

بررسی اثر جزر و مد بر فرایند رسوب گذاری در اسکله شماره ۳۸ بندر امام خمینی(ره)

تاجماه دهدشتی^{۱*}، امیر اشتری لرکی^۲، محمد فیاض محمدی^۳

*۱- نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک دریا- دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر- دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی - گروه فیزیک دریا

۲- استاد دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر- دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی- مدیر گروه فیزیک دریا

۳- استاد یار فیزیک دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر- دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی- گروه فیزیک دریا

*ایمیل نویسنده مسئول : dehdashtitajmah@gmail.com

تاریخ پذیرش : ۹۸/۰۸/۱۹

تاریخ دریافت : ۹۸/۰۶/۰۴

چکیده

پدیده انتقال رسوب یکی از مهمترین فرآیندهای ساحلی است که عمده عوامل محیطی موثر در ارتباط با آن شامل امواج، جریان‌ها، بادها و تغییر محیط سواحل توسط انسان است. در این تحقیق جریانهای جزرومدی و اثر آن‌ها بر انتقال رسوب در اسکله ۳۸ بندر امام مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور دو ایستگاه جهت اندازه گیری پارامترهای مختلف از جمله غلظت رسوب به فاصله ۲ کیلومتر در محدود مورد مطالعه انتخاب و طی دو دوره‌ی مهکشدن و کهکشدن اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که بیشینه غلظت میانگین رسوب هنگام مهکشدن در ایستگاه اول 0.42 kg/m^3 و کمینه مقدار آن 0.18 kg/m^3 است و در ایستگاه دوم بیشینه میانگین غلظت 0.43 kg/m^3 و کمینه مقدار آن 0.1 kg/m^3 است و همچنین در هنگام کهکشدن بیشینه غلظت میانگین رسوب در ایستگاه اول 0.37 kg/m^3 و کمینه غلظت میانگین رسوب تقریباً 0.2 kg/m^3 و در ایستگاه دوم بیشینه غلظت میانگین رسوب 0.4 kg/m^3 و کمینه آن 0.135 kg/m^3 است.

کلید واژه ها: "جزرومد"، "رسوب"، "اسکله شماره ۳۸ بندر امام"، "مهکشدن"، "کهکشدن"

Investigation Of The Impact Of Tidal Effects On The Sedimentation Process On The Dock Of Number 38 Bandar Imam Khomeini

*¹Tajmah Dehdashti , ²Amir Ashtari Larki Professor, ³ Mohammad Fayaz Mohammadi

*1. Master of Science in Physical Oceanography, Khorramshahr University of marine Science and Technology - Faculty of Marine Science and Oceanography

2. Professor of Khorramshahr University of Marine Science and Technology - Faculty of marine Science and Oceanography- Department of Physical Oceanography(Department Chair)

3. Professor of Khorramshahr University of Marine Science and Technology - Faculty of marine Science and Oceanography- Department of Physical Oceanography

*Email Address: dehdashtitajmah@gmail.com

Abstract

sediment transport is one of the most important coastal processes that most effective environmental factors in relation to it include waves , flows , winds , and changes of the coast environment by man . in this study, the tidal currents and their effect on sediment transport on the dock of 38 Bandar Imam were studied. for this purpose, two stations were selected to measure different parameters such as sediment concentration at 2 km distance in the study area and was measured in two periods of spring and neep. the results showed that the maximum mean sediment concentration (Mmsc) at the first station in spring was 0.42 kg/m^3 and the minimum value (mv) was 0.18 kg/m^3 and at the second station the Mmsc was 0.43 kg/m^3 and the mv was 0.1 kg/m^3 . also in neep the Mmsc at the first station was 0.37 kg/m^3 and the mv was approximately 0.2 kg/m^3 . at the second station Mmsc was 0.4 kg/m^3 and the mv was 0.135 kg/m^3 .

Keywords

"Tide", "sediment", "dock of 38 Bandar Imam", "spring", "neep"

۱. مقدمه

شده است. اعتبار مدل با داده های مشاهده شده شامل جریان جزر ومدی و غلظت رسوب معلق در نزدیکی بندر تایید شده است. مقادیر محاسبه شده نیز در توافق خوب با داده های اندازه گیری شده است. معلوم شده است جریان های جزر ومدی، غلظت رسوب معلق و تغییر شکل دریایی می تواند با موفقیت شبیه سازی شود. در نهایت یک طرح برای شبیه سازی تغییرات زمینه رسوب فعلی و معلق شبیه سازی گردیده است و تکامل دریایی با مدل پیش بینی شده است (Guo and Liu). در سال ۲۰۱۶ مطالعه "انتقال رسوب فراتر از منطقه گشت و گذار در امواج و جریان های دریایی غیر جزر ومد، مطالعه موردی لوبیاتو^۴ انجام شد. این مقاله مربوط به منطقه ساحلی شنی در لهستان (دریای بالتیک جنوبی) است و شامل مطالعات تجربی و نظری فرایندهای هیدرودینامیکی و لیتودینامیکی در منطقه ساحلی است که در نزدیک مرز دریایی منطقه گشت و گذار قرار دارد. بسترهای مختلفی به وسیله جریان ها در منطقه ایجاد شده است. مقاله امکان حمل بار رسوب فزاینده و احتمال وقوع زلزله در آبهای زیرزمینی را مورد بحث قرار داده است (Ostrowski and Stella, 2016) در سال ۲۰۱۶ مطالعه "رسوب گذاری ساحلی در یک سیستم گرمسیری در خلیج سپتیبای بُرزیل طی یک قرن گذشته" انجام شده است. در این مطالعه ماهیت رسوب گذاری و نرخ انباشت رسوب در خلیج سپتیبای، از طریق الگوی دانه بندی، توزیع رادیو شیمیایی طبیعی و چینه شناسی لرزه ای تحلیل و تفسیر شده است. نتیجه بررسی دانه بندی، پیشرفت صعودی رسوب در هسته ها و درصد سنگین تر در رسوبات سطحی را در سال ۱۹۹۶ نسبت به سال های قبل نشان داده است. نرخ رسوب گذاری بالا طی ۱۰۰ سال گذشته باعث شده است خط ساحلی در قسمت شمال خلیج حدود ۴۰۰ متر پیشروی داشته باشد و افزایش آشکار در نرخ انباشت و تمایل به رسوب گذاری در طول صد سال گذشته به نسبت دخالت انسان و فرسایش خاک داخلی، با توسعه اقتصادی، تسریع شده است (Vargas Borges and Nittrouer, 2016) در سال ۱۳۹۵ مطالعه "بررسی انتقال رسوب در خور ماهشهر" انجام شد. در این تحقیق با استفاده از اندازه گیری میدانی در دو ایستگاه و در دو دوره کهکشند و مهکشند، انتقال رسوب بررسی گردید. نتایج حاصله حاکی از این بود که جنس رسوبات بستر در ابتدای خور، رسی بوده و در دهانه خور، ماسه ای بود. بیشینه سرعت حدود ۰/۷ متر بر ثانیه و میزان شار رسوب نیز در دو ایستگاه ۴۱۳ کیلوگرم بر ثانیه و ۶۴۴ کیلوگرم بر ثانیه بدست آمد (عبادی فخر، ۱۳۹۵). در سال ۱۳۹۵ مطالعه "نقش و اهمیت رسوبات رودخانه بر رسوب گذاری در

