

## برآورد نرخ انتقال رسوب کانال دسترسی خور موسی در بندر امام خمینی

کامران لاری\* و امیر حسین بابابیک

گروه فیزیک دریا دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

### چکیده

رسوبگذاری در کانالهای دریانوردی بصورت یک مشکل عمده برای مسئولان بندری تبدیل گردیده است. این مسئله منجر به تحمیل هزینه‌های سنگین جهت لایروبی می‌گردد. این تحقیق در مورد پیش بینی نرخ رسوبگذاری در کانال دسترسی به بندر امام خمینی می‌باشد با در نظر گرفتن داده‌های میدانی جریان و موج در ۵ ایستگاه در کانال دسترسی نرخ رسوبگذاری با استفاده از روشهای بایکر، ون راین و واتانابه تخمین زده شده است و با بررسی نقشه‌های هیدروگرافی و حجم لایروبی انجام شده مقدار رسوبگذاری در کانال دسترسی  $m^3/s/m$  (۰/۰۰۰۰۷۶) بدست آمد. با بررسی نتایج ضرایب بدون بعد  $\alpha=88/0$  برای مدل بایکر و  $\beta=86/0$  برای مدل ون راین  $\lambda=7/1$  برای مدل واتانابه محاسبه شد. منحنی‌های دانه‌بندی رسوبات کانال دسترسی و اطراف آن نشان داد که جنس بستر عموماً از مواد ریزدانه و همچنین ماسه تشکیل یافته است.

**واژگان کلیدی:** انتقال رسوب، کانال دسترسی، بندر امام خمینی

\*نویسنده مسوول، پست الکترونیک: k\_lari@iau-tnb.ac.ir

## ۱. مقدمه

شناخت فرآیند تولید و انتقال رسوب در محدوده مطالعه از اهمیت چشمگیری برخوردار است، چرا که بررسی میزان کارآمدی طرحهای توسعه بندر بدون داشتن آگاهی کافی از شرایط حاکم بر این پدیده عملاً مقدر نخواهد بود. همچنین رسوبگذاری در کانال دسترسی باعث بروز مشکلاتی از قبیل لزوم انجام لایروبی های دوره ای و تعیین محل بهینه تخلیه رسوبات می گردد (Chanson, 1999).

منابع تولید رسوب در دریا، حجم رسوب تولید شده، مشخصات فیزیکی و شیمیایی رسوبات، عوامل و مکانیزم انتقال رسوب به محدوده کانال، فرسایش ناشی از موج در قسمت هایی که تحت تأثیر امواج قرار می گیرند، مهمترین مواردی هستند که در تعیین الگوی تولید و انتقال رسوب و رسوبگذاری مؤثر بوده و مورد بررسی قرار می گیرند. جریانهای جزرومدی اغلب باعث تعلیق و انتقال رسوبات و موج تنها باعث تعلیق بیشتر رسوبات کف می گردند. عدم وجود هر یک از هر دو عامل مذکور و یا کاهش اثر آن باعث نهشته شدن رسوبات می شود (Camenne et al., 2005).

جنس بستر و دانه بندی ذرات بستر، جزء عوامل مؤثر در رسوبگذاری و فرسایش می باشد (Gray, 2003). شکل و قرارگیری راستای کانال دسترسی در صورتیکه موازی جهت غالب جریان باشد می تواند باعث کاهش رسوبگذاری و یا افزایش فرسایش در کانال گردد و در صورتیکه راستای کانال دارای زاویه با جهت غالب جریان باشد، رسوبگذاری در کانال افزایش می یابد. تخلیه مواد لایروبی شونده در نزدیکی کانال دسترسی می تواند باعث برگشت مواد لایروبی شونده به صورت رسوبات معلق به کانال دسترسی گردد، لذا

باید بررسی های لازم در این مورد صورت پذیرد. اختلاف تراز بستر کانال دسترسی با محل های مجاور آن می تواند عاملی برای رسوبگذاری در کانال دسترسی باشد.

