیان در سال ۱۳۹۲ برابر ۶۰۰ مترمکعب بر ثانیه باشد [۱۳].

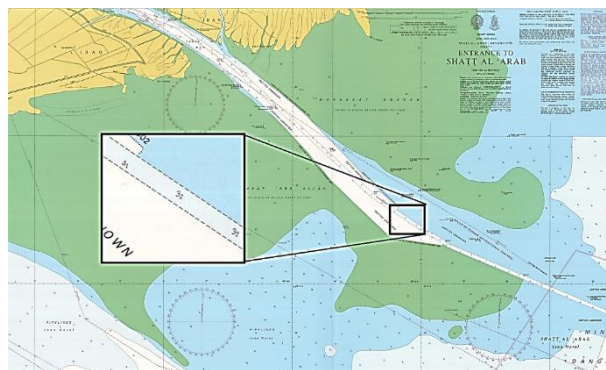
متوسط^۱ است [۷] و طبق طبقه‌بندی نیکولز و بیگز، به علت غلبه اثر اصطکاک بر تأثیر شکل هندسی در همگرا کردن موج جزرومدی ورودی، و کاهش ارتفاع موج جزرومدی هنگام ورود به خور، اروندرود یک خور نامتقارن است [۸]. علاوه بر این، خور اروندرود جزو خورهای مسطح ساحلی محسوب می‌شود. موج جزرومدی ایجاد شده در خور اروندرود به علت طولی بودن طول خور و از بین رفتن انرژی جزرومد بر اثر اصطکاک، یک موج پیشرونده است [۹]. دبی سالانه رودخانه اروندرود حدود $45 \text{ km}^3/\text{y}$ [۱۰] و در بعضی مطالعات $35/3 \text{ km}^3/\text{y}$ [11] تخمین زده و در پژوهش‌های دیگر میانگین آن را $45/9 \text{ km}^3/\text{y}$ [12] و $35/85 \text{ km}^3/\text{y}$ [۱۱] بیان کرده‌اند $\text{BM}^3/\text{y} = 31/7 \text{ m}^3/\text{s}$ $(1 \text{ km}^3/\text{y} = 1)$.

روش پژوهش

۱. معرفی مدل

۱-۱ معادلات حاکم

در این مطالعه از ماژول هیدرودینامیکی مایک ۲۱/۳ به صورت دوبعدی استفاده شده است. بستر محاسباتی اصلی نرم‌افزار، ماژول هیدرودینامیک^۲ است که بر مبنای حل عددی معادلات میانگین ناویر-استوکس برای حالت بدون تراکم پذیر با در نظر گرفتن بوسینسک و



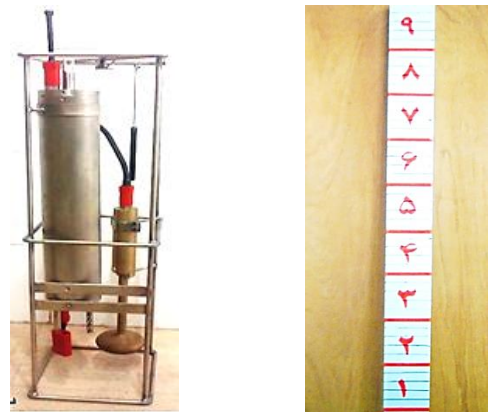
شکل (۱) در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده است، و به کمک ابزار تولید مش متغیر^۳ در مایک، رقومی و درون‌یابی شده‌اند.

۲-۱ شرایط اولیه

به علت پیچ‌وخم در مسیر رودخانه، برای شبکه‌بندی حوزه مدل از مش چهارضلعی در داخل رودخانه و از مش مثلثی در دریا استفاده شده است. مش رودخانه به نحوی است که عرض رودخانه به ۱۰ سلول تقسیم می‌شود و طول هر سلول در امتداد رودخانه حدود ۱۸۰ متر است. کمترین عمق آب در مسیر رودخانه در زمان پایین‌ترین جزر ۲/۸ متر در دهانه و بیشترین عمق آب ۲۳ متر است. شرایط اولیه مدل شامل دما و شوری یکنواخت برای کل حوزه به ترتیب ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۳۲ psu است. در ابتدا تراز سطح آب و سرعت جریان در

۲. جمع‌آوری داده جهت صحت‌سنجی

جهت صحت‌سنجی مدل، طی یک عملیات میدانی مختص به این تحقیق در ساعت ۶ صبح ۱۳۹۴/۷/۲۴، تغییرات تراز سطح آب به کمک اشل جزرومدی (شکل ۳) به‌صورت هم‌زمان در سه‌نقطه اروندرود در زمان مهکشدن به مدت ۱۲ ساعت اندازه‌گیری شد. ایستگاه‌های اندازه‌گیری در موقعیت نهر قمیجه در دهانه، شطیپ در آبادان، و کشتی‌سازی اروندان در خرمشهر است که در شکل ۲ با علامت * مشخص شده‌اند. برای صحت‌سنجی سرعت پیش‌بینی شده در مدل نیز، سرعت جریان آب به کمک دو جریان‌سنج SST-CTD 90M (شکل ۳) ساخت شرکت آلمانی sea & sun اندازه‌گیری شد. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای فشار، شوری، چگالی، هدایت الکتریکی، دما، سرعت صوت در آب، سمت و سرعت جریان آب با فرکانس ۵ داده در هر ثانیه تا عمق حداکثر ۵۰۰ متر را دارد. بدنه آن از جنس تیتانیوم است و حدود ۸ کیلوگرم وزن دارد.

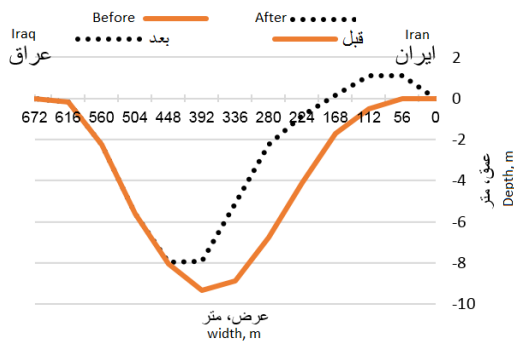


شکل ۳: سمت راست: اشل جزرومدی، سمت چپ: جریان‌سنج SST-CTD 90M
Fig. 3: Right: tidal gauge, Left: SST-CTD M90 current meter

حدود ۱۶ کیلومتر ایجاد شد. در این مسیر کمترین عمق ۴ متر است که نیاز به چهار متر لایروبی دارد تا عمق به ۸ متر برسد. این کانال در واقع قسمت داخلی رودخانه با عمق ۸ متر را به نزدیکترین قسمتی از دریا به عمق ۸ متر متصل می‌کند. نتایج این سناریو برای بررسی اثر تغییر عمق دهانه رودخانه بر پارامترهای فیزیکی اروندرود ارائه شده است.