مطالعات مربوط به رسوب گذاری و فرسایش مناطق ساحلی یکی از مهم ترین مواردی است که پیش از احداث بنادر مورد توجه قرار می گیرد به گونه ای که خطا در برآورد صحیح نرخ انتقال رسوب موازی ساحل ممکن است به کاهش طول عمر بندر و یا مرتفع بودن سازه های احداث شده منجر گردد. ته نشست رسوبات در محل ایجاد سازه های دریایی و ساحلی مانند باراندازها و بندرگاه ها نیز با مسائل خاص خود همراه است، لذا در این موارد، مطالعه رسوبات در محیط های ساحلی بسیار ضروری به نظر می رسد. علاوه بر این، ایجاد اسکله در بندرگاه بر رسوب گذاری تاثیر بسزایی دارد، لذا پایداری اسکله از اهمیت خاصی برخوردار خواهد بود. علی رغم مطالعات صورت گرفته، بررسی صحیح انتقال رسوب همچنان از مباحث پیچیده می باشد که در این میان، تغییرات جزر و مدی مهم ترین عامل به حساب می آید. در اکثر بنادر کشور، با پدیده رسوب گذاری یا رسوب برداری مواجه می باشیم که با توجه به هزینه بالای لایروبی، بررسی رژیم رسوب گذاری و عوامل آن در بنادر از اهمیت ویژه ای برخوردار است، لذا ضرورت مطالعه فرآیند رسوبگذاری در بندر امام بعنوان یکی از مهم ترین قطب های حمل و نقل منطقه ای و وسیع ترین منطقه ویژه اقتصادی به خوبی قابل توجیه است. هدف از انجام این تحقیق مطالعه و بررسی اثر جزر و مد بر فرآیند رسوب گذاری در اسکله تازه تاسیس شماره ۳۸ بندر امام خمینی (ره) با استفاده از اندازه گیری های میدانی است. در رابطه با این تحقیق تاکنون مطالعاتی انجام شده است که از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد: در سال ۲۰۱۸ مطالعه "اثرات محتمل جزر و مد و امواج در پویایی (دینامیک) کوتاه مدت رسوبات باتلاقی" انجام شد. برای درک دینامیک کوتاه مدت رسوب در باتلاق های نمکی، بررسی رسوب در اطراف ترکای و سنت انالان^۱ در جنوب غربی هلند مورد مطالعه قرار گرفتند. غلظت رسوب معلق (SSC) در طول چهار برش عرضی عمودی در طی ۹ دوره جزر ومدی سیلابی در ماه های مارچ و دسامبر ۲۰۱۳ اندازه گیری شد و در این مدت از دو نوع تله رسوب استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو SSC با سرعت باد در طی نمونه گیری رابطه معنی داری دارد. میزان رسوب و نسبت نگهداری به طور معنی داری با انرژی موج تجمعی در طول دوره اندازه گیری بستگی داشت (Zhang et al, 2018). در سال ۲۰۱۷ مطالعه "شبیه سازی سه بعدی جریان جزر و مدی و رسوب در بندرگاه آب های عمیق یانگ شان شانگهای" انجام شد. منطقه یانگ شان که در مجمع الجزایر کیکو^۲ واقع شده است، منطقه معمولی ساحلی با جزیره موتایی و کانال موتی است. در این مقاله، با استفاده از نمونه برداری از منطقه دریایی یانگ شان، یک مدل عددی سه بعدی از جریان های جزر و مدی و رسوب برای مطالعه تغییرات جریان جزر و مدی و رسوبات ایجاد

4- Qiqu

5- Lubiatowo

6- Sepetiba Bay

1- Rattekaai

2- sint Annalan

3- Oosterschelde

اسکله شماره ۳۸ بندر امام خمینی (ره) جهت تخلیه و بارگیری مواد نفتی ساخته شده است. این اسکله در موقعیت $33^{\circ} 27' 30''$ شمال و $48^{\circ} 11' 49''$ شرقی قرار دارد. اندازه گیری در دو ایستگاه در طرفین اسکله انجام شد، در جدول مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها آورده شده است.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها

ایستگاه	مختصات جغرافیایی ابتدای مقطع	مختصات جغرافیایی انتهای مقطع
St1	$30^{\circ} 27.483' N$ $49^{\circ} 11.981' E$	$30^{\circ} 27.602' N$ $49^{\circ} 11.854' E$
St2	$30^{\circ} 27.633' N$ $49^{\circ} 20.293' E$	$30^{\circ} 27.853' N$ $49^{\circ} 20.147' E$

به منظور تعیین زمان اندازه گیری‌های میدانی مورد نیاز، جدول پیش بینی جزر و مد از طریق سامانه Total Tide مطالعه و بررسی گردید و با توجه به شرایط جوی، دو دوره مهکشد^۳ و کهکشند^۴ در تاریخ‌های ۹۷/۳/۳ و ۹۷/۳/۹ جهت انجام عملیات میدانی انتخاب گردید. این عملیات در هر دوره به طور همزمان در دو ایستگاه ۱ و ۲ در دو طرف اسکله توسط دو تیم عملیات و دو فروند قایق انجام شد و طی آن داده‌های سرعت و جهت جریان، نمونه برداری از آب و برداشت نمونه رسوب بستر و سایر پارامترهای لازم توسط تجهیزات لازم انجام شد. فواصل مکانی $\frac{1}{4}$ ، $\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{4}$ مقطع عرض هر ایستگاه به عنوان نقاط اندازه گیری تعیین گردید و در هر نقطه داده‌ها برای سه لایه سطح $\frac{z}{h} = 0/1$ ، لایه میانی $\frac{z}{h} = 0/5$ و $\frac{z}{h} = 0/9$ عمق مورد نظر، h عمق از سطح تا بستر، عمق بدون بعد) استخراج گردید. در مجموع اندازه گیری در هر ایستگاه به مدت ۱۳ ساعت با گام‌های زمانی یک ساعته انجام شد. البته لازم به یادآوری است به منظور شروع عملیات اندازه گیری، مقدمات تهیه فرم‌های ثبت اندازه گیری‌ها، تهیه بطری به تعداد لازم جهت نگهداری نمونه‌های آب، مایک، تأمین طناب به طول کافی برای ارسال دستگاه‌های اندازه گیری به اعماق مورد نظر، تأمین دو فروند قایق و تیم عملیاتی نیز باید انجام شود. جزئیات بیشتر مراحل اندازه گیری به شرح ذیل می باشد:

۲-۲. شرح عملیات آزمایشگاهی

۲-۲-۱. تعیین غلظت رسوب معلق در نمونه آب

لوازم مورد نیاز جهت تعیین میزان رسوب معلق در آزمایشگاه عبارتند از: کاغذ صافی با مش مناسب، قیف شیشه ای، بشر مدرج، استوانه مدرج، ارلن، ترازو دیجیتال با حساسیت بالا (۰.۰۱ گرم)، آب مقطر، یک

بندر نوشهر^۵ توسط خاکپور و عجمی صورت گرفت. در این تحقیق پس از معرفی و بررسی وضعیت بندر نوشهر، برخی عوامل رسوب گذاری در بندر بیان شده است، سپس گزارش تحلیلی از میزان رسوب گذاری رودخانه ای اطراف بندر صورت گرفته است. با تخمین درصد آورد رسوبات توسط رودخانه‌های غرب بندر و بستر دریا، مشاهده شده است که رسوبات رودخانه ای بخصوص رودخانه چالوس، نقش عمده ای در رسوب گذاری در این بندر دارند(خاکپور و عجمی، ۱۳۹۵) و همچنین مطالعات دیگری مانند (Matthew, 2014)، (Qiao et al., 2018)، (Dongfeng et al., 2013) و (Rossi et al., 2016) در رابطه به این تحقیق تا کنون انجام شده است.