در طول سه دهه گذشته روابط تجربی معتبری برای محاسبه انتقال رسوب توسط موج و جریان پیشنهاد شده اند و در مدل های عددی پیچیده مورد استفاده قرار گرفته اند (Bijker, 1967 & 1971; Van Rijn, 1981; Van Rijn, 2004; Watanabe, 1992). یکی از مناطقی که بحث انتقال رسوب در آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است بندر امام خمینی در شمال خلیج فارس است. کانال دسترسی به این بندر در معرض رسوبگذاری می باشد و امکان حرکت کشتیها و شناورها با عملیات لایروبی سالانه میسر است. در این تحقیق برآورد نرخ انتقال رسوب در این کانال مورد بررسی قرار می گیرند.

روابط برآورد نرخ انتقال رسوب به طور معمول در مطالعات مهندسی بنادر بکار گرفته می شوند (Bayram, 2001). اندازه گیریهای دقیق هیدرو دینامیکی و هیدروگرافی به بهتر شدن محاسبات کمک می کند و می توان این روابط را برای آن منطقه واسنجی کرد فرمولها ضرایب کالیبراسیون را تخمین زد (SPM, 1984). فرمول انتقال رسوب بایکر یکی از اولین فرمولهایی است که برای ترکیب موج و جریان گسترش یافت. البته فرمول او بر پایه فرمول پیشنهادی کالینسکی فریچلینک نوشته شده است.

بایکر بین رسوبات کف و رسوبات معلق تفاوت قائل شد. انتقال مواد کف به تنش برشی کف حاصل از جریان و موج بستگی دارد و انتقال رسوب معلق بوسیله تجزیه حاصل از غلظت و پروفیل سرعت به صورت عمودی بدست می آید و غلظت رسوب معلق بعنوان تابعی از انتقال رسوب کف تعریف شده است.

$$q_{t,W} = A \left[ \frac{(\tau_{b,wc} - \tau_{b,cr})V}{\rho g} \right] \quad (5) \quad (1)$$

A یک ضریب (در حدود ۰/۵ برای امواج مونوکروماتیک و ۰/۲ برای امواج اتفاقی) و  $\tau_{b,cr}$  تنش برشی بحرانی برای آغاز حرکت است.

## ۲. روش کار

با توجه به وابستگی شدید نرخ انتقال رسوب به شرایط جریان اقدام به اندازه‌گیری مشخصات جریان در چند نقطه اطراف کانال دسترسی بندر شد تا بتوان با استفاده از سرعت و جهت جریان الگوی انتقال رسوب در کانال را مورد بررسی قرار داد. کانال دسترسی و ابعاد آن و محل بویه‌ها و ایستگاههای مورد بررسی در شکل (۱) و جدول (۱) مشخص شده است همچنین جهت امواج غالب با استفاده از گلموج منطقه در طی سال ۲۰۰۷ در شکل (۲) نشان داده شده است.

A یک ضریب تصحیح (۱.۰) برای امواج ناشکنا و ۵.۰ برای امواج شکنا) و  $d_{50}$  قطر متوسط ذره، V سرعت متوسط جریان، C ضریب چزی بر پایه  $d_{50}$  و g شتاب ثقل زمین و  $S = (\rho_s / \rho)$  چالی نسبی رسوب،  $\rho_s$  چگالی نسبی رسوب،  $\rho$  چگالی آب،  $\mu$  فاکتور دندانه و  $\tau_{b,wc}$  تنش برشی کف است. ون راین در سال ۱۹۸۴ یک تئوری جامع برای نرخ انتقال رسوب در رودخانه پیشنهاد کرد و سپس آن را برای خورها گسترش داد.