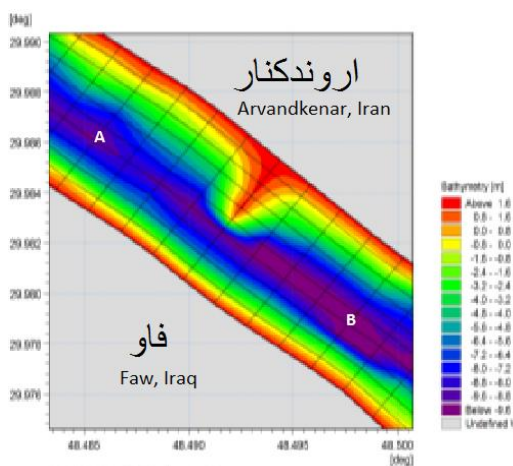
۲-۳ سناریوی خاکریز

برای بررسی اثر کاهش سطح مقطع رودخانه بر سرعت جریان و تراز سطح آب اروندرود، مجدداً در فایل عمق‌سنجی اصلی، یک مانع، (مشابه حالت خاکریز) به طول تقریبی ۲۸۰ متر، عمود بر ساحل در منطقه اروندکنار ایجاد شد (شکل ۵). این اسکله‌ی فرضی، باعث می‌شود عرض رودخانه از حدود ۶۸۰ متر به حدود ۴۰۰ متر، و سطح مقطع از حدود ۲۶۶۰ مترمربع به ۱۸۰۰ مترمربع کاهش یابد (شکل ۴ و شکل ۵).



شکل ۴: مقطع عرضی رودخانه قبل و بعد از ایجاد سازه خاکی

Fig. 4: River cross sections, before and after manipulating



شکل ۵: توپوگرافی رودخانه پس از ایجاد سازه خاکی

Fig. 5: Bathymetry of the river after manipulating

یکی از دو جریان‌سنج از ساعت ۹ صبح ۱۳۹۴/۷/۲۴ به مدت ۳۲ ساعت در ایستگاه آبادان در فاصله ۱۵۰ متری ساحل ایران در عمق سه متری نصب گردید. در این نقطه، عمق حدود ۶ متر و عرض رودخانه ۵۰۰ متر است. در ایستگاه دهانه نیز یک تیم اندازه‌گیری به کمک جریان‌سنج دوم، سرعت جریان سطحی آب (یک دهم عمق کل) را به صورت ساعتی به مدت ۱۲ ساعت اندازه‌گیری کردند. نتایج صحت‌سنجی در بخش نتایج ارائه شده است.

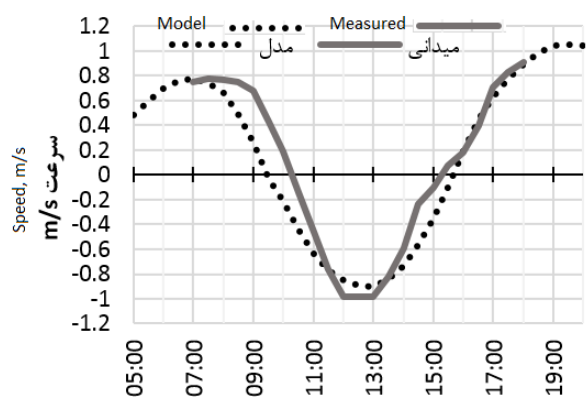
۳. معرفی سناریوها

۳-۱ سناریوی لایروبی

پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، دو سناریو به صورت مجزا اجرا شدند. برای سناریوی لایروبی بدون آنکه در شرایط مرزی، شرایط اولیه، و ضرایب ثابت معادلات تغییری ایجاد شود، در فایل عمق‌سنجی در دهانه اروندرود کانالی به عمق ۸ متر و عرض تقریبی ۳۰۰ متر و طول

نتایج و بحث

پس از اطمینان از دقت مدل، سناریوی لایروبی اجرا شد. پس از لایروبی و احداث کانال دسترسی در دهانه اروندرود، تراز سطح آب دچار تغییراتی می‌شود که این تغییرات به زمان و فاصله از دهانه بستگی دارد. شکل ۱۰ نوسان تراز سطح آب در ایستگاه دهانه را قبل و بعد از لایروبی نشان می‌دهد. در این شکل در ابتدا به نظر می‌رسد دو منحنی کاملاً برهم منطبق هستند اما وقتی تفاضل مقادیر متناظر دو سری زمانی را برحسب سانتی متر به این شکل اضافه می‌کنیم، میزان اختلاف دو منحنی برحسب سانتی متر آشکار می‌شود (محور قائم سمت راست در شکل ۱۰). اگر چه اختلافات بسیار کم است اما در مجموع، در زمان مه‌کشدن بیشتر از که کشند است. بیشترین اختلاف، زمانی که سرعت جریان بیشینه و به سمت دریا است، اتفاق می‌افتد، به‌نحوی که در صورت لایروبی دهانه، تراز سطح آب در ایستگاه دهانه در این لحظه نزدیک به ۱۰ سانتی‌متر پایین‌تر می‌رود. منفی شدن منحنی اختلاف در شکل ۱۰، به معنی پایین‌تر رفتن سطح آب پس از لایروبی است.



شکل ۷: مقایسه سرعت جریان حاصل از مدل و اندازه‌گیری میدانی در ایستگاه دهانه

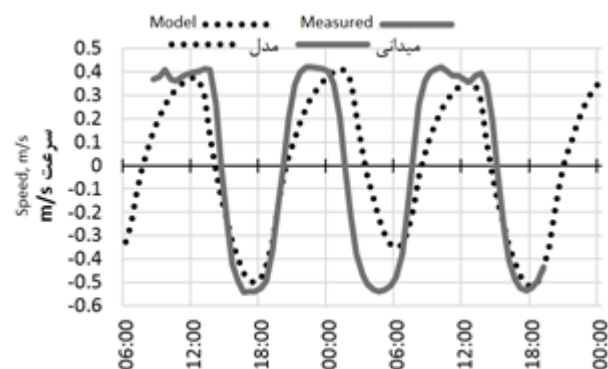
Fig. 7: Comparing of measured current speed with model output at the mouth station

با فاصله گرفتن از دهانه رودخانه میزان تأثیر لایروبی دهانه بر تراز سطح آب کاهش می‌یابد به‌نحوی که در ایستگاه آبادان، در فاصله ۶۰ کیلومتری دهانه، حداکثر اختلاف به ۳ سانتی‌متر می‌رسد (شکل ۱۱). اگر چه ۳ سانتی‌متر در مقابل ۱۰۰ سانتی‌متر جزرومد دیده نمی‌شود و قابل چشم‌پوشی است اما قابل توجه است که برخلاف ایستگاه قبل که بیشینه اختلاف در زمان بیشینه سرعت جزر اتفاق می‌افتاد، در این ایستگاه بیشینه اختلاف کمی قبل از مد اتفاق می‌افتد و مقدار آن مثبت است. از نظر زمانی، رودخانه پس از لایروبی عمدتاً دارای تراز پایین‌تری خواهد شد.

