

هیدروگرافی دوره‌ای، ابزاری برای تعیین دقیق نرخ رسوب‌گذاری

(مطالعه موردی: بندر نوشهر)

ناصر عبدی^{۱*}، اکبر رستمی^۲، علی کوروش نیا^۲، احمد جواهری^۳، ملیکا صادق نژاد^۴

^۱ استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش
abdi@tafreshu.ac.ir

^۲ سازمان بنادر و دریانوردی کشور
alikouroshniya@gmail.com, rostamipmo@email.com

^۳ شرکت مهندسین مشاور دستور نوین
neyestana@gmail.com, sadeghnejad2000@ut.ac.ir

^۴ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکدگان فنی،
دانشگاه تهران
sadeghnejad2000@ut.ac.ir

(دریافت: اسفند ۱۴۰۳، تصویب: خرداد ۱۴۰۴)

چکیده

بندر نوشهر با بیش از ۷۰ سال سابقه، یکی از مهم‌ترین بنادر تجاری دریای خزر محسوب می‌شود. این بندر با موقعیت استراتژیک و تجهیزات پیشرفته، نقش مهمی در توسعه تجارت دریایی، صادرات و ترانزیت کالا به کشورهای آسیای میانه و اروپای شرقی ایفا می‌کند. یکی از چالش‌های اصلی این بندر، پدیده رسوب‌گذاری در کانال ورودی و حوضچه است که می‌تواند بر کارایی عملیاتی و هزینه‌های لایروبی تأثیر بگذارد. مطالعه و تحلیل نرخ رسوب‌گذاری در این منطقه برای مدیریت بهینه عملیات در بندر ضروری است. در این تحقیق، روند رسوب‌گذاری در بندر نوشهر با استفاده از داده‌های عمق‌یابی دوره‌ای در بازه زمانی یک سال و نیم بررسی شده است. به منظور ارزیابی تغییرات بستر و تعیین نرخ رسوب انباشته‌شده، روش‌های مبتنی بر داده‌های هیدروگرافی دارای دقت بالاتری در مقایسه با روش‌های تحلیلی هستند. در این پژوهش، از داده‌های هیدروگرافی‌های ادواری از نیمه سال ۱۴۰۱ تا ابتدای سال ۱۴۰۳ استفاده شده است. برای محاسبه احجام لایروبی و رسوب‌گذاری و همچنین بررسی تغییرات بستر از روش ساخت سطح نامنظم مثلث‌بندی‌شده (TIN) در نرم‌افزار Autodesk Civil 3D، بین دوره‌های متوالی استفاده شده است. نتایج نشان داد که نرخ رسوب‌گذاری متوسط سالانه در محدوده حوضچه و کانال دسترسی بندر نوشهر آن به ترتیب ۰.۳۸ و ۰.۸۱ متر در سال است. این مقادیر با نتایج مدل‌های عددی و پیش‌بینی‌های پیشین در بندر نوشهر مطابقت داشته و تأییدکننده اهمیت نظارت دقیق بر تغییرات بستر دریا در این بندر از طریق هیدروگرافی دوره‌ای است. علاوه بر این، تأثیر نوسان تراز آب دریا بر میزان رسوب‌گذاری با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد و این مقدار در محدوده حوضچه و کانال دسترسی بندر نوشهر به ترتیب برابر با ۰.۸۱ و ۰.۶۴ برآورد گردید. این موضوع نشان‌دهنده این است که بین تراز متوسط آب و حجم رسوب‌گذاری کل ارتباط معنی داری در محدوده حوضچه و کانال دسترسی بندر نوشهر وجود دارد. این یافته‌ها بر اهمیت پایش مستمر و انجام هیدروگرافی‌های دوره‌ای جهت مدیریت بهینه عملیات لایروبی به ویژه با توجه به پایین رفتن تراز آب دریای خزر تأکید دارند. در نهایت نتایج این تحقیق می‌تواند به برنامه‌ریزی بهتر در زمینه نگهداری و بهبود عملکرد بندر نوشهر کمک کند و راهکارهایی را برای کاهش هزینه‌های لایروبی و افزایش بهره‌وری بندر ارائه دهد.

واژگان کلیدی: بندر نوشهر، تراز آب دریا، لایروبی، رسوب‌گذاری، هیدروگرافی

۱- مقدمه

بندر نوشهر به عنوان یکی از مهم ترین بنادر بخش جنوبی دریای خزر شناخته می شود. این بندر نزدیک ترین بندر به تهران (پایتخت ایران) است که در فاصله ۲۰۰ کیلومتری از آن قرار دارد [۱]. بندر نوشهر در سال های اخیر با مسأله رسوب گذاری به صورت جدی تری رو به رو شده است. تغییر و کاهش تدریجی سطح آب دریای خزر، افزایش طول موج شکن اصلی، احیای اراضی در بخش های شرقی و افزایش رسوب گذاری رودخانه ها از جمله دلایلی است که بندر نوشهر را با مشکل شدید رسوب گذاری مواجه کرده است. مطالعه رسوب گذاری در کانال ورودی و حوضچه بنادر بسیار حائز اهمیت است. این مسأله به این دلیل است که رسوب گذاری می تواند در کاهش فعالیت های اقتصادی و عملکرد کلی بنادر تأثیرگذار باشد [۲]. بنابراین، شناسایی صحیح وضعیت بستر دریا در تعیین وضعیت بلندمدت و تمامی هزینه های عملیاتی مورد نیاز برای حفظ عملکرد اقتصادی بندر از اهمیت زیادی برخوردار است.

در نتیجه نیاز است تا اطلاعات دقیقی از بستر دریا و روند رسوب گذاری در اختیار داشته باشیم. روش های متعددی جهت رسیدن به نرخ رسوب گذاری توسط محققین، بررسی شده است. از جمله این روش ها استفاده از مدل های عددی است که با شبیه سازی فرآیندهای هیدرودینامیکی و انتقال رسوب، الگوهای رسوب گذاری را پیش بینی می کنند. این مدل ها با استفاده از داده های مربوط به جریان ها، امواج و خصوصیات رسوب، تغییرات بستر را محاسبه می کنند. با این حال، دقت این مدل ها به شدت وابسته به کیفیت داده های ورودی و کالیبراسیون آن ها است. در مطالعه ای که در بندر امام خمینی (ره) انجام شد، مدل سازی با استفاده از نرم افزار MIKE21 صورت پذیرفت و نتایج آن با داده های هیدروگرافی مقایسه گردید. درصد خطای مدل سازی حدود ۲۰٪ محاسبه شده است که نشان دهنده نیاز به کالیبراسیون دقیق مدل ها برای افزایش دقت آن ها است [۳]. از دیگر روش های برآورد نرخ رسوب، استفاده از روش های نیمه تجربی است. از جمله در مطالعاتی که از معادله سرک (C.E.R.C) [۴]، فرمول والتونو برنو [۵]، فرمول کامفوس [۶] استفاده کرده اند که