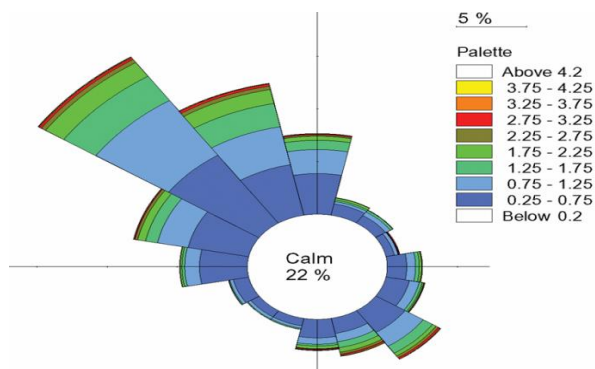
$$q_{b,VR} = 0.25 \gamma \rho_s d_{50} D_*^{-0.3} \left[ \frac{\tau'_{b,wc} - \tau_{b,cr}}{\tau_{b,cr}} \right]^{1.5}$$

$$\gamma = 1 - \sqrt{\frac{H_s}{h}} \quad (3)$$

(۴)

$$q_{s,VR} = C_a V h \frac{1}{h} \int \frac{v}{V} \frac{C}{C_a} dz$$

$H_s$  ارتفاع موج شاخص، C پخش غلظت، V سرعت متوسط در طول ساحل است. (اواتانابه در سال ۱۹۹۲) یک فرمول برای رسوب نهایی (کف و معلق) بر پایه ظرفیت مدل نیرو پیشنهاد کرد. این فرمول بطور گسترده در ژاپن برای پیشبینی نرخ انتقال رسوب بکار گرفته می شود.



شکل ۲. گلموج منطقه‌ی شمالی خلیج فارس

جدول ۱. مشخصات هیدرولیکی جریان در ایستگاههای مختلف

نام محل	جهت غالب بردار	میانگین سرعت مد یا جزر (m/s)	بیشترین سرعت مد یا جزر (m/s)	کمترین تراز سطح آب در جزر (m)	بیشترین تراز سطح آب در مد (m)	زمان اندازه گیری	عمق CD تا MSL	N(m)	E(m)
بیکن ۲۵	-	-	-	۳۷/۲	۱۹/۲	۲۰۰۰/۰۸/۱۹ ۲۰۰۰/۱۰/۲۰	۵۲/۲	۳۳۴۳۰۰۲	۳۰۴۲۶۹
بیکن ۱۲	-	-	-	۰۲/۲	۱۸/۱	۲۰۰۰/۰۸/۲۲ ۲۰۰۰/۰۹/۱۳	۰۲/۲	۳۳۰۶۴۷۸	۳۲۸۲۳۱
ایستگاه راهنمایی (P.S.)	-	-	-	۱/۲	۲۸/۱	۲۰۰۰/۰۹/۱۷ ۲۰۰۰/۱۰/۲۰	۱/۲	۳۳۱۲۹۹۹	۳۲۴۷۹۲
کشتی غرقی	۳۲۵ و ۱۴۰	۳۳/۰	۷۳/۰	-	-	۲۰۰۰/۰۹/۱۹ ۲۰۰۰/۱۰/۱۹	-	۳۳۰۹۸۰۲	۳۱۶۸۰۰
شکاری (غربی)	۳۱۰ و ۱۳۰	۳۴/۰	۸/۰	-	-	۲۰۰۰/۰۹/۱۹ ۲۰۰۰/۱۰/۱۹	-	۳۳۱۰۵۷۸	۳۳۸۱۹۴
کشتی غرقی ایران شهادت (شرقی)	۱۷۰ و ۳۰۰	۲۵/۰	۵۸/۰	-	-	۲۰۰۰/۰۸/۲۳ ۲۰۰۰/۰۸/۲۹	-	۳۳۰۸۳۶۱	۳۰۳۸۱۸
ایستگاه غربی شماره ۱									

می باشند. منحنی های دانه بندی رسوبات کانال دسترسی و اطراف آن نشان داد که جنس بستر عموماً از مواد ریزدانه و همچنین ماسه تشکیل یافته است. این مطالعات نشان داد که نحوه گسترش این مواد در قسمت های مختلف کانال دسترسی با همدیگر متفاوت بوده به نحوی که درصد لای در انتهای شمالی آن به ۹۵ درصد می رسد که قطر متوسط ذرات رسوب  $D_{50} = 6\mu m$  بوده این در حالی است که این مقدار در قسمتهای میانی کانال چیزی در حدود ۱۴ درصد می باشد و درصد بیشتری از ذرات رسوب در محدوده ماسه و با قطر متوسط  $D_{50} = 400\mu m$  می باشد.