یکی از منابع داده قابل‌اطمینان جهت مقایسه با مدل، اطلاعات جزرومدی بندر فاو در کتاب جداول جزرومدی آدمیرالتی است. در مدل، فاصله‌ای که موج جزرومدی از مرز دریا تا فاو طی می‌کند، حدود ۵۷ کیلومتر است که با احتساب منطقه بین جزرومدی، حدود ۲۰ کیلومتر آن داخل رودخانه است. در طی این مسیر، چنانچه زبری بستر و شرایط مرزی دریا و رودخانه به‌درستی به مدل اعمال نشده باشند، موج جزرومدی با پیشروی در امتداد رودخانه از شکل طبیعی خود خارج می‌شود. برای نمایش تفاوت بین مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل و مقدار واقعی، از خطای جذر میانگین مربعات^۱ استفاده شده است. اگر مقدار این شاخص کوچک‌تر از ۰/۱ باشد پیش‌بینی مدل بسیار عالی است. اگر بین ۰/۱ و ۰/۵ باشد پیش‌بینی مدل خوب است و اگر بین ۰/۵ و ۰/۸ باشد پیش‌بینی مدل متوسط است [۱۴]. مقدار خطای جذر میانگین مربعات برای **Error! Reference source not found** برابر ۰/۱۶ و بیشینه آن ۰/۳۳٪ است که به معنی خوب بودن نتایج مدل است. منحنی خطا در شکل ۸ درواقع خطای جذر مربعات^۲ داده‌ی متناظر است و به‌صورت لحظه‌ای نشان می‌دهد که مدل در مه‌کشدن دارای خطای بیشتری نسبت به که کشند است.

جهت اطمینان بیشتر، در **Error! Reference source not found** داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری میدانی با داده‌های مدل مقایسه شده‌اند. اگرچه به علت امنیتی بودن منطقه‌ی مرزی، اندازه‌گیری فقط در طول روز امکان‌پذیر بود، با این حال نتایج نشان می‌دهند مدل، بیشینه محدوده جزرومد را تا خرمشهر به‌خوبی پیش‌بینی کرده است.

در شکل ۶ و شکل ۷ سرعت‌های اندازه‌گیری شده در عملیات میدانی با سرعت‌های پیش‌بینی شده در مدل مقایسه شده‌اند.

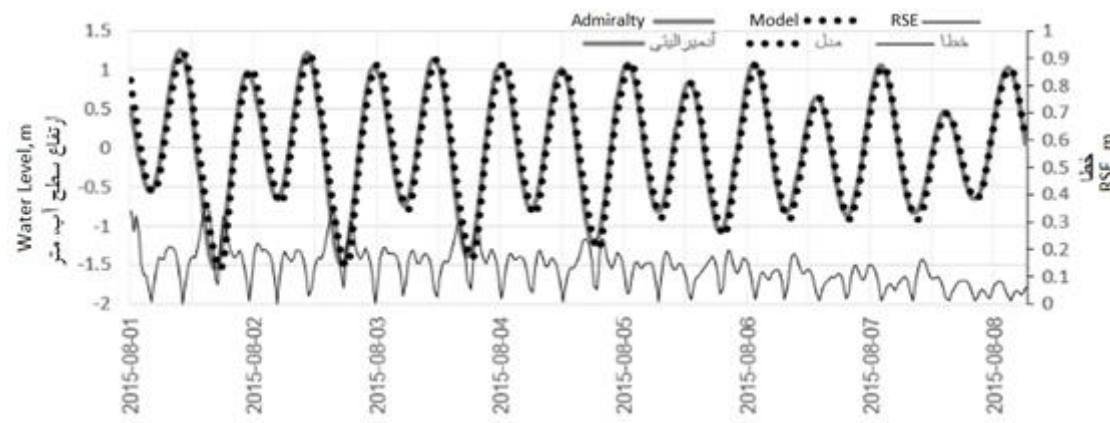


شکل ۶: مقایسه سرعت جریان حاصل از مدل و اندازه‌گیری میدانی در ایستگاه آبادان

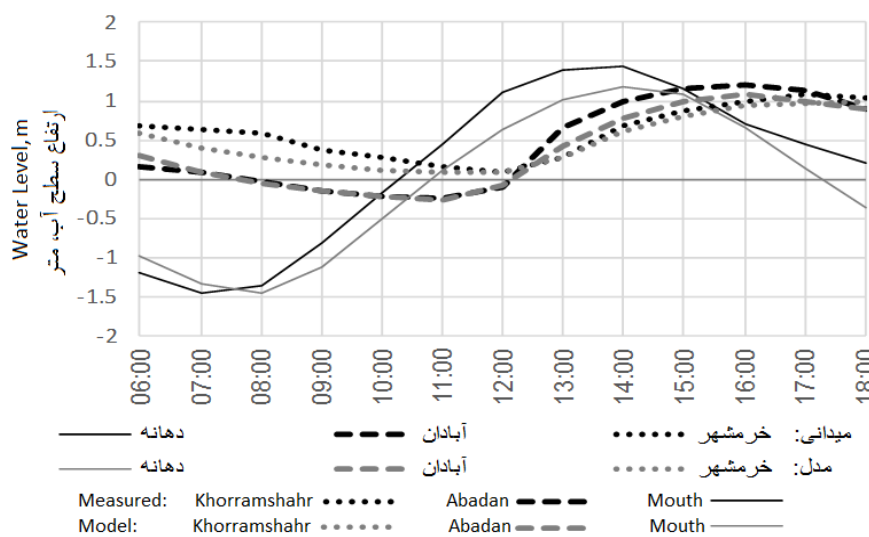
Fig. 6: Comparing of measured current speed with model output at the Abadan station

^۱ Root-Mean-Square Error (RMSE)