۲. مواد و روشها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

بندر امام خمینی در شمال غربی خلیج فارس و در انتهای آبراه خورموسی با موقعیت جغرافیایی سی درجه و بیست و شش دقیقه و چهل ثانیه شمالی و چهل و نه درجه و دو دقیقه شرقی در جنوب استان خوزستان قرار دارد و در حال حاضر با بیش از ۱۱ هزار هکتار مساحت بعنوان یکی از مهم ترین قطب های حمل و نقل منطقه ای و وسیع ترین منطقه ویژه اقتصادی شناخته می شود. بندر امام خمینی از پتانسیل طبیعی کانال خورموسی بهره مند می باشد و پذیرای کشتی های عظیم الجثه با طول و آبخور بسیار زیاد و ظرفیت حدود ۱۲۰ هزار تن می باشد که تعداد قابل توجهی از آنها نیز حامل کالاهای خطرناک نظیر گازهای متراکم، مواد نفتی و مواد پتروشیمی هستند. این بندر دارای ۴۰ پست اسکله می باشد که ۴ اسکله آن با عمق آبخور بین ۱۴-۱۰ متر مخصوص مواد نفتی است (گزارش بندر امام خمینی، ۱۳۹۵). در این تحقیق فرایند رسوب گذاری در اسکله شماره ۳۸ که یک اسکله نفتی است، مطالعه و بررسی می شود. جزرومد در حوضچه بندر امام بصورت مختلط می باشد و حداکثر رنج جزرومد حدود ۶ متر می باشد(گزارش بندر امام خمینی، ۱۳۹۵). از این رو جزر و مد از نوع بزرگ^۱ می باشد، **Error! Reference source not found.**(شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

³- Neap Tide

¹- Macrotidal

²- Spring Tide

۲-۲-۲. شرح کار

نمونه های آبی که برداشت شده بود، به آزمایشگاه منتقل شدند. مراحل تعیین غلظت رسوبات معلق بر اساس دستورالعمل کتاب روش های استاندارد^۱ انجام شد. ابتدا ظروف مورد استفاده توسط آب مقطر شستشو شدند، سپس کاغذ صافی ها به شکل دایره برش داده شده، یکی یکی شماره گذاری شده و به مدت یک ساعت در دستگاه گرم کن با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند تا رطوبت احتمالی آن ها گرفته شود و پس از تعادل دمایی با محیط توسط ترازوی دیجیتال وزن آن ها اندازه گیری شده و در دفتر ثبت گردیدند. سپس کاغذ صافی ها متناسب با شکل و اندازه قیف های موجود فرم داده شد و قیف ها روی ارلن قرار گرفتند. از طرفی به میزان ۱۰۰ سانتی متر مکعب از نمونه که توسط استوانه مدرج برداشت شده بود، در کاغذ صافی ریخته شد تا به مرور آب صاف شده به داخل ارلن هدایت شود و رسوب در صافی جمع گردد. پس از مدتی کاغذ صافی ها در سینی گرم کن قرار داده شد تا پس از حدود ۸ الی ۱۰ ساعت در گرمکن با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد ، خوب رطوبت زدایی شوند . کاغذ صافی ها مجدداً توزین شده و جرم آن ها ثبت گردید . بدین وسیله جرم خالص رسوب نمونه ها از کم کردن جرم های مرحله اول و دوم کاغذ صافی بدست آمده است. به منظور تعیین جنس و دانه بندی رسوبات بستر، مقداری از رسوبات ایستگاه ها در ظرف شیشه ای قرار داده شد و در دستگاه گرم کن، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت و کاملاً خشک شد، سپس به میزان ۱۰۰ گرم از نمونه رسوب توسط ترازو توزین گردید و در بشر ریخته شد بعد ۲۵۰ سانتی متر مکعب آب و ۱۰ سانتی متر مکعب محلول سدیم هگزامتافسفات (کالگن - جهت جداسازی دانه های رسوب از همدیگر) به آن اضافه شد و حدود ۱۰ الی ۱۵ دقیقه به هم زده شد و به مدت ۱۲ ساعت به حال خود گذاشته شد. محلول در الک ۰/۰۶۳ میلی متری ریخته شد و به دقت با فشار آب خوب شسته شد . تمام مواد باقی مانده از الک خارج و در ظرف شیشه ای به مدت ۱۰ ساعت در گرم کن و در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد. سپس سری الک ها به ترتیب از بالا به پائین به اندازه های ۴ ، ۲ ، ۱ ، ۰/۵ ، ۰/۲۵ ، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۶۳ روی هم قرار دادند و مواد خشک شده در الک بالایی ریخته شد و با تکان های پیوسته عبور داده شد. سپس رسوبات باقی مانده در هر الک به دقت خارج گردید و وزن شد. با توجه به اینکه جمع وزن رسوبات مانده و شسته نشده کمتر از ۵۰ درصد وزن رسوب اولیه بود، مجدداً نمونه های بستر توسط دستگاه دانه بندی لیزری انجام شد. به این ترتیب وزن و درصد حضور هر دانه رسوبی در نمونه محاسبه شد.

۳. نتایج تحقیق

۳-۱. تغییرات میانگین غلظت هنگام مهکشدن: شکل ۵ و شکل ۶، تغییرات میانگین غلظت و سرعت متوسط را در دو ایستگاه نشان

دستگاه گرم کن؛ دفتر ثبت ، پی ست و در شکل ۲ لوازم مورد نیاز جهت تعیین میزان رسوب معلق نشان داده شده است.



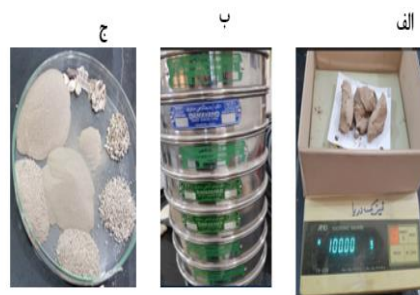
شکل ۲- لوازم مورد نیاز جهت تعیین میزان رسوب معلق

تعیین دانه بندی ذرات معلق توسط دستگاه دانه بندی لیزری Analytste 22 Compact انجام شد. این دستگاه برای تحلیل اندازه ذرات به کار می رود و در محدوده ۰.۳ تا ۳۰۰ میکرو متر عمل می کند. دستگاه مورد اشاره با بهره گیری از فناوری تفرق لیزر روشی استاندارد را جایگزین راهکارهای سنتی کرده است شکل ۳ دستگاه دانه بندی لیزری را نشان می دهد.