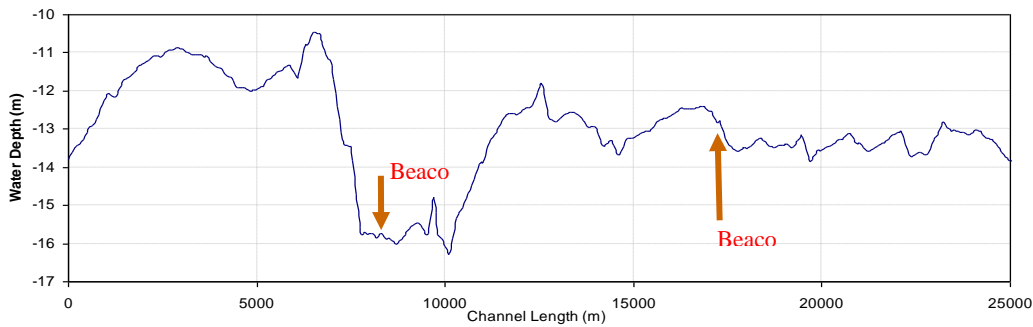
شکل (۵) نشان می دهد که دانه های بستر در قسمت میانی کانال دسترسی در محدوده ماسه و در قسمت نزدیک خور موسی در محدوده لای و رس می باشند. در اکثر مکانهای نشان داده شده در شکل (۶) ذرات مخلوطی از ماسه و رس و لای می باشند. در محدوده وسط کانال بین بویه های

با استفاده از عمق یاب تراز بستر نیز در طول بار موسی اندازه گیری شد و با سرعت جریان که از اندازه گیریهای بدست آمد چنین نتیجه می شود که جریان در قسمت انتهایی و ورودی با کانال زاویه ۹۰ درجه دارد و در قسمت میانی موازی با محور کانال می باشد البته سرعت در قسمت میانی بیشتر از ابتدا و انتهای کانال می باشد که این مقدار در حدود ۸/۰ متر بر ثانیه می باشد در صورتیکه در دو قسمت دیگر در حدود ۴/۰ متر بر ثانیه می باشد که دو دلیل عمده موازی بودن با محور کانال و افزایش تراز بستر در قسمت میانی می باشد (شکل های ۳ و ۴).

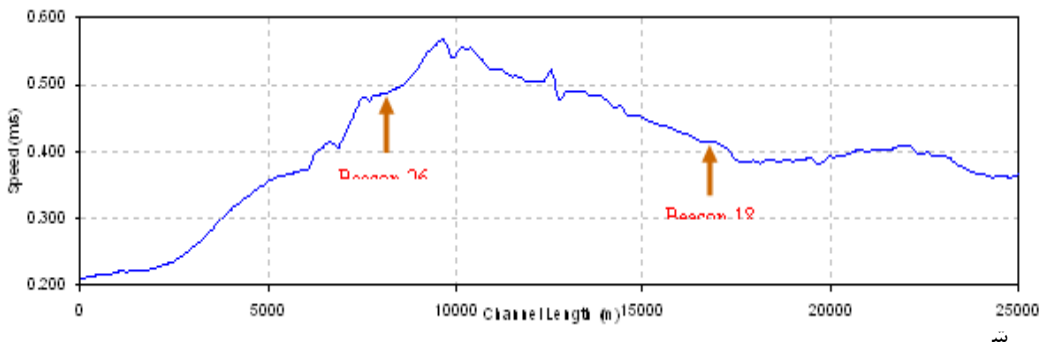
با انجام عملیات نمونه گیری از بستر در ۳۱ مکان در محل کانال دسترسی و مجاور آن نتایج دانه بندی بدست آمد (شکل های ۵ و ۶). محلهایی که با Sand مشخص شده اند دارای درصد بیشتر ذرات ماسه نسبت به رس و لای و محلهایی که با Silt و Clay مشخص شده اند دارای درصد بیشتر ذرات رس و لای نسبت به ماسه

و مقادیر حجم لایروبی استفاده شد. شکل (۷) تراز بستر در محل کانال دسترسی را در دو سال مختلف نشان می‌دهند. تمرکز عملیات لایروبی بر قسمت‌های اول و آخر کانال است.