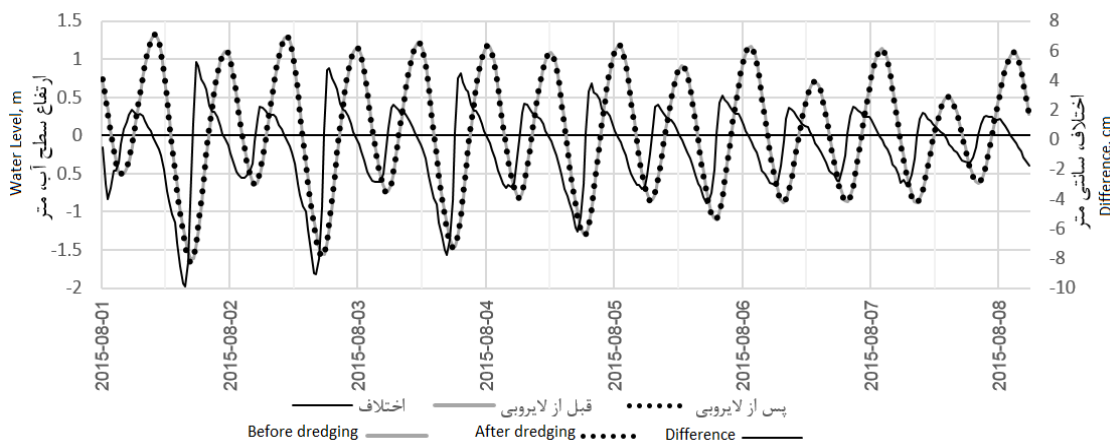
^۲ Root-Square Error (RSE)



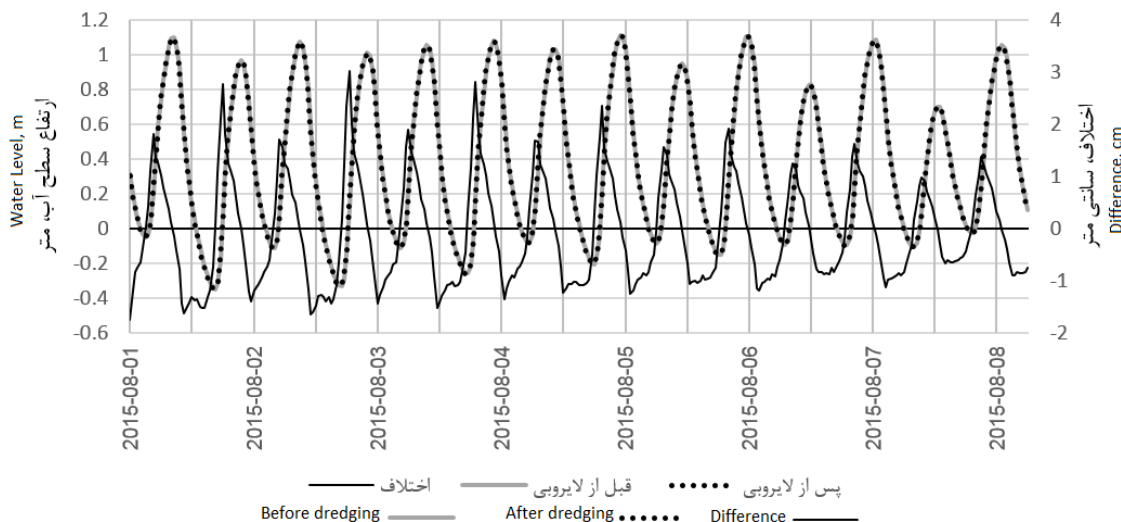
شکل ۸: مقایسه نوسان تراز سطح آب ارنودرود در موقعیت فاو بین مدل و جدول جزرومدی آدمیرالیتی
Fig. 8: Water level comparing between Admiralty tide table data and model at the Faw position



شکل ۹: مقایسه نوسان تراز سطح آب حاصل از اندازه‌گیری میدانی و مدل در سه ایستگاه
Fig. 9: Comparing of measured water level with model output at the stations

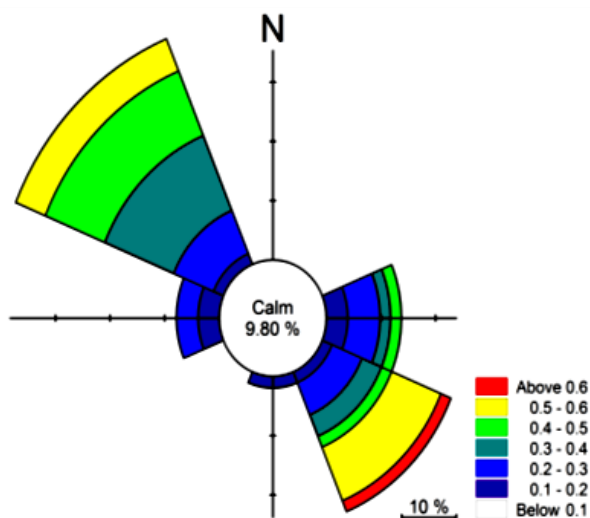


شکل ۱۰: نوسان تراز سطح آب ایستگاه دهانه قبل و بعد از لایروبی (محور عمودی چپ) و اختلاف آنها (محور عمودی راست)
Fig. 10: Water level fluctuation at the mouth before and after dredging along with their difference



شکل ۶: نوسان تراز سطح آب ایستگاه آبادان قبل و بعد از لایروبی (محور عمودی چپ) و اختلاف آنها (محور عمودی راست)

Fig. 11: Water level fluctuation at the station of Aabadan before and after dredging along with their difference



شکل ۱۳: نمودار گل جریان در وسط مقطع عرضی در میانه کانال لایروبی

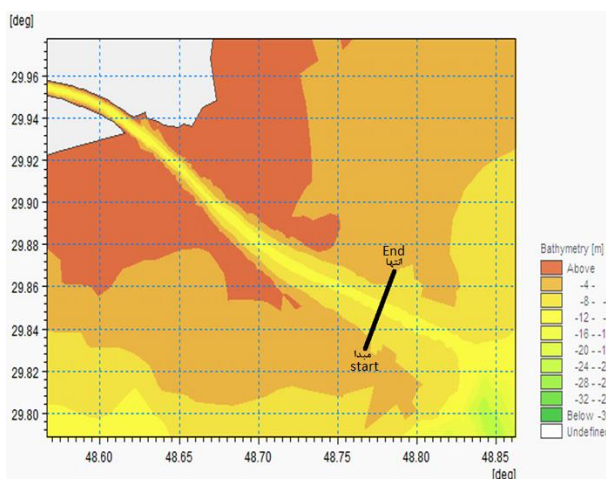
Fig. 13: rose plot of flow pattern in the middle of the cross-section

فاصله عرضی که در شکل‌های بعدی نشان داده شده‌اند بر مبنای میدایی است که در شکل ۱۲ مشخص شده است. عمق‌ها نیز بر مبنای تراز میانگین دریا هستند. شکل ۱۴ نوسان تراز سطح آب در میانه کانال لایروبی را در دو حالت قبل و بعد از لایروبی مقایسه می‌کند. ملاحظه می‌شود که دو منحنی بر هم منطبق هستند.