شکل ۳ دستگاه دانه بندی لیزری Compact

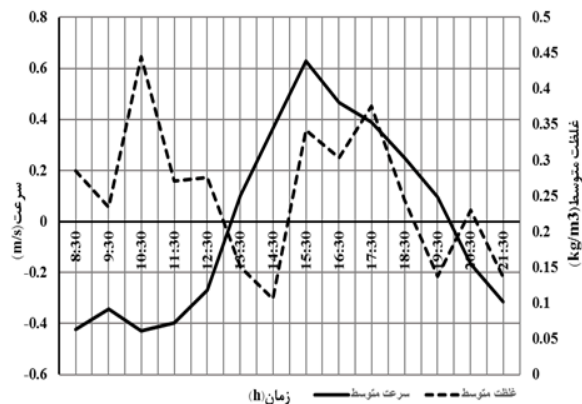
لوازم مورد نیاز : ترازوی دیجیتال با (با دقت ۰.۰۱/ گرم)، دستگاه گرم کن، ظرف شیشه ای، یک سری الک، محلول سدیم هگزامتافسفات. در شکل ۴ لوازم مورد نیاز جهت تعیین دانه بندی و نوع رسوبات بستر آورده شده است.



شکل ۴- لوازم مورد نیاز: (الف) ترازو ، (ب) الک ، (ج) ظرف شیشه ای

²- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

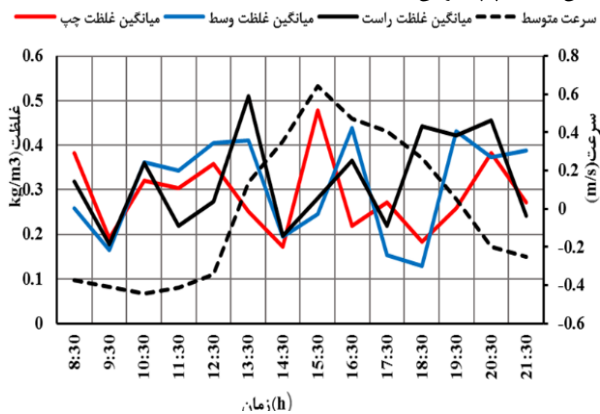
¹- Oven



شکل ۶- تغییرات میانگین غلظت و سرعت متوسط ایستگاه ۲

۲-۳. تغییرات میانگین غلظت هنگام مهکشند در فواصل ۰٫۲۵، ۰٫۵ و ۰٫۷۵ عرض مقطع

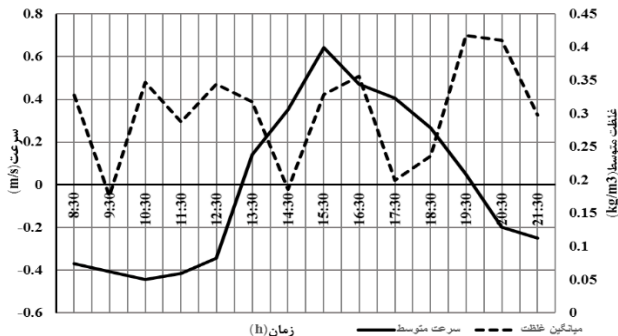
شکل ۷ و شکل ۸ به منظور مشاهده و بررسی تغییرات غلظت در بخش‌های چپ و وسط و راست عرض ایستگاه‌های اندازه‌گیری و مقایسه با تغییرات سرعت در آن نقاط می‌باشد. در ایستگاه ۱، آهنگ نوسانات غلظت تا حدودی از تغییرات سرعت تبعیت می‌کند. در زمان ایستایی آب هم شاهد افزایش نسبی غلظت به ویژه در سمت راست عرض هستیم. نکته قابل توجه در ایستگاه ۱، مشاهده بیشینه غلظت در سمت چپ عرض ایستگاه، یعنی سمت اسکله در زمان بیشینه سرعت جزر (ساعت ۱۵:۳۰) می‌باشد و شاید این به دلیل حضور رسوب معلق انتقال یافته از نواحی کم عمق سمت چپ عرض ایستگاه ۲ باشد.



شکل ۷- تغییرات میانگین غلظت در سمت چپ، وسط و راست عرض ایستگاه ۱ و سرعت متوسط

در ایستگاه ۲، تغییرات غلظت در سه نقطه مورد نظر عرض مقطع به خوبی از تغییرات سرعت پیروی می‌کند. در زمان ایستایی آب کاهش قابل ملاحظه غلظت رسوب معلق مشاهده می‌شود. در زمان‌های بیشینه سرعت در مد و جزر در ساعت‌های ۱۰:۳۰ و ۱۵:۳۰ تا ۱۶:۳۰ غلظت در

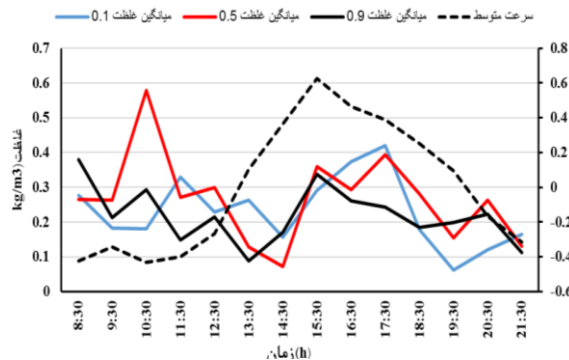
می‌دهد. چنانچه در فصل ۳ توضیح داده شد، میزان شار رسوب معلق در هریک از اجزاء نه گانه سطح مقطع اندازه‌گیری، از حاصل ضرب غلظت رسوب آن جزء در دبی مربوطه بدست می‌آید. لذا با تقسیم شار رسوب کل (مجموع شار اجزاء نه گانه سطح مقطع) بر دبی کل هر مقطع (مجموع دبی اجزاء نه گانه سطح مقطع)، غلظت میانگین برای سطح مقطع در هر گام زمانی محاسبه شد. با مشاهده‌ی شکل ۵ در ایستگاه ۱، غلظت رسوب معلق بالاترین مقادیر را در زمان‌های بیشینه سرعت یعنی ساعات ۱۰:۳۰ تا ۱۵:۳۰ در مد و ۱۶:۳۰ تا ۱۹:۳۰ در جزر داشته است، البته در زمان‌های مد کامل (۱۳:۳۰) و به ویژه جزر کامل (۱۹:۳۰) نیز روند افزایشی داشته است. در مجموع بیشینه غلظت میانگین 0.42 kg/m^3 و کمینه مقدار آن 0.18 kg/m^3 بوده است. شکل ۶ در ایستگاه ۲، بالاترین مقادیر برای غلظت رسوب معلق را در زمان‌های بیشینه سرعت یعنی ساعات ۱۰:۳۰ تا ۱۶:۳۰ در جزر نشان می‌دهد. البته در زمان‌های مد کامل (۱۳:۳۰) و جزر کامل (۱۹:۳۰) نیز به میزان کمی نوسان افزایشی داشته است. در مجموع بیشینه غلظت میانگین 0.43 kg/m^3 و کمینه مقدار آن 0.1 kg/m^3 بوده است. آنچه از بررسی نمودارهای میانگین غلظت در ایستگاه‌های ۱ و ۲ حاصل می‌شود این است که تغییرات رسوب معلق در بیشتر ساعات با تغییرات سرعت متوسط رابطه‌ای مستقیم دارد. در زمان‌های آب راکد؛ نیز غلظت دارای بیشینه‌هایی می‌باشد و شاید دلیل آن فرصت یافتن ذرات معلق برای رسوب و ته‌نشست در شرایط سرعت کم و سکون آب باشد. غلظت در ایستگاه ۲ نسبت به ایستگاه ۱ بیشتر بوده و نوسانات غلظت بار معلق در ایستگاه ۱ نسبت به ایستگاه ۲ ملایم‌تر است و شاید این به دلیل کمتر بودن عمق در ایستگاه دو باشد. تاخیر بیشینه رسوب با بیشینه سرعت در جزر هم در ایستگاه‌ها بخصوص در ایستگاه ۲ قابل توجه است. این پدیده ممکن است به دلیل وجود شاخه فرعی کم عمق خور در نزدیکی ایستگاه ۲ (خارج از محدوده‌ی اندازه‌گیری) باشد که در زمان مد زیر آب می‌رود و در زمان جزر به طور قابل ملاحظه کم آب می‌شود و با توجه به اینکه این منطقه کم عمق می‌تواند از عوامل ایجاد رسوب باشد، در هنگام جزر انتقال رسوب با تاخیر نسبت به تغییرات سرعت انجام شود.