روش هایی نیمه تجربی برای برآورد نرخ رسوب هستند. اما مطالعاتی وجود دارد که نشان می دهد، نتایج تمامی این موارد اختلاف زیادی با مقادیر مشاهداتی دارند [۷]. با توجه به حساسیت موضوع ایمنی دریانوردی و نیاز به بررسی دقیق و قابل اطمینان مقدار دقیق رسوب گذاری در محل بنادر، نیاز است تا اطلاعات دقیقی از بستر دریا به طور دوره ای در اختیار داشته باشیم تا نرخ دقیق رسوب، محاسبه شده و وضعیت بستر به صورت مستمر پایش شود.

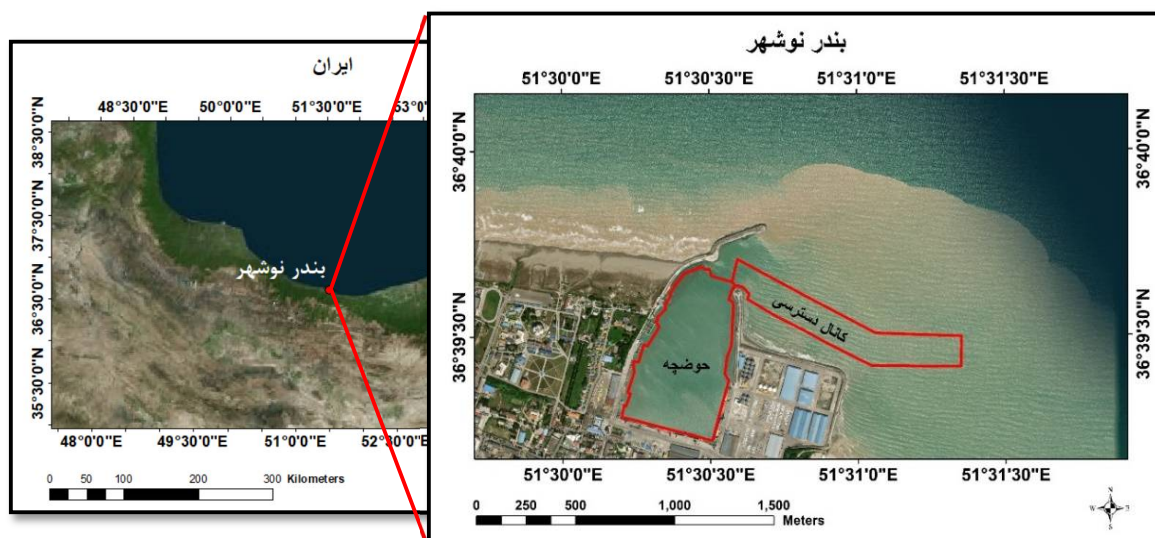
داده های هیدروگرافی معمولاً اندازه گیری های قابل اعتمادتری از میزان رسوب بلندمدت در منطقه ارائه می دهند [۸]. یک برداشت عمق سنجی، روشی مستقیم برای تعیین ظرفیت و توزیع رسوبات است که آن را دقیق تر از روش های غیرمستقیم می کند [۹].

مطالعاتی وجود دارند که از داده های ادواری عمق سنجی برای محاسبه نرخ رسوب بنادر استفاده کرده اند. از جمله در مطالعه ای که روی بندر بوشهر انجام شده است، داده های هیدروگرافی در هفت دوره مورد بررسی قرار گرفته و نرخ رسوب در این بندر برآورد شده است [۱۰]. همچنین در مطالعه ای که روی روند رسوب گذاری بندر امیرآباد انجام شده است، از نتایج هیدروگرافی در طی ۱۰ دوره زمانی مورد بررسی به جهت برآورد نرخ رسوب گذاری سالانه استفاده شده است [۱۱].

در مطالعه پیش رو با استفاده از داده های عمق یابی دوره ای طی ۱۸ ماه (۹ دوره هیدروگرافی) و محاسبه احجام لایروبی و رسوب گذاری، به بررسی نرخ رسوب گذاری سالانه در بندر نوشهر و بررسی همبستگی آن با تراز متوسط آب دریا پرداخته خواهد شد.

۲- منطقه مورد مطالعه

بندر نوشهر در شمال ایران و در امتداد ساحل جنوبی دریای خزر در عرض جغرافیایی ۳۶° ۳۹' و طول جغرافیایی ۵۱° ۳۰' واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی بندر نوشهر و محدوده حوضچه و کانال دسترسی آن، که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته اند را روی تصویر ماهواره ای نشان می دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی بندر نوشهر (دریای خزر، ایران)

۳- داده‌های هیدروگرافی مورد استفاده

۳-۱- برداشت و پردازش اطلاعات هیدروگرافی

در عملیات هیدروگرافی، مؤلفه‌های افقی و قائم به طور جداگانه مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند. سطح مبنای مسطحاتی در عملیات هیدروگرافی مذکور، بیضوی مرجع WGS84 و سیستم تصویر UTM-39N است. همچنین سطح مبنای ارتفاعی، سطح تراز متوسط آبهای آزاد (MSL)^۱ است. به منظور برداشت موقعیت مسطحاتی نقاط از دستگاه GNSS مدل Raymand IRO PRO و شیوه برداشت RTK استفاده شده‌است. عملیات هیدروگرافی بر اساس خطوط یا مسیرهای از پیش تعریف شده و به وسیله شناور هیدروگرافی و توسط عمق‌یاب‌های صوتی تک فرکانس تک‌پرتوی^۲ Hi-Target و Atlas Deso14 انجام شده‌است. طراحی خطوط عمق‌یابی متناسب با مقیاس ۱:۱۰۰۰، با کمک نرم‌افزار Hypack و بر اساس شرح خدمات و رعایت استاندارد ۷-۱۱۹، به طوری که فاصله بین خطوط اصلی برداشت در جهت عمود بر شیب بستر ۱۰ متر و فاصله خطوط کنترلی عمود بر خطوط برداشت اصلی ۵۰ متر باشد، انجام گردیده‌است. طراحی این خطوط عمق‌یابی به صورتی است که کل منطقه مورد نظر را پوشش دهند.