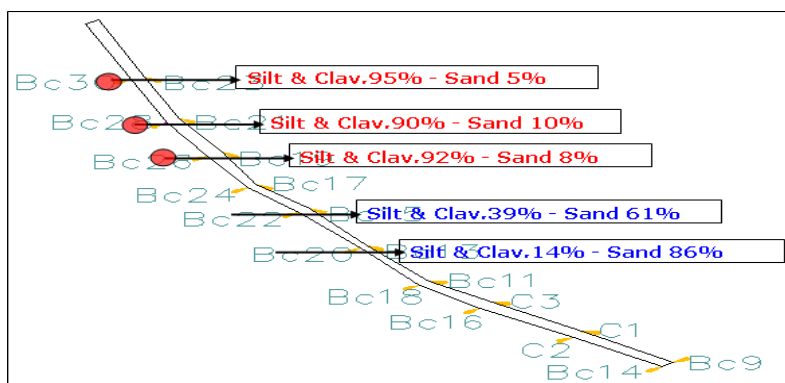
۱۷ و ۲۴ به علت سختی بستر نمونه‌ای برداشت نشده است. به منظور تعیین نرخ انتقال رسوب لازم است تا تغییر تراز بستر در محل کانال دسترسی بررسی شود بدین منظور از آمار و اطلاعات عملیات هیدروگرافی در سال‌های مختلف



شکل ۳. تغییرات تراز بستر در طول کانال دسترسی



شکل ۴. تغییرات سرعت جریان در طول کانال دسترسی



شکل ۵. نتایج دانه‌بندی نمونه‌های بستر در فاصله بین بویه‌ها

لایروبی شونده به علاوه مقدار تغییرات تراز بستر در نقشه‌های هیدروگرافی در واحد سطح.

با استفاده از آمار و اطلاعات فوق می‌توان مقدار رسوبگذاری در کانال دسترسی را به صورت تقریبی محاسبه نمود. مقدار رسوبگذاری در واحد سطح برابر است با مقدار حجم لایروبی خالص به سطح

### ۳. نتایج

انتقال رسوب  $m^3/s/m$  (۰/۰۰۰۰۱۷) بدست آمد.