شکل ۵- تغییرات میانگین غلظت و سرعت متوسط ایستگاه ۱

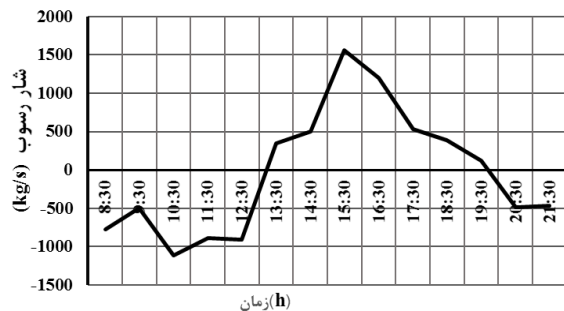
¹ slack water

در زمان های آب ایستا، هم در جزر و هم در مد، در هر سه عمق ضمن روند کاهشی در غلظت، یک مقدار کمینه مشاهده می شود و به نظر می رسد به دلیل عمق کمتر در این ایستگاه، تغییرات غلظت تاثیر پذیری بیشتری از تغییرات سرعت دارد.

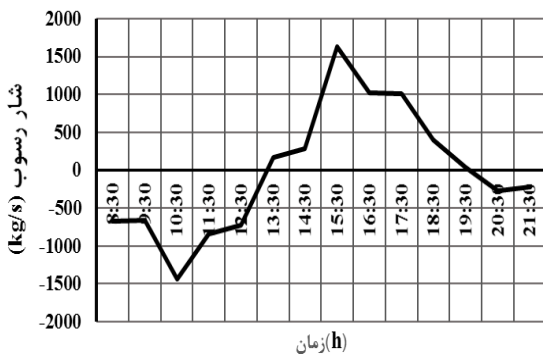


شکل ۱۰- تغییرات میانگین غلظت در عمق های بدون بعد ۰/۱ و ۰/۵ و ۰/۹ و سرعت متوسط ایستگاه ۲

در شکل ۱۱ و شکل ۱۲ تغییرات شار رسوب را در یک دوره اندازه گیری در دو ایستگاه نمایش داده شده است. به تبعیت از علامت سرعت، شار در زمان مد با علامت منفی و در زمان جزر با علامت مثبت نشان داده شده است. با توجه به اینکه مقادیر دبی در دو ایستگاه برابر نبوده است، لذا جهت تحلیل مقایسه ای شار، دبی ایستگاه اول برای ایستگاه دو هم لحاظ شده است.

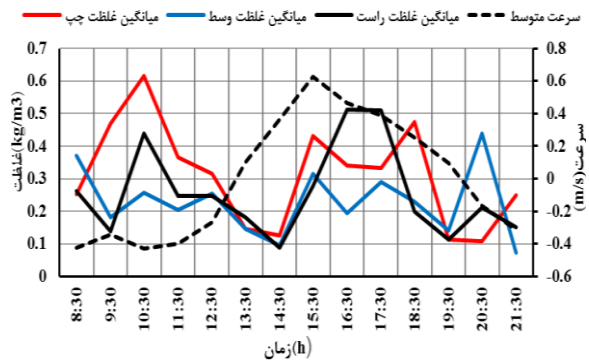


شکل ۱۱- تغییرات شار رسوب معلق در ایستگاه ۱



شکل ۱۲- تغییرات شار رسوب معلق در ایستگاه ۲

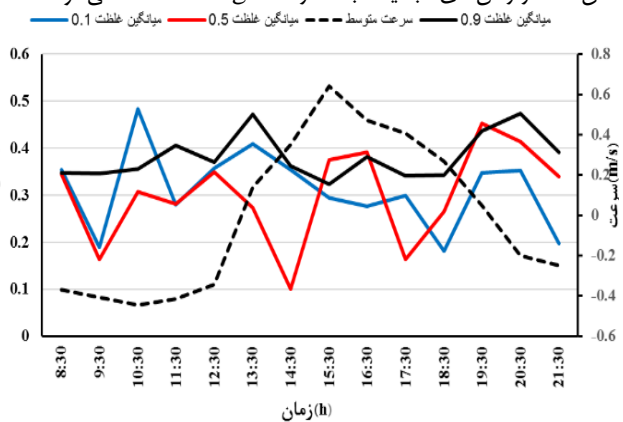
قسمت های راست و چپ بیشتر از وسط عرض است و شاید این به دلیل عمق کم در چپ و حضور شاخه فرعی کم عمق خور در سمت راست باشد.



شکل ۸- تغییرات میانگین غلظت در سمت چپ، وسط و راست عرض ایستگاه ۲ و سرعت متوسط

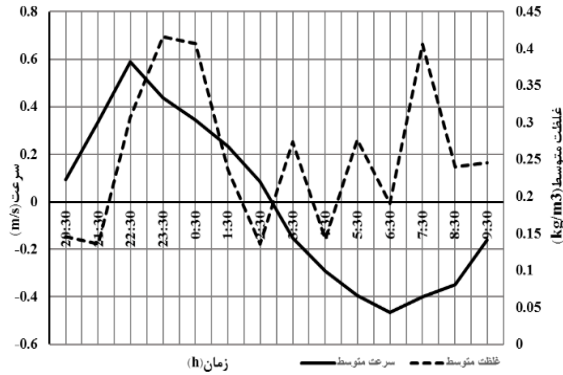
۳-۳. تغییرات میانگین غلظت در مهکشند در عمق های بدون بعد

شکل ۹ و شکل ۱۰ تغییرات غلظت بار معلق را در عمق های بدون بعد ۰/۱ ، ۰/۵ ، ۰/۹ در دو ایستگاه اندازه گیری نشان می دهد. در هر ایستگاه، آهنگ نوسانات غلظت بار معلق در سه عمق بدون بعد تقریباً مشابه است و با تغییرات سرعت هم هماهنگی دارد. اما در هر ایستگاه ویژگی های خاصی هم مشاهده می شود. در ایستگاه ۱، در زمان بیشینه سرعت در (مد ساعت ۱۰:۳۰)، میانگین غلظت در عمق ۰/۱ با مقدار 0.48 kg/m^3 بیشینه است و در زمان بیشینه سرعت در جزر (۱۵:۳۰)، میانگین غلظت در عمق ۰/۵ در حدود 0.39 kg/m^3 بیشینه است. بیشینه غلظت در عمق ۰/۹، در زمان های آب ایستا با مقدار 0.5 kg/m^3 مشاهده می شود.