همچنین میانگین تراز آب در روزهای انجام عملیات عمق‌یابی به منظور اطلاع از عمق قابل بهره‌برداری تعیین می‌شود. برای تعیین ارتفاع سطح آب (مشاهدات تراز آب) از اشل نصب شده در بندر نوشهر استفاده شده که ارتفاع آن از طریق ترازبایی از نقاط کنترل ساحلی انتقال داده شده‌است. تعیین دقیق سرعت صوت در آب، اثر مستقیم در دقت صحت عمق اندازه‌گیری شده دارد. بدین منظور ابتدا توسط یک دستگاه CTD، سرعت صوت در محل اندازه‌گیری و به دستگاه عمق‌یاب معرفی شد. جهت تعدیل خطاهای سیستماتیک نیاز است تا دستگاه عمق‌یاب کالیبره شود. منظور از کالیبراسیون دستگاه عمق‌یاب، بررسی درستی عمق اندازه‌گیری شده‌است که این آزمایش به کمک بارچک انجام می‌شود. به کمک بارچک عملیات کنترل و تعیین خطای دستگاهی در محل اسکله به انجام رسید و علاوه بر کنترل درستی سرعت صوت معرفی شده، خطای دستگاهی عمق‌یاب (Index error) نیز کنترل گردید.

به دلیل اختلاف بین زمان GPS و اکوساندر، خطای Latency بوجود می‌آید که نیاز است تا این خطا نیز محاسبه و در مرحله پردازش به داده‌ها اعمال شود. مقدار خطای Latency با مقایسه داده‌های جفت خطوط متقابل بر روی یک بستر متغیر محاسبه می‌شود.

فایل‌های تراز آب و سرعت صوت، بصورت روزانه و در قالب‌های استاندارد نرم‌افزار پردازشی توسط نرم‌افزار Hypack

^۲ Single beam Single frequency echo sounder

^۱ Mean Sea Level

ایجاد شدند. بعد از اعمال تصحیحات تراز آب، سرعت صوت و Latency، داده ها نویزگیری می شوند. آبخور (Draft) ترانسدیوسر نیز هر روز قبل و بعد از عملیات هیدروگرافی، اندازه گیری و اعمال شده است. در نهایت پس از اعمال تمامی این تصحیحات، مختصات نقاط خروجی برای ساخت سطح استفاده خواهد شد.

در صورت نیاز در مناطقی که امکان عمق یابی با اکوساندر وجود ندارد (به عنوان مثال مناطق کم عمق ساحلی) یک سری نقاط با فاصله مشخص و مطابق با مقیاس نقشه به صورت زمینی و با استفاده از دستگاه GPS برداشت خواهند شد.

۳-۲- مجموعه داده ها

در این تحقیق از داده های ادواری عمق یابی مربوط به بندر نوشهر از نیمه دوم سال ۱۴۰۱ تا ابتدای سال ۱۴۰۳ (حدود ۱.۵ سال) به عنوان ورودی در محاسبات استفاده شده است. در سال های اخیر، اجرای پروژه هیدروگرافی دوره ای محدوده حوضچه و کانال بندر نوشهر به منظور ایمنی ناوبری و کنترل عملیات لایروبی از سوی اداره کل حفاظت و ایمنی دریایی سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان کارفرما به شرکت مهندسین مشاور دستورنویین به عنوان مشاور هیدروگرافی محول گردیده است.

جدول ۱: داده های ادواری عمق یابی مورد استفاده در این تحقیق

ردیف	تاریخ	محدوده برداشت در بندر نوشهر
۱	۱۴۰۱/۰۷/۲۰	حوضچه و کانال به طور کامل
۲	۱۴۰۱/۱۰/۱۵	حوضچه و کانال به طور کامل
۳	۱۴۰۱/۱۱/۱۸	حوضچه و کانال به طور کامل
۴	۱۴۰۲/۰۳/۰۲	حوضچه و کانال به طور کامل
۵	۱۴۰۲/۰۵/۰۲	حوضچه و کانال به طور کامل
۶	۱۴۰۲/۰۶/۰۲	حوضچه و کانال به طور کامل
۷	۱۴۰۲/۰۷/۱۷	حوضچه و کانال به طور کامل
۸	۱۴۰۲/۱۰/۰۳	حوضچه و کانال به طور کامل
۹	۱۴۰۳/۰۱/۲۷	حوضچه و کانال به طور کامل

لذا از نتایج هیدروگرافی های انجام شده توسط این شرکت به جهت انجام محاسبات در این مطالعه استفاده شده است.

هر چند که برای تولید نقشه های هیدروگرافی دوره ای، اعماق نسبت به سطح تراز متوسط آب در طول دوره عملیات هیدروگرافی (ML)^۱ محاسبه می شود، لیکن محاسبه حجم بین دو دوره متوالی با داده هایی انجام می شود که عمق آنها نسبت به یک سطح مبنای ثابت (MSL) محاسبه شده اند. در جدول ۱ تاریخ داده های ادواری عمق یابی مورد استفاده در این تحقیق و محدوده هیدروگرافی پوشش داده شده در هر دوره آورده شده است.

۴- روش شناسی

۴-۱- محاسبات احجام لایروبی و رسوب گذاری

به جهت محاسبات احجام، نیاز به دو سطح ایجاد شده روی نقاط دو دوره می باشد. برای رسیدن به این سطوح نیاز است تا یک سری فرآیند برداشت و پردازش و اعمال تصحیحات مطابق با توضیحات بند ۳-۱ انجام شود. در ضمیمه ۱ نمای کلی این فرآیند نشان داده شده است.

یک سطح شبکه نامنظم مثلث بندی شده (TIN)^۲ از مثلث هایی تشکیل شده است که شبکه سطح را تشکیل می دهند. برای ایجاد خطوط TIN، نرم افزار Autodesk Civil 3D نقاط سطحی که به یکدیگر نزدیک تر هستند را به هم متصل می کند. خطوط TIN مثلث ها را تشکیل می دهند. ارتفاع هر نقطه در سطح با استفاده از درون یابی ارتفاعات رأس های مثلث هایی که نقطه در آنها قرار دارد، تعیین می شود. سطح مربوط به هر برداشت در نرم افزار Autodesk Civil 3D تشکیل شده و اصلاحات مورد نیاز روی سطح اجرا می شود. این سطح برای محاسبات احجام در مراحل بعدی استفاده خواهد شد.