از آنجایی که مدل به صورت دوبعدی اجرا شده است، سرعت‌های افقی در راستای قائم میانگین شده‌اند. با توجه به شکل ۱۴ سه زمان (ساعت‌های ۱۰:۳۰، ۱۵:۳۰ و ۱۷:۳۰) برای بررسی نیم‌رخ عرضی سرعت در نظر گرفته شده است.

در ساعت ۱۰:۳۰ عمق آب تقریباً بیشینه مقدار ممکن، و سرعت جریان آب کم، و به سمت دریا است. طبق

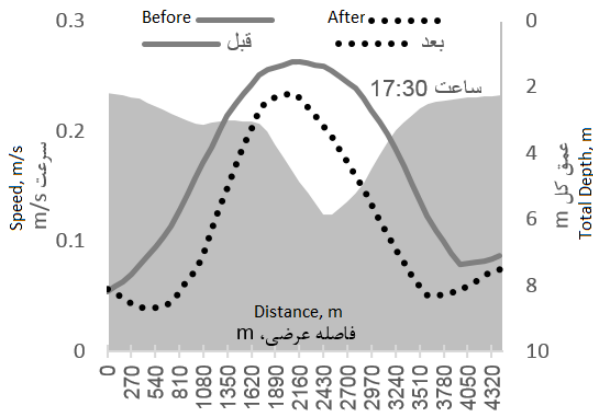
در میانه‌ی مسیر کانال لایروبی، مقطعی برای بررسی تغییرات سرعت جریان در نظر گرفته شده است (شکل ۱۲). برای شناسایی توزیع سمت جریان، نمودار گل جریان در وسط مقطع مورد مطالعه در شکل ۱۳ رسم شده است. این نمودار نشان می‌دهد سرعت جریان در این منطقه تقریباً یک‌بعدی است و می‌توان سرعت‌ها را به صورت منحنی خطی رسم کرد. طبق این شکل، سرعت‌های ۰.۵ تا ۰.۶ متر بر ثانیه در زمان جزر و سرعت‌های ۰.۳ تا ۰.۴ متر بر ثانیه در زمان مد دارای بیشترین فراوانی هستند و بیشینه سرعت جریان مربوط به زمان جزر است. علاوه بر این وسعت بیشتر گل جریان به سمت شمال غرب نشان دهنده این است که در این منطقه به لحاظ زمانی جهت جریان عمدتاً به سمت بالادست رودخانه است.



شکل ۱۲: موقعیت مقطع عرضی در میانه کانال لایروبی

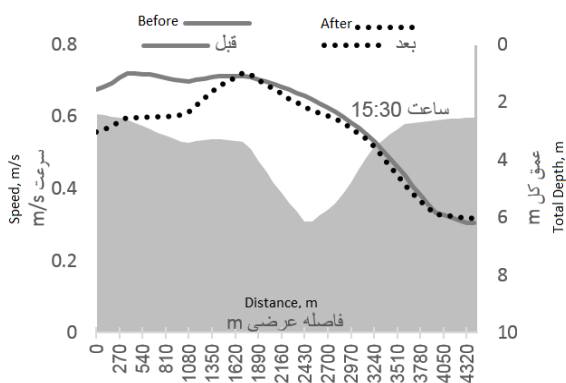
Fig. 12: The position of the cross-section in the middle of the dredged channel

منطقه است. منحنی تغییرات تنش بستر در شکل ۱۸ نشان داده شده است. از آنجایی که تنش بستر متناسب با توان دوم سرعت است، تنش به تغییرات سرعت بسیار حساس است.



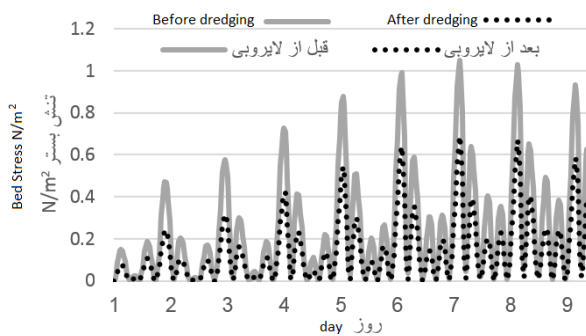
شکل ۱۶: نیم‌رخ عرضی سرعت جریان و عمق در زمان پایین‌ترین جزر، قبل و بعد از لایروبی

Fig. 16: cross-section of current speed in lowest water level before and after dredging



شکل ۱۷: نیم‌رخ عرضی سرعت جریان و عمق در زمان بیشینه سرعت، قبل و بعد از لایروبی

Fig. 17: cross-section of current speed in highest water speed before and after dredging

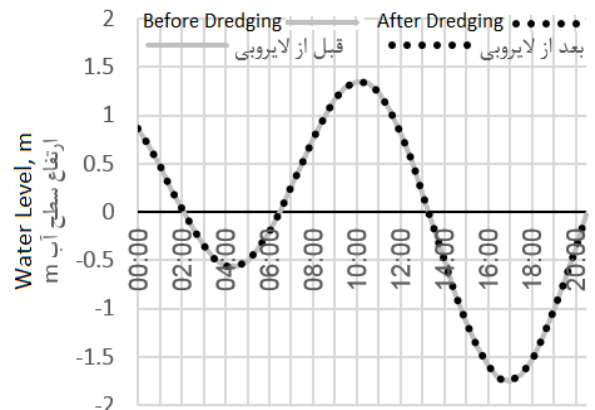


شکل ۱۸: تغییرات تنش بستر، از کهکشدن تا مهکشدن، در وسط کانال، قبل و بعد از لایروبی

Fig. 18: Bed stress changes, from neap to spring tide, in the middle of the channel, before and after dredging

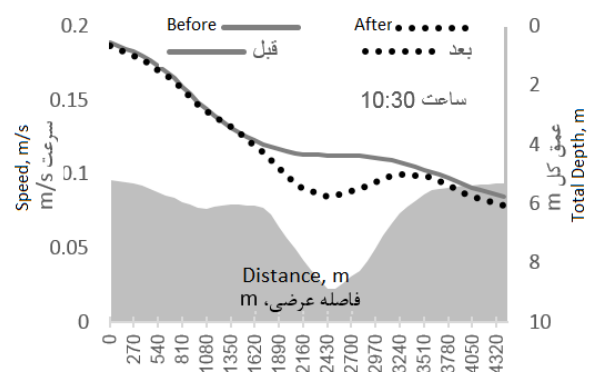
حال به بررسی نتایج سناریوی دوم می‌پردازیم. در صورتی که کاهش سرعت جریان و افزایش نرخ رسوب‌گذاری در مقطعی از رودخانه باعث

not found. سرعت در قسمت لایروبی شده در مقایسه با حالت طبیعی تا ۳ cm/s کاهش می‌یابد.