شکل ۹- تغییرات میانگین غلظت در عمق های بدون بعد ۰/۱ ، ۰/۵ و ۰/۹ و سرعت متوسط ایستگاه ۱

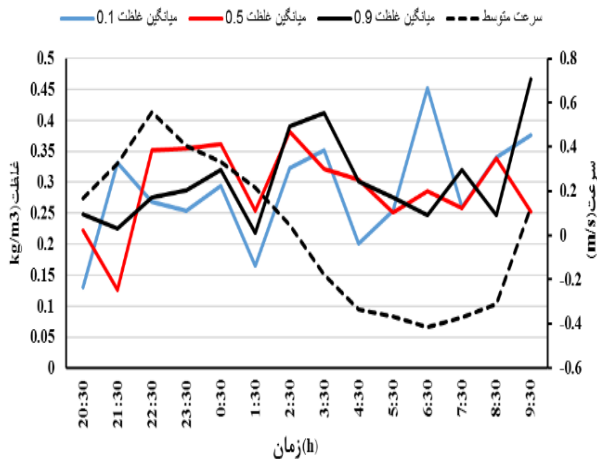
در ایستگاه ۲، در زمان بیشینه سرعت در (مد ساعت ۱۰:۳۰)، میانگین غلظت در عمق ۰/۵ با مقدار 0.55 kg/m^3 بیشینه است و در زمان بیشینه سرعت در جزر (۱۵:۳۰)، در هر سه عمق ضمن روند افزایش در غلظت، یک غلظت نسبتاً مشابه در حدود 0.35 kg/m^3 مشاهده می شود.



شکل ۱۴- تغییرات میانگین غلظت و سرعت متوسط ایستگاه ۲

۳-۵. تغییرات میانگین غلظت در عمق های بدون بعد در کهکشد

شکل ۱۵ و شکل ۱۶ تغییرات غلظت بار معلق را در عمق های بدون بعد ۰/۱ ، ۰/۵ و ۰/۹ در دو ایستگاه اندازه گیری هنگام کهکشد نشان می دهد. در هر ایستگاه، آهنگ نوسانات غلظت بار معلق در سه عمق بدون بعد تقریباً مشابه است و با تغییرات سرعت هماهنگی دارد، اما در هر ایستگاه ویژگی های خاصی هم مشاهده می شود. بر اساس شکل ۱۵ ایستگاه ۱، در زمان بیشینه سرعت در جزر (ساعت ۲۲:۳۰ تا ۲۳:۳۰)، غلظت بیشینه در عمق ۰/۵ با مقدار 0.35 kg/m^3 مشاهده شده است. در زمان بیشینه سرعت در مد (ساعت ۶:۳۰)، غلظت در عمق بدون بعد ۰/۱ با مقدار 0.45 kg/m^3 ، بیشینه است. کمی پس از زمان های آب ایستا در جزر و مد، عمق بدون بعد ۰/۹، با مقادیر 0.41 kg/m^3 تا 0.47 kg/m^3 دارای بیشترین غلظت می باشد.



شکل ۱۵- تغییرات میانگین غلظت در عمق های بدون بعد ۰، ۰،۵ و ۰،۹ و سرعت متوسط ایستگاه ۱

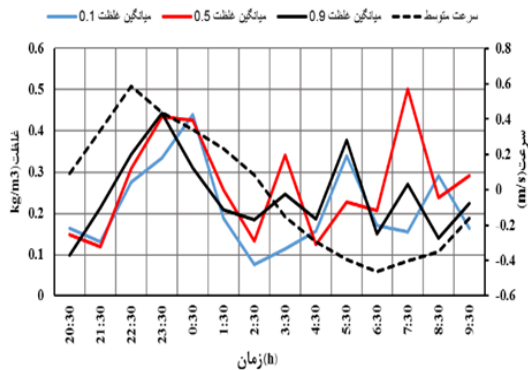
۳-۴. تغییرات میانگین غلظت هنگام کهکشد

شکل ۱۳ و **Error! Reference source not found.** تغییرات میانگین غلظت و سرعت متوسط را در دو ایستگاه هنگام کهکشد نشان می دهد. بر اساس شکل ۱۳ در ایستگاه ۱، غلظت رسوب معلق، بالاترین مقادیر را در زمان بیشینه سرعت یعنی ساعت ۲۲:۳۰ در جزر و ۲:۳۰ در زمان ایستابی آب در جزر داشته است. در مجموع بیشینه غلظت میانگین 0.37 kg/m^3 - 0.34 kg/m^3 می باشد. بر اساس شکل ۱۴ در ایستگاه ۲، غلظت رسوب معلق بالاترین مقادیر را با ساعتی تاخیر زمانی نسبت به بیشینه سرعت یعنی ساعات ۲۳:۳۰ در جزر و ۷:۳۰ در زمان مد دارد. در زمان هایی که سرعت پایین است، مقدار غلظت بطور قابل توجهی کم شده است. کلاً بیشینه غلظت میانگین در ایستگاه ۲، 0.42 kg/m^3 می باشد. آنچه از بررسی نمودارهای میانگین غلظت در شکل ۱۳ و شکل ۱۴ حاصل می شود این است که تغییرات رسوب معلق در بیشتر ساعات با تغییرات سرعت متوسط رابطه ای مستقیم دارد. در زمان های آب راکد، نیز در ایستگاه ۱ غلظت دارای بیشینه است. غلظت در ایستگاه ۲ نسبت به ایستگاه ۱ بیشتر بوده و نوسانات غلظت بار معلق در ایستگاه ۱ نسبت به ایستگاه ۲ ملایم تر است. تاخیر بیشینه رسوب با بیشینه سرعت در جزر در ایستگاه ۲ قابل توجه است. این پدیده ممکن است به دلیل وجود شاخه فرعی کم عمق خور در نزدیکی ایستگاه ۲ (خارج از محدوده ی اندازه گیری) باشد که در زمان مد زیر آب می رود و در زمان جزر به طور قابل ملاحظه کم آب می شود و با توجه به اینکه این منطقه کم عمق می تواند از عوامل ایجاد رسوب باشد، در هنگام جزر انتقال رسوب از این شاخه به سمت ایستگاه ۲، با تاخیر نسبت به تغییرات سرعت انجام می شود.



شکل ۱۳- تغییرات میانگین غلظت و سرعت متوسط ایستگاه ۱

بر اساس شکل ۱۸ در ایستگاه ۲، تغییرات غلظت در فواصل مدنظر عرض مقطع به خوبی از تغییرات سرعت پیروی می کند. در زمان ایستایی آب، غلظت رسوب معلق کاهش می یابد. در زمان های بیشینه سرعت در جریان مد و جزر، غلظت در قسمت های راست و چپ بیشتر از وسط عرض است و شاید این به دلیل عمق کم در چپ و حضور شاخه فرعی کم عمق خور در سمت راست باشد.