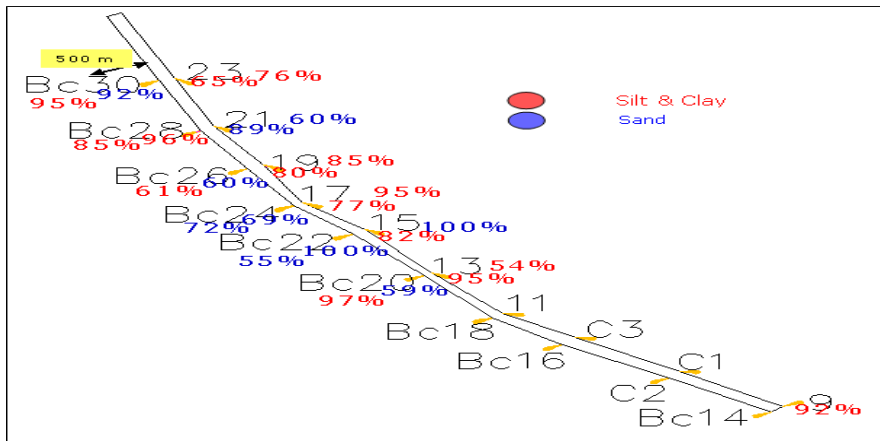
با توجه به الگوی انتقال رسوب در سه قسمت کانال دسترسی که شامل رسوبگذاری در قسمت ابتدای و انتهایی و فرسایش در قسمت میانی و بررسی تراز بستر به این نتیجه می‌رسیم که باید از لایروبهای هاپرساکشن برای لایروبی در دو قسمت ابتدایی و انتهایی استفاده کرد اما قسمت میانی با در نظر گرفتن افزایش تراز بستر و وجود فرسایش در حال حاضر نیازی به لایروبی نداشته اما در آینده با توجه به توسعه بندر باید از لایروبهای کاتر ساکشن و حتی در بعضی نواحی از دینامیت برای جابجایی بستر استفاده کرد. با توجه به تحلیل نتایج الگوی انتقال رسوب، مشخص گردید که دو دلیل عمده در فرسایش و کاهش رسوبگذاری در قسمت میانی کانال دسترسی وجود دارد. یکی پایین‌تر بودن تراز بستر نسبت به اطراف یا عمیق‌تر بودن کانال است که باعث کاهش اصطکاک کف و افزایش مقدار سرعت جریان می‌شود. دیگری موازی بودن جهت جریان با امتداد کانال است. با مقایسه نتایج ضرایب بدون بعد  $\alpha = 88/0$  برای مدل بایکرو  $\beta = 86/0$  برای مدل ون راین و  $\lambda = 7/1$  برای مدل واتانابه تخمین زده شد.

نتایج نشان می‌دهد که تئوری بایکر و ون راین از دقت مناسبی در این کانال برخوردار هستند اما تئوری واتانابه بعلاوه ریز دانه بودن ذرات از دقت خوبی برخوردار نبود و پیشنهاد می‌گردد از این تئوری در کانالهای با بستر درشت دانه استفاده گردد.

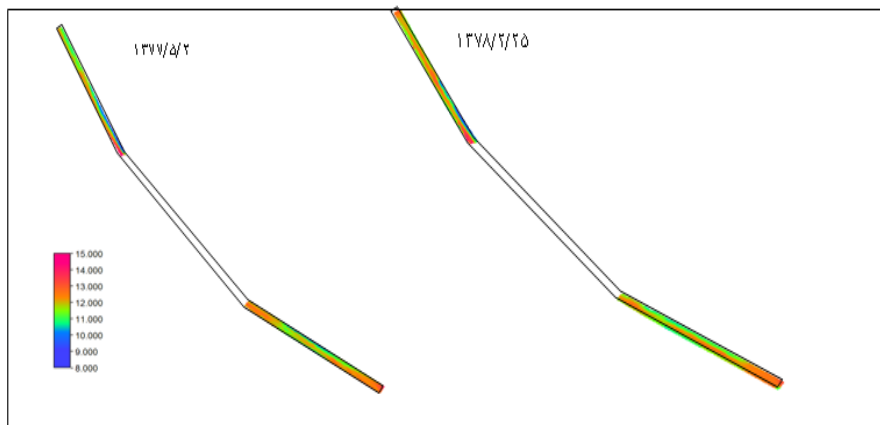
حجم رسوبگذاری در کانال دسترسی با استفاده از نقشه‌های هیدروگرافی (۱۳۷۷ و ۱۳۸۷) ۲۸۵۸۹۹ مترمکعب و مقدار مواد لایروبی شده در طی این سالها ۴۴۴۰۰۰ مترمکعب است بنابراین مقدار کل رسوبگذاری ۷۲۹۸۹۹ متر مکعب می‌باشد. کانال دسترسی به سه قسمت ابتدایی (از بیکن ۹ و ۱۴ تا بیکن ۱۵ و ۲۲)، میانی (از بیکن ۱۵ و ۲۲ تا بیکن ۱۹ و ۲۶) و انتهایی (از بیکن ۱۹ و ۲۶ تا بیکن ۲۳ و ۳۰) تقسیم می‌گردد. بررسی‌های انجام شده نشان داد قسمت ابتدایی و انتهایی در حال رسوبگذاری و قسمت میانی در حال فرسایش می‌باشد. نرخ انتقال رسوب با استفاده از مدل‌های بیان شده و میزان واقعی آن در عرض کانال در قسمتهای ابتدایی، میانی و انتهایی در شکل‌های ۸ و ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. میزان رسوبگذاری در دو انتهای کانال حدود  $m^3/s/m$  (۰/۰۰۰۰۷۶) و در قسمتهای میانی بستر دچار فرسایش می‌باشد.