شکل ۱۴: نوسان تراز سطح آب در میانه‌ی کانال لایروبی

Fig. 14: Water level fluctuation in the middle of dredged channel



شکل ۱۵: نیم‌رخ عرضی سرعت جریان و عمق در زمان بالاترین مد، قبل و بعد از لایروبی

Fig. 15: cross-section of current speed in highest water level before and after dredging

در ساعت ۱۵:۳۰ عمق آب کم، و سرعت جریان بیشینه مقدار ممکن است. در **Error! Reference source not found.** ملاحظه می‌شود، تغییر سرعت جریان در داخل کانال لایروبی چندان زیاد نیست (حداکثر ۳ cm/s) اما در سمت چپ کانال با کاهش سرعت تا ۱۲ cm/s مواجه هستیم.

در ساعت ۱۷:۴۰ همین اتفاق در جهت عکس در حال وقوع است. در این زمان عمق آب در کمترین مقدار خود قرار دارد و شکل ۱۷ نشان می‌دهد در تمام خط عرضی، پس از لایروبی، با کاهش سرعت (حداکثر ۹ cm/s) روبرو خواهیم شد.

در حالت کلی، سرعت جریان در منطقه لایروبی شده کاهش می‌یابد و اوج این کاهش در زمان جزر است که تراز سطح آب پایین است. کاهش سرعت به معنی کاهش تنش بستر، و افزایش رسوب‌گذاری در این

تراز سطح آب در زمان عبور از اسکله کاهش می‌یابد و در فاصله ۱۲۵ متر بعد از اسکله به کمترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن کمی افزایش می‌یابد که در نهایت یک اختلاف ۱۳ سانتی‌متری باقی می‌ماند. تراز سطح آب یکی از جملات معادله انرژی است. کاهش تراز سطح آب بین دو نقطه A و B و عدم تغییر محسوس سرعت جریان، حکایت از اتلاف شدید انرژی جریان در هنگام عبور از اسکله خاکی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که لایروبی دهانه ورود حداکثر می‌تواند تراز سطح آب را تا ۱۰ سانتی‌متر پایین آورد که به سمت بالادست از شدت آن کاسته می‌شود. این اختلاف برای مدت زمان کوتاهی اتفاق می‌افتد و با شروع مد، به سرعت تعدیل می‌شود. لازم به ذکر است این اختلاف ۱۰ سانتی‌متری در جایی اتفاق می‌افتد که محدوده جزرومد حدود ۳ متر است. از یک طرف ممکن است ۱۰ سانتی‌متر در مقابل ۳ متر قابل چشم‌پوشی به نظر برسد اما از طرف دیگر باید توجه داشت که در زمان جزر عمق آب در ایستگاه دهانه حدود ۱/۵ متر کاهش می‌یابد و این ۱۰ سانتی‌متر، بر شدت آن می‌افزاید.

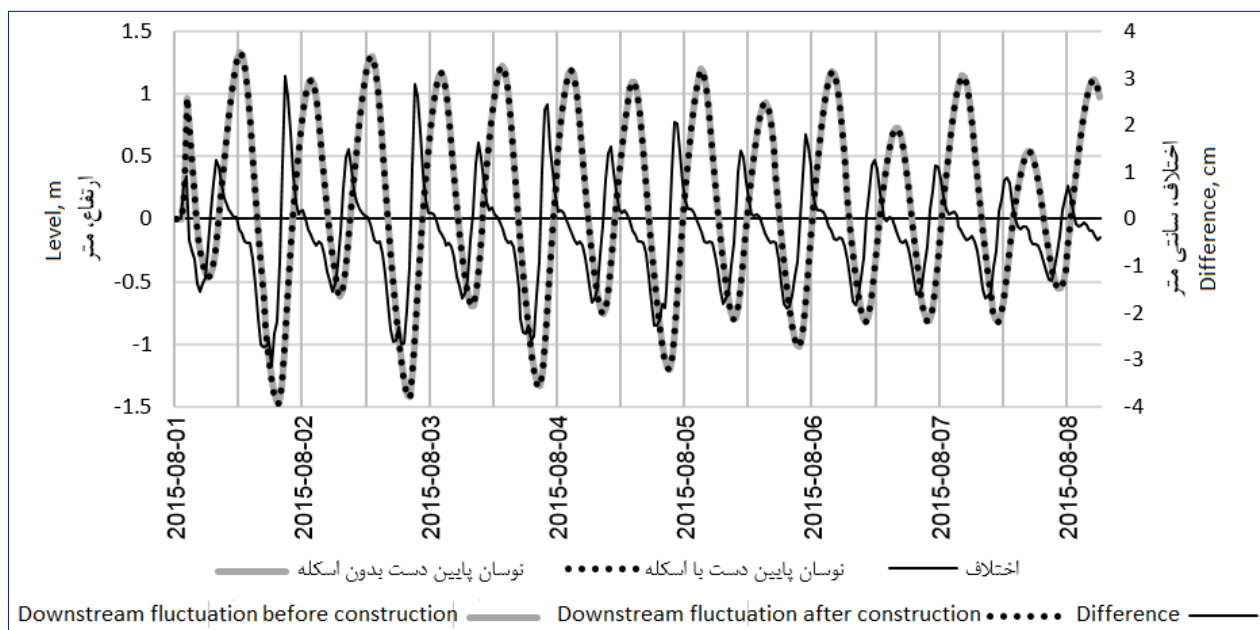
نیم‌رخ‌های عرضی سرعت، عمدتاً کاهش سرعت جریان در کانال لایروبی را نشان می‌دهند. سرعت‌های محاسبه شده، میانگین راستای قائم هستند و افزایش عمق (در اثر لایروبی) کاهش سرعت را به دنبال خواهد داشت. علاوه بر این، با ثابت بودن دبی در بالادست رودخانه، بدیهی است که با افزایش سطح مقطع، مقدار سرعت میانگین کاهش می‌یابد. باید توجه داشت که کاهش سرعت جریان در کانال لایروبی شده، باعث افزایش ته‌نشست بار معلق رودخانه در کانال می‌شود.