روش حجم ترکیبی^۳ از نقاط دو سطح و هر مکانی که لبه های مثلث بین دو سطح از هم عبور می کنند استفاده می کند. حجم و مساحت های لایروبی، رسوب گذاری، و بدون تغییر بر اساس تفاوت ارتفاع بین دو سطح محاسبه می شوند [۱۲]. با استفاده از این روش در نرم افزار Autodesk Civil 3D حجم بین دو سطح اولیه و ثانویه مربوط به دو دوره قبل و بعد از رسوب گذاری محاسبه می شود.

^۳ Composite Volume Method

^۱ Mean Level

^۲ Triangulated Irregular Network

۴-۲- محاسبه نرخ رسوب

در محل بنادر به طور مداوم عملیات لایروبی صورت می‌گیرد. بنابراین حجم رسوب بدست آمده صرفاً با محاسبه حجم بین سطوح هیدروگرافی شده مربوط به دو دوره ابتدایی و انتهایی، نماینده مقدار طبیعی تغییرات نیست و باید مقدار احجام لایروبی‌ها در دوره های میانی به حجم رسوب بدست آمده اضافه شود تا مقدار تغییر حجم طبیعی سطح بدست آید. بدین منظور پس از محاسبه احجام رسوب بین اولین و آخرین دوره، مقدار لایروبی‌های صورت گرفته در دوره‌های میانی به مقدار رسوب اضافه شده و نرخ انباشت رسوب (SDR)^۱ با استفاده از رابطه شماره ۱ محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$SDR = \frac{\Delta V_{\text{رسوب}}(1, n+1) - \Delta V_{\text{لایروبی}}(1, n+1) + \sum_{i=1}^n \Delta V_{\text{لایروبی}}(i, i+1)}{A * \Delta t} \quad (1)$$

در رابطه‌ی ۱، SDR نشان‌دهنده نرخ انباشت رسوب سالانه به واحد متر در سال، $\Delta V_{\text{رسوب}}$ نماینده حجم رسوب محاسبه‌شده با مقایسه برداشت‌های هیدروگرافی دو دوره به واحد متر مکعب، $\Delta V_{\text{لایروبی}}$ نماینده حجم رسوب لایروبی‌شده بین دو دوره به واحد متر مکعب، Δt فاصله زمانی بین دوره ابتدایی و دوره انتهایی به واحد سال و n تعداد بازه های محاسبه احجام می‌باشد. همچنین A نشانگر سطح متوسط محدوده مورد بررسی دوره‌های هیدروگرافی است.

۴-۳- محاسبه ضریب همبستگی

ضریب همبستگی پیرسون یک شاخص بدون بعد است که در برابر تغییرات خطی در هر یک از متغیرها ثابت می‌ماند. پیرسون اولین بار فرمول ریاضی این معیار مهم را در سال ۱۸۹۵ توسعه داد. رابطه ۲ نحوه محاسبه ضریب همبستگی پیرسون را نشان می‌دهد.

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum (X_i - \bar{X})^2 * \sum (Y_i - \bar{Y})^2)} \quad (2)$$

r ضریب همبستگی پیرسون است. X_i و Y_i مقادیر هر یک از داده‌های مجموعه‌ها هستند. $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین‌های مجموعه‌های X و Y هستند. Σ نشان‌دهنده جمع است [۱۳].

۵- نتایج

۵-۱- احجام و نرخ رسوب‌گذاری

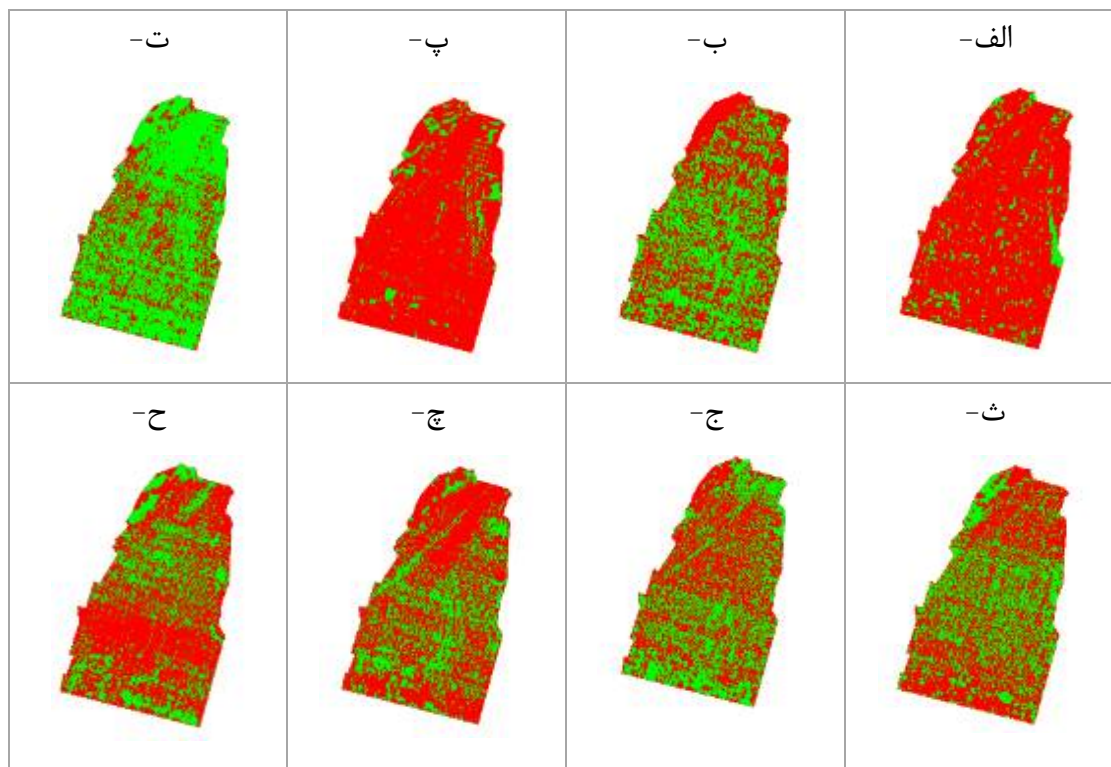
در این پژوهش داده‌های هیدروگرافی تا تاریخ ۱۴۰۳/۰۱/۲۷ مورد بررسی قرار گرفته‌است. زیرا از این تاریخ به بعد کانال بندر نوشهر به موقعیت دیگری منتقل شده‌است. بررسی‌های انجام‌شده در این تحقیق در دو بخش مجزا برای محدوده حوضچه و محدوده کانال بندر نوشهر انجام‌شده است. نتایج بصری مقایسه هیدروگرافی‌های دوره‌های متوالی مربوط به بخش حوضچه و کانال دسترسی بندر نوشهر به ترتیب در شکل های ۳ و ۴ نشان داده‌شده است. همچنین در جداول ۲ و ۳ مقادیر احجام و دیگر اطلاعات بدست‌آمده به ترتیب برای بخش حوضچه و کانال دسترسی بندر نوشهر بیان شده‌است.