### ۴. بحث و نتیجه گیری

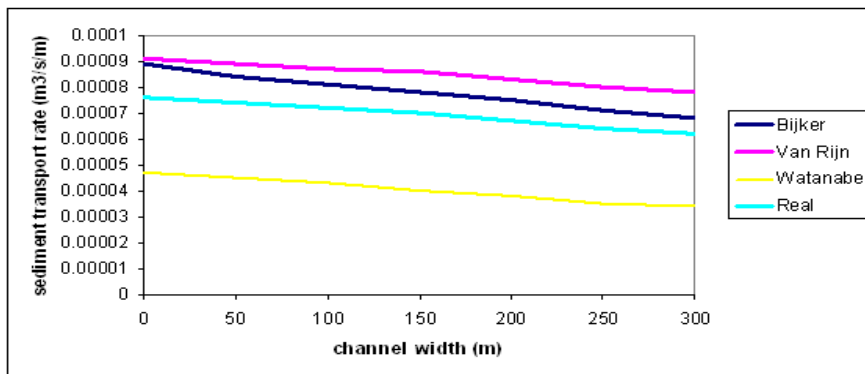
اندازه‌گیری‌های جریان نشان داد که جریان در قسمت انتهایی و ورودی با کانال زاویه‌دار و بصورت عمود می‌باشد و در قسمت میانی موازی با محور کانال می‌باشد البته سرعت در قسمت میانی بیشتر از ابتدا و انتهای کانال می‌باشد که این مقدار در حدود ۸/۰ متر بر ثانیه می‌باشد در صورتیکه در دو قسمت دیگر در حدود ۴/۰ متر بر ثانیه می‌باشد در قسمت ابتدایی و انتهایی کانال دسترسی در بستر رسوبگذاری داریم. میزان انتقال رسوب در دو انتهای کانال حدود  $m^3/s/m$  (۰/۰۰۰۰۷۶) است. در قسمت میانی کانال دسترسی با توجه به موازی بودن جهت جریان و محور کانال فرسایش داریم و میزان



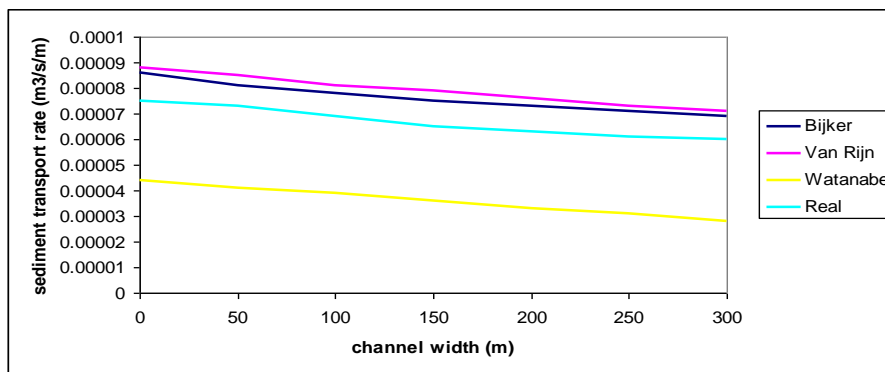
شکل ۶. نتایج دانه‌بندی نمونه‌های بستر در فاصله بین بویه‌ها و اطراف محل کانال دسترسی