شکل ۱۸- تغییرات میانگین غلظت در عمق های بدون بعد ۰/۱ ، ۰/۵ و ۰/۹ و سرعت متوسط ایستگاه ۲

شکل ۱۹ و شکل ۲۰ تغییرات شار رسوب را در یک دوره اندازه گیری در زمان کهکشند برای دو ایستگاه نمایش می دهند. با توجه به اینکه مقادیر دبی در دو ایستگاه برابر نبوده لذا جهت تحلیل مقایسه ای شار، دبی ایستگاه ۱ برای ایستگاه دو هم لحاظ شده است.

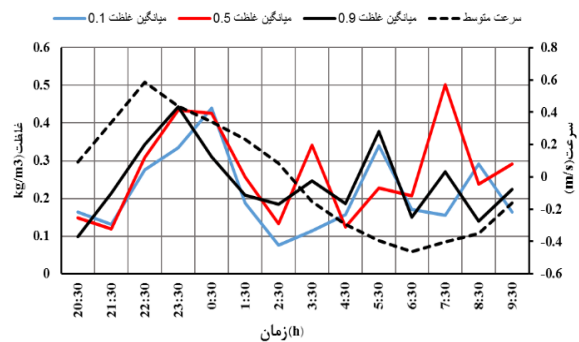


شکل ۱۹- تغییرات شار رسوب معلق در ایستگاه ۱



شکل ۲۰- تغییرات شار رسوب معلق در ایستگاه ۲

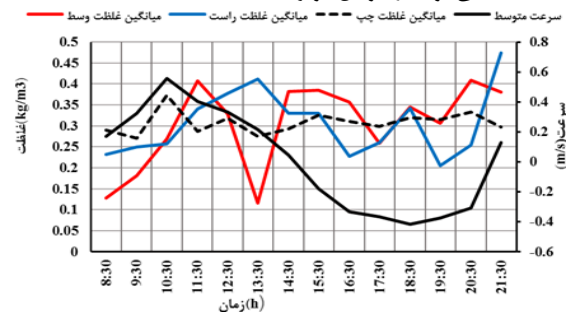
بر اساس شکل ۱۶ در ایستگاه ۲، در زمان بیشینه سرعت در جزر، غلظت در هر سه عمق با مقدار 0.44 kg/m^3 بطور تقریباً یکنواخت نرخ بالایی دارد و این آشفتگی و غلظت بالا در هر سه لایه سطحی (۰/۱)، میانی (۰/۵) و عمیق (۰/۹) می تواند اثر سرعت بالا در زمان جریان جزر و عمق کم در این ایستگاه باشد. یک ساعت بعد از زمان بیشینه سرعت در مد (۷:۳۰)، بیشینه غلظت در عمق بدون بعد ۰/۵ با مقدار 0.5 kg/m^3 مشاهده می شود. در زمان های آب ایستا، هم در جزر و هم در مد، در هر سه عمق، غلظت روند کاهشی دارد و به نظر می رسد به دلیل عمق کمتر در این ایستگاه، تغییرات غلظت تاثیر پذیری بیشتری از تغییرات سرعت دارد.



شکل ۱۶- تغییرات میانگین غلظت در عمق های بدون بعد ۰/۱ ، ۰/۵ و ۰/۹ و سرعت متوسط ایستگاه ۲

۳-۶ تغییرات میانگین غلظت هنگام کهکشند در فواصل ۰،۲۵ ، ۰،۵ و ۰،۷۵ عرض مقطع

ترسیم نمودار شکل ۱۷ و شکل ۱۸ به منظور مشاهده و بررسی تغییرات غلظت در سمت های چپ، وسط و راست عرض ایستگاه های اندازه گیری و مقایسه با تغییرات سرعت در کهکشند در آن نقاط می باشد. در ایستگاه ۱، تغییرات غلظت تا حدودی از تغییرات سرعت تبعیت می کند. در زمان ایستایی آب، افزایش نسبی غلظت به ویژه سمت راست مشاهده می شود. در زمان بیشینه سرعت جزر (ساعت ۲۲:۳۰)، غلظت در سمت چپ عرض ایستگاه، یعنی سمت اسکله دارای بیشترین مقدار می باشد که حضور رسوب معلق انتقال یافته از نواحی کم عمق سمت چپ عرض ایستگاه ۲ می تواند از عوامل موثر باشد.



شکل ۱۷- تغییرات میانگین غلظت در سمت چپ، وسط و راست عرض ایستگاه ۱ و سرعت متوسط

۴. بحث و نتیجه گیری

آنچه از بررسی نمودارهای میانگین غلظت در ایستگاه های ۱ و ۲ در مهکشند حاصل می شود این است که تغییرات رسوب معلق در بیشتر ساعات با تغییرات سرعت متوسط رابطه ای مستقیم دارد. در زمان های آب راکد، نیز غلظت دارای بیشینه هایی است و شاید دلیل آن فرصت یافتن ذرات معلق برای رسوب و ته نشست در شرایط سرعت کم و سکون آب باشد. غلظت در ایستگاه ۲ نسبت به ایستگاه ۱ بیشتر بوده و نوسانات غلظت بار معلق در ایستگاه ۱ نسبت به ایستگاه ۲ ملایم تر است و شاید این به دلیل کمتر بودن عمق در ایستگاه دو باشد. تاخیر بیشینه رسوب با بیشینه سرعت در جزر هم در ایستگاه ها بخصوص در ایستگاه ۲ قابل توجه است. این پدیده ممکن است به دلیل وجود شاخه فرعی کم عمق خور در نزدیکی ایستگاه ۲ (خارج از محدوده ی اندازه گیری) باشد که در زمان مد زیر آب می رود و در زمان جزر به طور قابل ملاحظه کم آب می شود و با توجه به اینکه این منطقه کم عمق می تواند از عوامل ایجاد رسوب باشد، در هنگام جزر انتقال رسوب با تاخیر نسبت به تغییرات سرعت انجام می شود. در ایستگاه ۱، آهنگ نوسانات غلظت تا حدودی از تغییرات سرعت تبعیت می کند. در زمان ایستایی هم شاهد افزایش نسبی غلظت به ویژه در سمت راست عرض هستیم. نکته قابل توجه در ایستگاه ۱، مشاهده بیشینه غلظت در سمت چپ عرض ایستگاه، یعنی سمت اسکله در زمان بیشینه سرعت جزر (ساعت ۱۵:۳۰) می باشد و شاید این به دلیل حضور رسوب معلق انتقال یافته از نواحی کم عمق سمت چپ عرض ایستگاه ۲ باشد. در ایستگاه ۲ در زمان های بیشینه ی سرعت در مد و جزر در ساعت های ۱۰:۳۰ و ۱۵:۳۰ تا ۱۶:۳۰ غلظت در سمت های راست و چپ بیشتر از وسط عرض است و شاید این به دلیل عمق کم در چپ و حضور شاخه فرعی کم عمق خور در سمت راست باشد. در هر ایستگاه، آهنگ نوسانات غلظت بار معلق در سه عمق بدون بعد تقریباً مشابه است و با تغییرات سرعت هم هماهنگی دارد، لیکن در هر ایستگاه ویژگی های خاصی هم مشاهده می شود. در زمان های آب ایستا، هم در جزر و هم در مد، در هر سه عمق ضمن روند کاهشی در غلظت، یک مقدار کمینه مشاهده مشاهده می شود و به نظر می رسد به دلیل عمق کمتر در این ایستگاه، تغییرات غلظت تاثیر پذیری بیشتری از تغییرات سرعت دارد. در ایستگاه ۱، هنگام مهکشند تغییرات غلظت تا حدودی از تغییرات سرعت تبعیت می کند. در زمان ایستایی، افزایش نسبی غلظت به ویژه در سمت راست مشاهده می شود. در ایستگاه ۲ هنگام مهکشند در زمان ایستایی، غلظت رسوب معلق کاهش مییابد. در زمان های بیشینه ی سرعت در جریان مد و جزر، غلظت در سمت های راست و چپ بیشتر از وسط عرض است و شاید این به دلیل عمق کم در چپ و حضور شاخه فرعی کم عمق خور در سمت راست باشد. در مجموع هنگام مهکشند در ایستگاه ۱، بیشینه