با استفاده از رابطه‌ی شماره ۱، مقدار نرخ رسوب‌گذاری محاسبه شده و مقادیر ۰.۳۸ و ۰.۸۱ متر در سال به ترتیب در محدوده حوضچه و کانال دسترسی بندر نوشهر برآورد گردید. پارامترهای ورودی در رابطه شماره ۱، شامل حجم لایروبی و رسوب‌گذاری بین اولین و آخرین دوره هیدروگرافی مورد بررسی در این تحقیق (سطر آخر در جداول ۲ و ۳)، بازه زمانی بین دوره‌ها بر حسب ماه که با تقسیم این مقادیر بر عدد ۱۲، بازه زمانی برحسب سال بدست آمده و در محاسبات نرخ رسوب استفاده شده‌است (ستون ۳ در جداول ۲ و ۳) و همچنین مساحت محدوده‌های محاسبات احجام (ستون ۴ در جداول ۲ و ۳) و مقادیر احجام لایروبی بین دوره‌های متوالی (ستون ۵ در جداول ۲ و ۳) به ترتیب برای محدوده حوضچه و کانال بندر نوشهر می‌باشند.

به منظور محاسبه‌ی ارتفاع رسوب در هر بازه زمانی، از حاصل تقسیم مجموع مقادیر رسوب‌گذاری و لایروبی هر دوره بر مساحت محدوده محاسبات احجام همان دوره استفاده شده‌است. زیرا همانطور که بیان شد، در محل بنادر به صورت مداوم لایروبی صورت می‌پذیرد و صرفاً استفاده از مقدار رسوب‌گذاری به تنهایی نمی‌تواند مقدار رسوب‌گذاری را مشخص کند و لازم است که مقدار حجم لایروبی‌های انجام شده نیز به این مقدار اضافه شود. در مطالعه‌ای دیگر، مطابق با نتایج مدل‌سازی عددی، رسوب‌گذاری تا ۱ متر در مناطق کانال دسترسی بندر نوشهر پیش‌بینی شده است که

این پیش بینی نیز با برآوردهای قبلی آنها مبتنی بر حجم لایروبی سالانه مطابقت داشته است [۲]. این مقدار با نرخ رسوب گذاری محاسبه شده برای محدوده کانال بندر نوشهر در تحقیق حاضر تطابق قابل قبولی دارد و اختلاف موجود

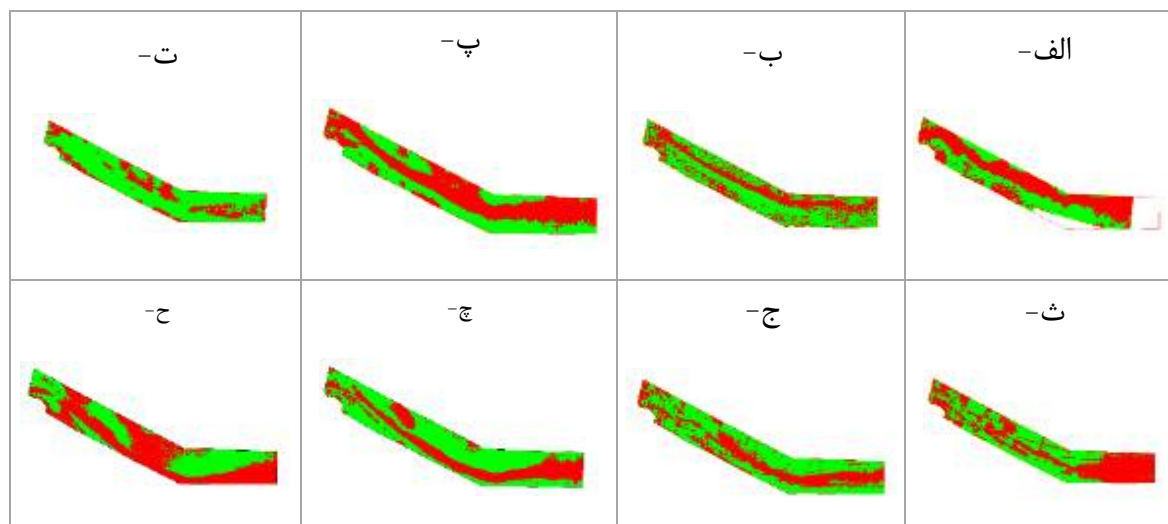
می تواند ناشی از دقت نرخ رسوب گذاری برآورد شده از داده های هیدروگرافی در برابر مدل سازی های عددی پیشین باشد.



شکل ۲: سطوح حجم مربوط به بخش حوضچه بندر نوشهر (مقایسه ی هیدروگرافی های تاریخ های: الف: ۱۴۰۱۰۷ و ۱۴۰۱۱۰ - ب: ۱۴۰۱۱۱ و ۱۴۰۱۱۰ - پ: ۱۴۰۱۱۱ و ۱۴۰۲۰۳ - ت: ۱۴۰۲۰۳ و ۱۴۰۲۰۵ - ث: ۱۴۰۲۰۵ و ۱۴۰۲۰۶ - ج: ۱۴۰۲۰۶ و ۱۴۰۲۰۷ - چ: ۱۴۰۲۰۷ و ۱۴۰۲۱۰ - ح: ۱۴۰۲۱۰ و ۱۴۰۳۰۱) (قرمز: رسوب گذاری، سبز: لایروبی)

جدول ۲: مقادیر احجام و اطلاعات مربوطه (بخش حوضچه بندر نوشهر)