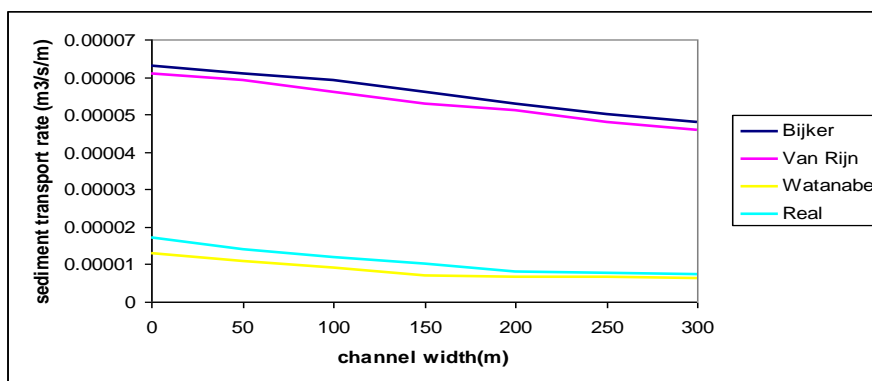
شکل ۷. مقادیر تراز بستر در سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ (نسبت به M.S.L. - متر)



شکل ۸. نمودار مقایسه نرخ انتقال رسوب در عرض کانال در ابتدای کانال



شکل ۹. نمودار مقایسه نرخ انتقال رسوب در عرض کانال در انتهای کانال



شکل ۱۰. نمودار مقایسه نرخ انتقال رسوب در عرض کانال در قسمت میانی کانال

### منابع

Bayram, A., Larson, M., Miller, H C., and Kraus, N. C. 2001. Cross-shore distribution of longshore sediment transport: comparison between predictive formulas and field measurements. *J. Coast. Eng.* 44 : 79-99.

Bijker, E.W. 1967. Some considerations about scales for coastal models with movable bed. Delft Hydraulics Laboratory Publication, The Netherlands Delf, 150p.

Bijker, E.W. 1971. Longshore transport computations. *J. Waterways Harb. Coast. Eng. Div.* 97 : 687-703.

Camene, B., Larson, M., YAMASHITA, Y., 2005, A simple formulation of non-cohesive sediment-transport, *Annals of Disas, Prev, Inst, Kyoto Univ.*, NO. 48B.

منحنی‌های دانه‌بندی رسوبات کانال دسترسی و اطراف آن نشان داد که جنس بستر عموماً از مواد ریزدانه و همچنین ماسه تشکیل یافته است. این مطالعات نشان داد که نحوه گسترش این مواد در قسمت‌های مختلف کانال دسترسی با همدیگر متفاوت بوده به نحوی که درصد لای در انتهای شمالی آن به ۹۵ درصد می‌رسد که قطر متوسط ذرات رسوب  $D_{50} = 6\mu m$  بوده این در حالی است که این مقدار در قسمت‌های میانی کانال چیزی در حدود ۱۴ درصد می‌باشد و درصد بیشتری از ذرات رسوب در محدوده ماسه و با قطر متوسط  $D_{50} = 400\mu m$  می‌باشد.



Van Rijn, L.C., 2004, Estuarine and coastal sedimentation problems, Proceedings of the Ninth international symposium on river sedimentation October 18- 21, Yichang, China. 105-120.

Van Rijn, L.C., 1984. Sediment transport: Part I: Bed load transport; Part II: Suspended load transport; Part III: Bed forms and alluvial roughness. J. Hydraulic Div. 110: 1431-1456.

Watanabe, A. 1992. Total rate and distribution of longshore sand transport. Proceedings of the 23rd Coastal Engineering Conference, pp. 2528-2541.

Chanson, H. 1999. The Hydraulics of Open Channel Flow, part 10, Published by Arnold, 338 Euston Road, London NW1 3BH, UK, 512p.

Gray, J.R. and Glysson, G.D. 2003. Attributes for a sediment monitoring instrument and analysis research program. Proceedings of the Federal Interagency Sediment Monitoring Instrument and Analysis Research Workshop, September 9-11, Flagstaff, Arizona.

SPM, 1984. Shore Protection Manual. Coastal Engineering Research Center, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.