غلظت میانگین 0.42 Kg/m^3 و کمینه مقدار آن 0.18 kg/m^3 بوده است و در ایستگاه ۲ بیشینه غلظت میانگین 0.43 Kg/m^3 و کمینه مقدار آن 0.1 kg/m^3 بوده است. نکته قابل توجه در ایستگاه ۱، هنگام مهکشند مشاهده بیشینه غلظت در سمت چپ عرض ایستگاه، یعنی سمت اسکله در زمان بیشینه سرعت جزر (ساعت ۱۵:۳۰) می باشد و شاید این به دلیل حضور رسوب معلق انتقال یافته از نواحی کم عمق سمت چپ عرض ایستگاه ۲ باشد و در ایستگاه دوم غلظت در سمت های راست و چپ بیشتر از وسط و عرض است و شاید این به دلیل عمق کم در چپ و حضور شاخه فرعی کم عمق خور در سمت راست باشد. هنگام مهکشند در ایستگاه ۱، در زمان بیشینه سرعت در مد (ساعت ۱۰:۳۰)، میانگین غلظت در عمق ۰/۱ با مقدار 0.48 kg/m^3 بیشینه است و در زمان بیشینه سرعت در جزر (ساعت ۱۵:۳۰)، میانگین غلظت در عمق ۰/۵ در حدود 0.39 kg/m^3 بیشینه است. بیشینه غلظت در عمق ۰/۹، در زمان های آب ایستا با مقدار 0.5 kg/m^3 مشاهده می شود. در ایستگاه ۲، در زمان بیشینه سرعت در مد (ساعت ۱۰:۳۰)، میانگین غلظت در عمق ۰/۵ با مقدار 0.55 kg/m^3 بیشینه است و در زمان بیشینه سرعت در جزر (ساعت ۱۵:۳۰)، در هر سه عمق ضمن روند افزایش در غلظت، یک غلظت نسبتاً مشابه در حدود 0.35 kg/m^3 مشاهده می شود. هنگام مهکشند در ایستگاه ۱، در زمان بیشینه سرعت در جزر (ساعت ۲۲:۳۰ تا ۲۳:۳۰)، غلظت بیشینه در عمق ۰/۵ با مقدار 0.35 kg/m^3 مشاهده شده است و در زمان بیشینه سرعت در مد (ساعت ۶:۳۰)، غلظت در عمق بدون بعد ۰/۱، با مقدار 0.45 kg/m^3 بیشینه است. کمی پس از زمان های آب ایستا در جزر و مد، عمق بدون بعد ۰/۹، با مقادیر 0.41 kg/m^3 تا 0.47 kg/m^3 دارای بیشترین غلظت می باشد. در ایستگاه ۲ هنگام مهکشند، در زمان بیشینه سرعت در جزر، غلظت در هر سه عمق با مقدار 0.44 kg/m^3 بطور تقریباً یکنواخت نرخ بالایی دارد و این آشفتگی و غلظت بالا در هر سه لایه سطحی (۰/۱)، میانی (۰/۵) و عمیق (۰/۹) می تواند در اثر سرعت بالا در زمان جریان جزر و عمق کم در این ایستگاه باشد. یک ساعت بعد از زمان بیشینه سرعت در مد (۷:۳۰)، بیشینه غلظت در عمق بدون بعد ۰/۵ با مقدار 0.5 kg/m^3 مشاهده می شود. در ایستگاه ۱ هنگام مهکشند در زمان بیشینه سرعت جزر (ساعت ۲۲:۳۰)، غلظت در سمت چپ عرض ایستگاه، یعنی سمت اسکله دارای بیشترین مقدار است که حضور رسوب معلق انتقال یافته از نواحی کم عمق سمت چپ عرض ایستگاه ۲ می تواند از عوامل موثر باشد و در ایستگاه دوم هنگام مهکشند در زمان های بیشینه ی سرعت در جریان مد و جزر، غلظت در سمت های راست و چپ بیشتر از وسط عرض است و شاید این به دلیل عمق کم در چپ و حضور شاخه فرعی کم عمق خور در سمت راست باشد.

منابع

- عبادی فخر ، ح. ۱۳۹۵. بررسی انتقال رسوب در خور ماهشهر. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.
- خاکپور، ابو عجمی، م. ۱۳۹۵. نقش و اهمیت رسوبات رودخانه بر رسوب گذاری در بندر نوشهر. 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 و کاربردی.
- "گزارش بندر امام خمینی" ۱۳۹۵، بندر امام خمینی.
- Zhang, G.-j., et al. (2017). The water and sediment characteristics numerical simulation of dig-in basin in strong tidal estuary. Civil, Architecture and Environmental Engineering Volume 2, CRC Press: 1095-1100.
- Matthew T., 2014. Suspended Sediment Sampling, School of Geography, Politics and Sociology, Newcastle University, British Society for Geomorphology, Geomorphological Techniques, Chap. 3, Sec. 3.6 ISSN 2047-0371.
- Dongfeng X, Shu G, Zhengbing W. 2013. Numerical modeling of tidal currents, sediment transport and morphological evolution in Hangzhou Bay. China 28:316.
- Guo C-S, Liu D-B. 3D Simulation of Tidal Current and Sediment in the Yangshan Deep-Water Harbor of Shanghai. In: World Environmental and Water Resources Congress 2017. p 34-38.
- Ostrowski R, Stella M. 2016. Sediment transport beyond the surf zone under waves and currents of the non-tidal sea: Lubiatowo (Poland) case study. Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics 63:63-77.
- 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.
- Rossi VM, Kim W, Leva López J, Edmonds D, Geleynse N, Olariu C, Steel RJ, Hiatt M, Passalacqua P. 2016. Impact of tidal currents on delta-channel deepening, stratigraphic architecture, and sediment bypass beyond the shoreline. Geology 44:927-930.
- Vargas Borges H, Nittrouer CA. 2016. Coastal Sedimentation in a Tropical Barrier-Island System During the Past Century in Sepetiba Bay, Brazil. Anuario do Instituto de Geociencias 39.