ارتفاع رسوب (متر)	حجم رسوب کل (متر مکعب)	حجم لایروبی (متر مکعب)	حجم رسوب گذاری (متر مکعب)	مساحت محدوده (متر مربع)	بازه زمانی (ماه)	تاریخ ثانویه	تاریخ اولیه
۰.۲۰	۶۴۱۳۸.۰	۸۳۴۹.۳	۵۵۷۸۸.۷	۳۱۸۷۱۴.۲	۲.۸	۱۴۰۱/۱۰/۱۵	۱۴۰۱/۰۷/۲۰
۰.۱۵	۴۷۱۶۷.۴	۲۶۸۵۶.۸	۲۰۳۱۰.۶	۳۱۸۳۵۲.۲	۱.۱	۱۴۰۱/۱۱/۱۸	۱۴۰۱/۱۰/۱۵
۰.۲۸	۸۸۷۳۶.۷	۸۲۳۶۶	۸۰۵۰۰.۰	۳۱۸۸۲۵.۴	۳.۵	۱۴۰۲/۰۳/۰۲	۱۴۰۱/۱۱/۱۸
۰.۱۴	۴۵۸۷۴.۹	۳۸۶۷۹.۳	۷۱۹۵.۶	۳۱۸۸۶۶.۷	۲.۰	۱۴۰۲/۰۵/۰۲	۱۴۰۲/۰۳/۰۲
۰.۱۳	۴۰۰۹۱.۷	۱۹۸۵۹.۶	۲۰۲۳۲.۱	۳۱۸۸۶۲.۸	۱.۰	۱۴۰۲/۰۶/۰۲	۱۴۰۲/۰۵/۰۲
۰.۱۲	۳۶۹۰۸.۰	۲۰۰۱۴.۵	۱۶۸۹۳.۵	۳۱۸۸۶۲.۸	۱.۵	۱۴۰۲/۰۷/۱۷	۱۴۰۲/۰۶/۰۲
۰.۱۱	۳۵۳۶۹.۸	۱۳۷۹۴.۱	۲۱۵۷۵.۷	۳۱۸۷۶۷.۶	۲.۵	۱۴۰۲/۱۰/۰۳	۱۴۰۲/۰۷/۱۷
۰.۱۲	۳۷۶۶۲.۹	۱۵۳۲۵.۴	۲۲۳۳۷.۴	۳۱۸۸۶۳.۴	۳.۸	۱۴۰۳/۰۱/۲۷	۱۴۰۲/۱۰/۰۳
	۶۹۴۰۴.۶	۱۷۸۰۱.۵	۵۱۶۰۳.۱	۳۱۸۷۴۱.۰	۱۸.۲	۱۴۰۳/۰۱/۲۷	۱۴۰۱/۰۷/۲۰



شکل ۳: سطوح حجم مربوط به بخش کانال بندر نوشهر (مقایسه‌ی هیدروگرافی‌های تاریخ‌های: الف: ۱۴۰۱۰۷ و ۱۴۰۱۱۰ - ب: ۱۴۰۱۱۱ و ۱۴۰۱۱۱ - پ: ۱۴۰۱۱۱ و ۱۴۰۲۰۳ - ت: ۱۴۰۲۰۵ و ۱۴۰۲۰۶ - ج: ۱۴۰۲۰۷ و ۱۴۰۲۰۷ - ح: ۱۴۰۲۱۰ و ۱۴۰۲۱۰ و ۱۴۰۳۰۱) (قرمز: رسوب‌گذاری، سبز: لایروبی)

جدول ۳: مقادیر احجام و اطلاعات مربوطه (بخش کانال بندر نوشهر)

ارتفاع رسوب (متر)	حجم رسوب کل (متر مکعب)	حجم لایروبی (متر مکعب)	حجم رسوب گذاری (متر مکعب)	مساحت محدوده (متر مربع)	بازه زمانی (ماه)	تاریخ ثانویه	تاریخ اولیه
۰.۳۷	۵۹۱۲۶.۰	۸۴۵۰.۵	۵۰۶۷۵.۴	۱۵۹۸۷۹.۸	۲.۸	۱۴۰۱/۱۰/۱۵	۱۴۰۱/۰۷/۲۰
۰.۱۶	۳۰۸۲۶.۲	۱۵۶۰۲.۸	۱۵۲۲۳.۴	۱۸۹۵۹۵.۸	۱.۱	۱۴۰۱/۱۱/۱۸	۱۴۰۱/۱۰/۱۵
۰.۵۲	۹۸۱۴۸.۳	۲۳۴۹۲.۹	۷۴۶۵۵.۴	۱۸۹۶۸۸.۹	۳.۵	۱۴۰۲/۰۳/۰۲	۱۴۰۱/۱۱/۱۸
۰.۱۹	۳۷۰۴۸.۴	۳۵۸۹۸.۳	۱۱۵۰.۱	۱۹۰۲۵۱.۳	۲.۰	۱۴۰۲/۰۵/۰۲	۱۴۰۲/۰۳/۰۲
۰.۰۹	۱۶۵۴۸.۴	۹۲۴۵.۸	۷۳۰۲.۵	۱۹۰۲۵۱.۳	۱.۰	۱۴۰۲/۰۶/۰۲	۱۴۰۲/۰۵/۰۲
۰.۱۴	۲۶۵۸۱.۲	۹۱۱۲.۴	۱۷۴۶۸.۸	۱۹۰۲۵۱.۳	۱.۵	۱۴۰۲/۰۷/۱۷	۱۴۰۲/۰۶/۰۲
۰.۳۸	۷۲۰۳۱.۸	۱۷۹۵۷.۳	۵۴۰۷۴.۵	۱۹۰۱۹۶.۹	۲.۵	۱۴۰۲/۱۰/۰۳	۱۴۰۲/۰۷/۱۷
۰.۳۹	۷۳۳۹۹.۸	۱۶۷۰۶.۱	۵۶۶۹۳.۷	۱۹۰۱۹۶.۹	۳.۸	۱۴۰۳/۰۱/۲۷	۱۴۰۲/۱۰/۰۳
	۱۷۲۸۳۸.۳	۲۹۴۹۴.۹	۱۳۳۳۴۳.۴	۱۵۹۸۷۹.۸	۱۸.۲	۱۴۰۳/۰۱/۲۷	۱۴۰۱/۰۷/۲۰

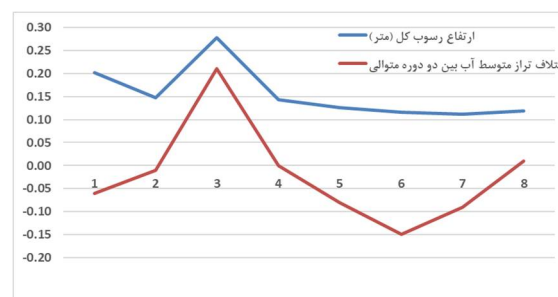
۵-۲- بررسی همبستگی بین رسوب‌گذاری و تراز متوسط آب دریا (ML)

برای تعیین ارتفاع سطح آب (مشاهدات تراز آب) از اشل نصب‌شده در بندر نوشهر استفاده شده‌است. روند بدست آوردن متوسط تراز آب دریا (ML) برای هر دوره در ضمیمه ۲ نشان داده شده‌است. در هر بازه زمانی محاسبات احجام، اختلاف مقادیر تراز ML بین دو دوره محاسبه شده و روند تغییرات آنها به همراه روند تغییرات ارتفاع رسوب کل در ۸ بازه مورد نظر، به تفکیک برای بخش حوضچه و کانال بندر نوشهر در نمودارهای ۳ و ۴ نمایش داده شده‌اند. به منظور