ایجاد مشکل شود، یکی از راه‌کارهای پیش رو، کوچک کردن سطح مقطع و افزایش سرعت جریان است که به روش ونتوری مشهور است. برای بررسی تغییرات تراز سطح آب بر اثر کاهش سطح مقطع حاصل از ایجاد نیم بند خاکی فرضی، دو نقطه، یکی ۵۰۰ متر بالاتر، و دیگری ۵۰۰ متر پایین‌تر از اسکله (نقاط A و B در شکل ۵)، انتخاب شدند. شکل ۱۹ تراز سطح آب در نقطه B را در دو حالت قبل و بعد از احداث سازه، نشان می‌دهد. در این شکل به علت کم بودن میزان اختلاف، تفاضل دو سری زمانی محاسبه و برحسب سانتی‌متر به شکل اضافه شده است. بیشینه اختلاف تراز سطح آب سه سانتی‌متر است که این مقدار ناچیز، فقط با رسم تفاضل سری‌های زمانی و رسم آن بر حسب سانتی‌متر روی محور قائم دوم قابل آشکارسازی است.

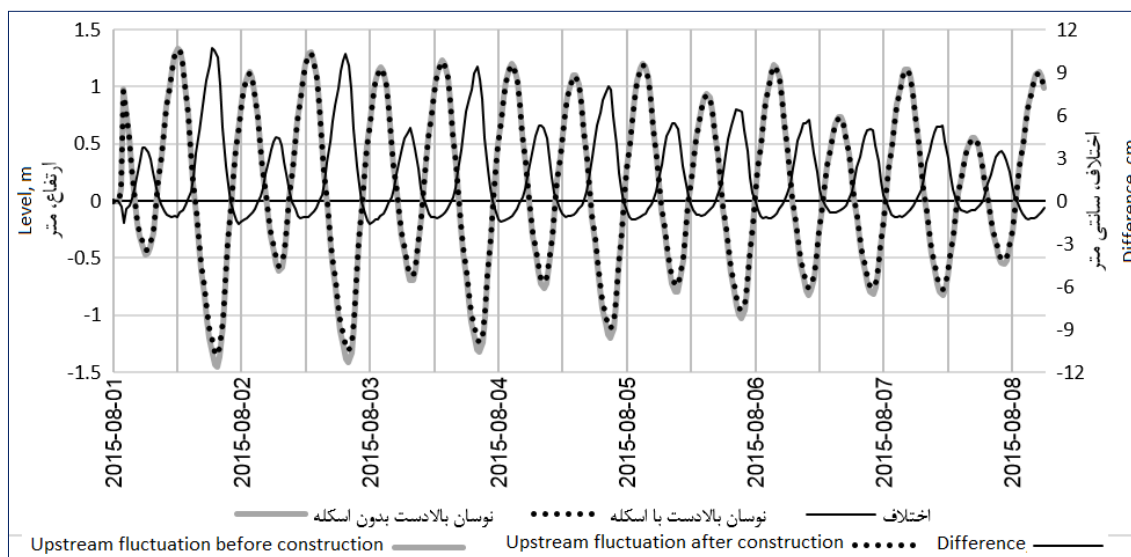
شکل ۲۰ تراز سطح آب در نقطه A را قبل و بعد از احداث سازه نشان می‌دهد. منحنی اختلاف نشان می‌دهد در زمان مد تقریباً تغییر خاصی اتفاق نمی‌افتد اما در زمان جزر تراز سطح آب در بالادست سازه بین ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر، بسته به مه کشند یا که کشند، بالاتر می‌ماند.

شکل ۲۱ تغییرات مکانی سرعت جریان و تراز سطح آب بین دو نقطه A و B را در لحظه‌ای که اختلاف تراز سطح آب بین این دو نقطه بیشینه است (ساعت ۲۰:۰۰ روز ۲۰/۸/۱۵) نشان می‌دهد. سرعت‌ها در راستای قائم و عرضی میانگین شده‌اند. در این شکل، اسکله در موقعیت صفر قرار دارد و راستای رودخانه به سمت دریا مثبت، و جهت خلاف آن منفی در نظر گرفته شده است.

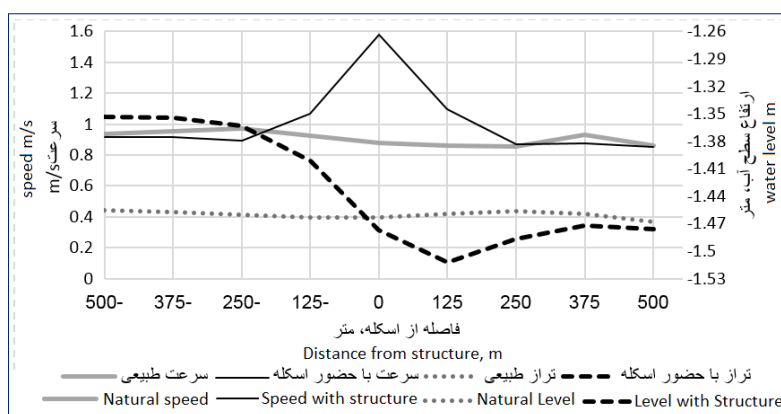
خط‌چین‌ها، تراز سطح آب را مقایسه می‌کنند و خط‌ها نشان دهنده سرعت‌ها هستند. در زمان جزر، جریان با نزدیک شدن به اسکله سرعت پیدا می‌کند و پس از عبور از آن تقریباً به مقدار اولیه بر می‌گردد. اما



شکل ۱۹: نوسان تراز سطح آب در ۵۰۰ متر پایین‌دست محل اسکله قبل و بعد از احداث
Fig. 19: Fluctuation of water level 500 meters downstream of the pier before and after construction



شکل ۹: نوسان تراز سطح آب در ۵۰۰ متر بالادست محل اسکله قبل و بعد از ساخت
 Fig. 20: Fluctuation of water level 500 meters upstream of the pier before and after construction



شکل ۱۰: تغییرات سرعت جریان و تراز سطح آب در فاصله بین ۵۰۰ متر بالادست (اعداد منفی) تا ۵۰۰ متر پایین‌دست اسکله (اعداد مثبت) در دو حالت قبل و بعد از احداث اسکله
 Fig. 21: Changes in current speed and water level at a distance 500 m upstream (negative numbers) to 500 m downstream (positive numbers) of the structure before and after pier construction.