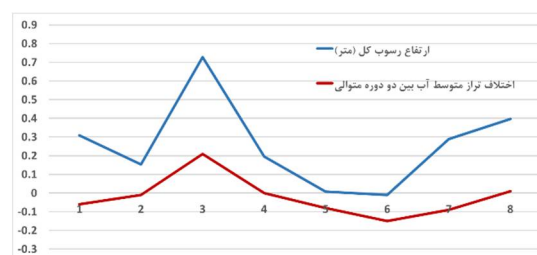
بررسی همبستگی بین اختلاف تراز آب متوسط و ارتفاع رسوب کل برآورد شده در هر بازه، مقدار ضریب همبستگی پیرسون برای این دو محدوده بصورت جداگانه محاسبه شد که در محدوده حوضچه بندر نوشهر مقدار ۰.۸۱ و در محدوده کانال بندر نوشهر مقدار ۰.۶۴ بدست‌آمد.

این موضوع نشان‌دهنده آن است که بین اختلاف تراز متوسط آب و رسوب‌گذاری ارتباط معنی داری در هر دو محدوده وجود دارد و این ارتباط دارای همبستگی مثبت است. به عبارت دیگر پایین رفتن تراز آب دریای خزر را می‌توان به عنوان عاملی برای شسته شدن بستر و کاهش میزان رسوب‌گذاری در محدوده حوضچه و در کانال بندر

نوشهر برشمرده. در نتیجه به دلیل نوسانات تراز آب و تأثیر آن روی روند رسوب گذاری در بنادر و همچنین سایر عوامل طبیعی و انسانی دخیل در امر رسوب گذاری، پایش دوره ای بستر دریا از طریق عمق یابی به منظور بررسی دقیق مقدار رسوب گذاری امری ضروری است.



نمودار ۱: مقادیر ارتفاع رسوب کل و اختلاف تراز ML، در بازه های محاسبات احجام، طی ۸ بازه زمانی مورد بررسی (محدوده حوضچه بندر نوشهر)



نمودار ۲: مقادیر ارتفاع رسوب و اختلاف تراز ML، در بازه های محاسبات احجام، طی ۸ بازه زمانی مورد بررسی (محدوده کانال بندر نوشهر)

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

یکی از چالش های اصلی در بندر نوشهر، پدیده رسوب گذاری در کانال ورودی و حوضچه این بندر است که می تواند بر کارایی عملیاتی و هزینه های لایروبی تأثیرگذار باشد. مطالعه و تحلیل نرخ رسوب گذاری در این بندر برای مدیریت بهینه بندر ضروری بوده و از طرفی مدل های تخمینی و تجربی موجود در این زمینه با دقت بالا جوابگو نیستند. در این تحقیق، روند رسوب گذاری در بندر نوشهر با استفاده از داده های عمق یابی دوره ای در بازه زمانی یک سال و نیم به منظور تعیین نرخ رسوب انباشته شده سالانه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش، برای محاسبه تغییرات حجم رسوب، از ساخت سطح نامنظم مثلث بندی شده (TIN) در نرم افزار Autodesk Civil 3D برای تاریخ های اولیه و ثانویه و محاسبه احجام لایروبی و رسوب گذاری استفاده شد. نتایج نشان داد که

نرخ رسوب گذاری سالانه در محدوده حوضچه بندر نوشهر به طور متوسط ۰.۳۸ متر در سال و در کانال دسترسی ۰.۸۱ متر در سال است. این مقادیر با نتایج مدل های عددی و پیش بینی های پیشین در بندر نوشهر تطابق مناسبی داشته و تأیید کننده اهمیت نظارت دقیق بر تغییرات بستر دریا از طریق هیدروگرافی می باشد. علاوه بر این، در این پژوهش تأثیر نوسان تراز آب دریا بر میزان رسوب گذاری در محدوده حوضچه و کانال بندر نوشهر بصورت جداگانه با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون بررسی شد. در حوضچه بندر نوشهر مقدار این همبستگی ۰.۸۱ و در کانال بندر نوشهر این مقدار برابر با ۰.۶۴ به دست آمد که نشان می دهد رابطه معناداری بین ارتفاع رسوب گذاری در هر دو محدوده بندر نوشهر و نوسان تراز آب دریای خزر وجود دارد. به عبارت دیگر مشخص گردید که با پایین رفتن آب دریای خزر نرخ رسوب گذاری در محدوده حوضچه و کانال دسترسی بندر نوشهر روند کاهشی دارد و بالعکس. این یافته ها بر اهمیت پایش مستمر و انجام هیدروگرافی های دوره ای جهت مدیریت بهینه عملیات لایروبی تأکید دارند. با توجه به نرخ بالای رسوب گذاری بدست آمده، پیشنهاد می شود که به طور ماهانه عملیات هیدروگرافی در محدوده این بندر انجام شود تا وضعیت بستر به صورت مرتب بررسی شده و برنامه ریزی دقیقی درباره حجم مورد نیاز لایروبی صورت گیرد. لازم به ذکر است که نتیجه گیری صورت گرفته در رابطه با بررسی همبستگی بین تراز متوسط آب دریای خزر و رسوب گذاری در این تحقیق صرفاً بر مبنای مجموعه داده های مورد بررسی بوده و پیشنهاد می شود جهت بررسی تأثیر پایین رفتن آب دریای خزر روی ارتفاع رسوب گذاری در بنادر و کانال های دسترسی، مطالعات گسترده تری با داده های طولانی تر و همچنین در بنادر مختلف صورت پذیرد. از طرفی پیشنهاد می گردد نتایج به دست آمده برای نرخ رسوب گذاری از داده های هیدروگرافی با تفصیل و جزئیات بیشتری با نتایج حاصل از مدل سازی های عددی به منظور اهمیت و نقش هیدروگرافی در پایش نرخ رسوب گذاری در بنادر صورت پذیرد.

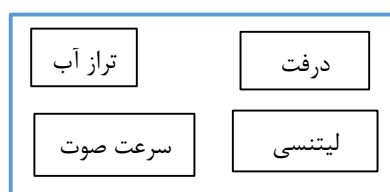
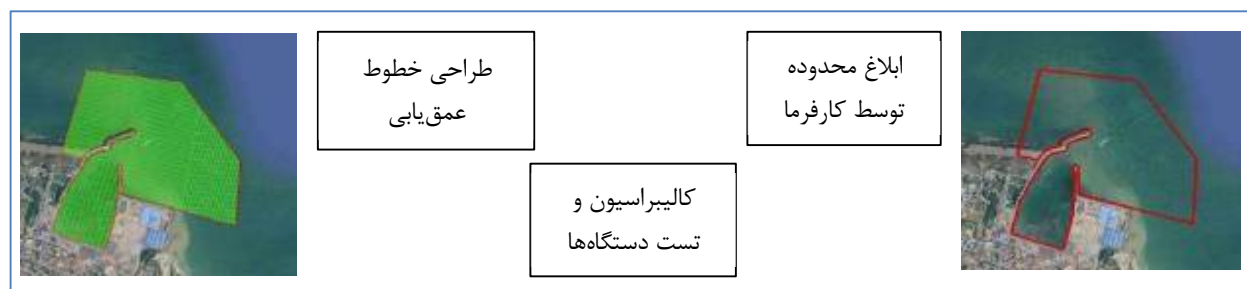
سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بدین وسیله مراتب قدردانی و سپاس صمیمانه خود را از کلیه عزیزانی که در مسیر انجام این پژوهش یاری رسان بوده اند، بویژه مدیران و کارشناسان محترم اداره کل ایمنی و حفاظت دریائی سازمان بنادر و

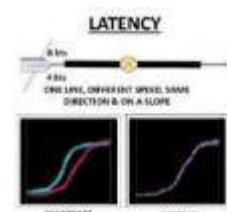
دریانوردی و مدیران و کارشناسان بخش هیدروگرافی
شرکت مهندسين مشاور دستورنوين که با حمايت‌ها و
زحمات بی‌دریغ خود سهم بسزایی در پیشبرد این تحقیق
داشتند، ابراز می‌نمایند.

مراجع

- [1] Sakhaee, F. and Khalili, F. (2021). "Sediment pattern & rate of bathymetric changes due to construction of breakwater extension at Nowshahr port." *Journal of Ocean Engineering and Science* 6(1), 70–84.
- [2] Mahmoodi, A., Lashteh Neshaei, M. A., Mansouri, A. and Shafai Bejestan, M. (2020). "Study of Current- and Wave-Induced Sediment Transport in the Nowshahr Port Entrance Channel by Using Numerical Modeling and Field Measurements." *Journal of Marine Science and Engineering* 8(4), 284.
- [3] Emami Zadeh Mahabadi, A. M., Lari, K. and Zoljoodi, M. (2018). "Comparing the estimation of sedimentation rate and volume in Imam Khomeini Port's access channel using the methods of Hydrography, Bijker's theory and modeling by Mike21." *Geographic Information Journal Sepehr* 27(106), 141–152.
- [4] Enayati, A. and Khalooei Tafti, S. S. (2019). "Evaluation of Semi-Empirical Relationships in Estimating Longshore Sediment Transport Rate Based on Field Data Validation (Babolsar Coast)." *Proceedings of the 3rd International Congress on Civil Engineering, Architecture, and Contemporary Urbanism*, Tehran, Iran.
- [5] Kamphuis, J., Davies, M., Nairn, R. and Sayao, O. (1986). "Calculation of littoral sand transport rate." *Coastal Engineering* 10(1), 1–21.
- [6] Kamphuis, J. W. (1991). "Alongshore sediment transport rate." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 117(6), 624–640.
- [7] Sadeghifar, T., Azamsa, S. A. and Vafakhah, M. (2013). "Prediction of Alongshore Sediment Transport Rate Using Semi-Empirical Formulas and an Artificial Neural Networks (ANNs) model in Noor Coastal zone." *Journal of Marine Engineering* 9(17), 77–86.
- [8] Darama, Y., Selek, Z., Selek, B., Akgul, M. A. and Dagdeviren, M. (2019). "Determination of sediment deposition of Hasanlar Dam using bathymetric and remote sensing studies." *Natural Hazards* 97, 211–227.
- [9] Furnans, J. and Austin, B. (2008). "Hydrographic survey methods for determining reservoir volume." *Environmental Modelling & Software* 23(2), 139–146.
- [10] Sadeghian, A., Yari, S. and Najafi Alamdari, M. (2016). "Analysis of Sedimentation Trends in Bushehr Port Access Channels Using Precise Hydrographic Data." *Proceedings of the 2nd National Conference on Engineering and Information Technology*, Iran.
- [11] Tajfirouz, B., Saeidi, V., Khalili, H. and Nemati, M. H. (2022). "Volume and Rate Estimations of Sedimentation in Amirabad Port During Period 2018–2021." *Journal of Geoscience and Surveying Technology* 11(3), 155–123.
- [12] Autodesk. (2010). *AutoCAD Civil 3D 2010 User's Guide*. Autodesk Inc., San Rafael, CA.
- [13] Lee Rodgers, J. and Nicewander, W. A. (1988). "Thirteen ways to look at the correlation coefficient." *The American Statistician* 42(1), 59–66.



اندازه گیری تصحیحات



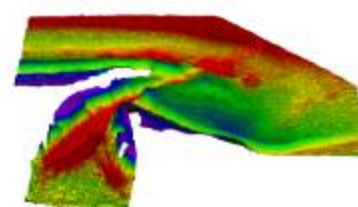
پردازش داده ها و
اعمال تصحیحات و
محاسبه x,y,z نقاط



انتقال داده های عمق
سنجی به سطح تراز MSL

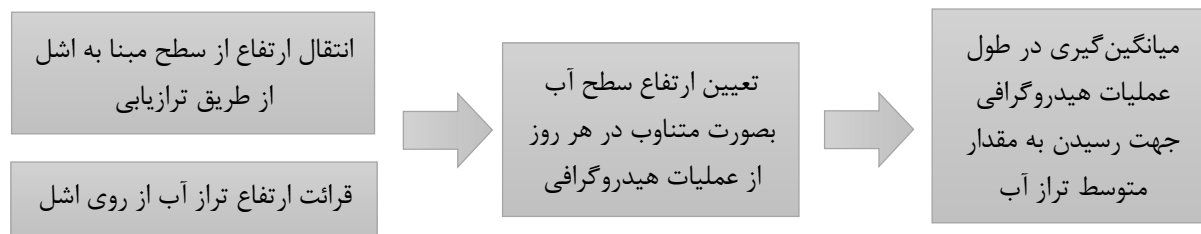


ساخت سطح با
استفاده از نقاط
نهایی



روندنما ۱ نمای کلی فرایند ساخت سطح بستر دریا

ضمیمه ۲



روندنما ۲ مراحل بدست آوردن متوسط تراز آب ML