از آنجایی که لایروبی، کاهش سرعت جریان و افزایش رسوب‌گذاری در کانال لایروبی را به همراه دارد؛ با ترکیب دو سناریوی مورد بررسی در این مقاله، می‌توان کاهش سرعت جریان ناشی از لایروبی را با کاهش عرض رودخانه جبران کرد. [۱۵، ۱۶]

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله نویسندگان سهم یکسانی داشتند. تمرکز اصلی نویسنده اول (محمد فیاض محمدی)، که نویسنده مسئول مقاله است، بر بخش برپایی مدل، واسنجی و صحت‌سنجی مدل، اجرای سناریوهای مختلف، استخراج داده و تجزیه و تحلیل داده‌ها بوده است. نظارت بر انطباق مقاله با فرمت مجله، نگارش و جمع‌آوری مطالب، ترجمه و ویراستاری مقاله و هماهنگی محتوایی مقاله را نیز بر عهده داشته است. تمرکز نویسنده دوم و سوم (مسعود صدری‌نسب و وحید چگینی) بر مطالعه و ویرایش مقاله بوده است. تمرکز نویسنده چهارم (امیر اشتری

اثر کاهش سطح مقطع رودخانه در موقعیت ابروندکنار بر تراز سطح آب، در قسمت بالادست و در زمان جزر مشهودتر است، به طوری که پوشیده شدن ۳۳٪ از سطح مقطع رودخانه باعث بالا آمدن تراز سطح آب تا ۱۰ سانتی‌متر در ۵۰۰ متری بالادست سازه در زمان جزر مه‌کشند می‌شود. در این زمان آب رودخانه در حال تخلیه به دریا است و وجود اسکله به‌عنوان مانع، باعث بالا ماندن تراز سطح آب رودخانه می‌شود. این در حالی است که هم‌زمان در ۵۰۰ متری پایین‌دست، تراز سطح آب ۳ سانتی‌متر پایین می‌رود. لذا پس از احداث اسکله، در زمان جزر مه‌کشند، به شیب سطح آب، در فاصله ۱۰۰۰ متری دو طرف اسکله، ۱۳ سانتی‌متر افزوده می‌شود.

طبق معادله انرژی، کاهش تراز سطح آب، و تقریباً ثابت ماندن سرعت جریان در دو طرف اسکله خاکی در زمان جزر مه‌کشند، به معنی اتلاف شدید انرژی جریان هنگام عبور از اسکله است.

فیزیک دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، آقای دکتر امیر اشتری لرکی بابت پشتیبانی مالی طرح اعلام دارم.

لرکی) بر مدیریت عملیات میدانی و جمع‌آوری داده‌های میدانی بوده است.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

تشکر و قدردانی

شایسته است مراتب قدردانی خود را از رئیس وقت دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، آقای دکتر مسعود صدری‌نسب و مدیر گروه

References

- Kangarani HM. Euphrates and Tigris watershed. Economic, social and institutional aspects of forest in an integrated watershed management. 2006. Available from: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2009438275>.
- Yaseen BR, Asaady Kazem A, M. C. Environmental Impacts of Salt Tide in Shatt Al-Arab-Basra/Iraq, Journal of Environmental Science. Toxicol Food Technol. 2016;10(1):35-43.
- Etemadshahidi A, Sburi A, Parsa J. Control of Salinity intrusion in Arvand River Estuary in Different Hydrological Conditions (In Persian) J Iran Water Resources Res. 2011;7(2):50-60.
- García Alba J, Gómez AG, Tinoco López RO, Sámano Celorio ML, García Gómez A, Juanes JA. A 3-D model to analyze environmental effects of dredging operations-application to the Port of Marin, Spain. Advance Geoscie. 2014;39:95-9. doi: 10.5194/adgeo-39-95-2014
- Zhi X, Jing M, Hao W, Yajie H, Guiyu Y, Wei D. River Discharge and Saltwater Intrusion Level Study of Yangtze River Ectuary, China. J Water. 2018:2073-4441. doi: 10.3390/w10060683
- iranhydrography. Available from: <https://iranhydrography.ncc.ir>.
- Davies JL. A morphogenic approach to world shorelines. Zeitschrift für geomorphol. 1964:127-42. doi: 10.1127/zfg/mortensen/8/1964/127
- Nichols MM, Biggs RB. Estuaries. In: R.A. Davis Jr. (Editor), Coastal Sedimentary Environments. Springer, New York 1985.
- Fayaz Mohammadi M. Numerical and field study of tidal effect on sediment transport in Arvandroud estuary, PhD thesis, Physical oceanography, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology (In Persian) 2017.
- Wright JI. A hydrographic and acoustic survey of the Persian Gulf. Naval Postgraduate school, Monterey.CA.1974.
- Johns WE, Yao F, Olson DB, Josey SA, Grist JP, Smeed DA. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred freshwater budgets of the Persian Gulf. J Geophys Res. 2003;108(C12):3391. doi: 10.1029/2003JC001881
- DHI. MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM, Hydrodynamic Module, Scientific Documentation 2012.
- Mahmoudian M. Distribution of suspended sediments based on tidal phases in Arvand estuary, M.Sc. Thesis, Physical oceanography, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology (In Persian) 2013.
- MacCallum RC, Browne MW, Sugawara HM. Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling. Psychol Method. 1996;1(2):130. doi: 10.1037/1082-989X.1.2.130
- Saad MAH. Seasonal variations of some physicochemical conditions of the Shatt-al-Arab Estuary, Iraq. J Coastal Marine Sci. 1978;6:503-13. doi: 10.1016/0302-3524(78)90027-0
- Reynolds RM. Physical Oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman-Results from the Mt Mitchell Expedition. Mar Pollution Bull. 1993;27:35-59. doi: 10.1016/0025-326X(93)90007-7

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Fayaz Mohammadi, M., Assistant Professor, physical oceanography, Khorramshahr university of marine science and technology, Khorramshahr, Iran.

(m.fayaz@kmsu.ac.ir)

 0000-000-7699-4636

Sadrinasab, M., Assistant Professor, Faculty of Environment, University of Tehran, Iran.

(masoud.sadri@ut.ac.ir)

 0000-0002-3551-2044

Chegini, V., Assistant Professor, Department of physical oceanography, Faculty of Marine Science, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

(vahid.chegini@gmail.com)

 0000-0002-3551-2044

Ashtari Larki, A., Iranian national institute for oceanography and atmosphere science, Tehran, Iran

(70amir@gmail.com)

 0000-0002-3551-2044



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Fayaz mohammadi M, Sadrinassab M, Chegini V, Ashtari larki A. The impact of bathymetric modifications of Arvandrood river on water level and flow pattern. *J Oceanography*. 2021; 12(46):51-63.

 <http://doi.org/10.52547/joc.12.46.51>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1430-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.