ارائه رابطه رگرسیونی برای تعیین نرخ فرسایش رسوبات چسبنده به کمک داده‌های آزمایشگاهی و مدل عددی

خسرو حسینی* و مهران خیرخواهان[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۲۲)

چکیده

رسوبات چسبنده دارای سطح مخصوص بزرگی می‌باشند که قابلیت جذب یکدیگر و موادی همانند لای و سدیم را دارند و پس از ترکیب، به حالت لخته‌ای شکل (فولوکوله) در می‌آیند. در نتیجه، رفتار و عملکرد این نوع رسوبات در محیط آبی بسیار متفاوت با رسوبات غیرچسبنده می‌باشد. ساختارهای تشکیل‌شده در بستر، با اعمال تنش برشی مناسب وارده از سیال شروع به فرسایش کرده و به اندازه‌های ریزتری تبدیل می‌شوند که می‌توانند توسط سیال حمل گردند. تاکنون محققین زیادی براساس مطالعات آزمایشگاهی، روابطی تجربی برای فرسایش رسوبات ریزدانه تابع تنش برشی بستر و خصوصیات رئولوژیکی مصالح بستر ارائه داده‌اند. در این تحقیق، نرخ فرسایش رسوبات چسبنده تابع مشخصه‌ها و خصوصیات آنها از جمله نتش برشی تسلیم و غلظت رسوبات بستر بررسی گردیده است. بدین‌منظور، پس از صحت‌سنجی نتایج و واسنجی پارامترهای نرم‌افزار Mike با نتایج آزمایشگاهی، داده‌ها توسعه یافته‌اند.. آنگاه عوامل مؤثر بر نرخ فرسایش در قالب اعداد بدون بعد بررسی گردیده‌اند. رابطه به‌دست آمده دارای شکل نمایی می‌باشد که دقت مناسبی با ضریب تبیین ۰/۹۹ نسبت به رابطه ارائه شده توسط مهتا را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی کلیدی: غلظت ، تنش برشی تسلیم، پارامترهای بی‌بعد، ویژگی‌های سیال و رسوب، رابطه نمائی

۱. گروه مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: khhoseini@semnan.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]

مقدمه

فرآیند رسوب‌گذاری رسوبات ریزدانه باتوجه به واکنش‌های فیزیکی صورت گرفته روی این مصالح در محیط دریا با سرعت بیشتری همراه است که سبب بروز مشکلاتی در حفاظت آبراهه‌های کشتیرانی، آلودگی و تیرگی آب و تغییرات اکولوژی می‌شود. رفتار این رسوبات در برابر جریان نسبت به رسوبات درشت دانه متفاوت می‌باشد، لذا نحوه رسوب‌گذاری و چگونگی فرسایش این‌گونه رسوبات از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در زمینه انتقال و نرخ فرسایش رسوبات غیرچسبنده تاکنون کارهای بسیار ارزشمندی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان از نمودار شیلدز برای آستانه حرکت این نوع از رسوبات نام برد. هم‌چنین بیشتر نرم‌افزارهای موجود در زمینه این نوع رسوبات توسعه یافته‌اند درحالی‌که به‌علت ماهیت پیچیده رسوبات چسبنده روابط ارائه شده بسیار محدود می‌باشند و نرم‌افزارها در این رابطه توسعه چندانی نیافته‌اند. هم‌چنین تقریباً تمامی روابط ارائه شده توسط محققین مختلف برای تعیین نرخ فرسایش محدود به تنش برشی بستر و ضرایب ثابتی باتوجه به ویژگی‌های رسوب می‌باشد که نشان‌دهنده محدود بودن پارامترهای جریان و رسوب در روابط ارائه شده می‌باشد.

محققین زیادی از جمله فان راین، راویزانگر و همکاران باتوجه به ویژگی‌های رسوبات ریزدانه مورد آزمایش خود، تنش‌برشی بحرانی و نرخ فرسایش مختلفی را به‌دست آورده‌اند(۹و۱۱). پارتنیادس نیز در بخشی از مطالعات خود در مورد تأثیر میزان نمک در فرسایش رسوبات چسبنده تحقیقاتی را انجام داده است(۷). مهتا و همکاران روابط تجربی برای انواع مختلف رسوبات چسبنده به‌صورت تحکیم‌یافته و تحکیم‌نیافته توسعه داده است. این رابطه‌ها شامل مقاومت برشی رسوبات و ضرایبی آزمایشگاهی است که وابسته به ویژگی‌های هر نوع رسوب چسبنده می‌باشد. تفاوت این ویژگی‌ها با تغییرات بر عمق آب، زمان تحکیم و میزان نمک موجود در آب به‌دست آمده است(۶). وینترورپ نیز لیستی از پارامترهای مؤثر در فرسایش رسوبات چسبنده را ارائه کرده‌اند(۱۳). دان تنش برشی بحرانی رسوبات چسبنده را به مقاومت برشی پره و مقدار شاخص خمیری مرتبط کرد(۲). سن‌فورد و ما نیز در تحقیقات خود رابطه‌ای را برای فرسایش این نوع رسوبات ارائه کردند(۱۰). حسینی در مطالعات آزمایشگاهی خود تنش برشی تسلیم و تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده را تابعی از غلظت این رسوبات به‌دست آورد(۴). هم‌چنین مدل‌سازی عددی رسوبات چسبنده توسط محققینی از جمله، فورتس لوپز و همکاران(۳)، چاو و همکاران(۱۴)، وُو و فالکونر(۱۲) و جزایری شوشتری و سلطان‌پور(۵) صورت گرفته است. تمامی کارهای انجام شده در مطالعات عددی به‌منظور نتیجه‌گیری‌های سریع و عدم استفاده از انجام آزمایشات می‌باشد.

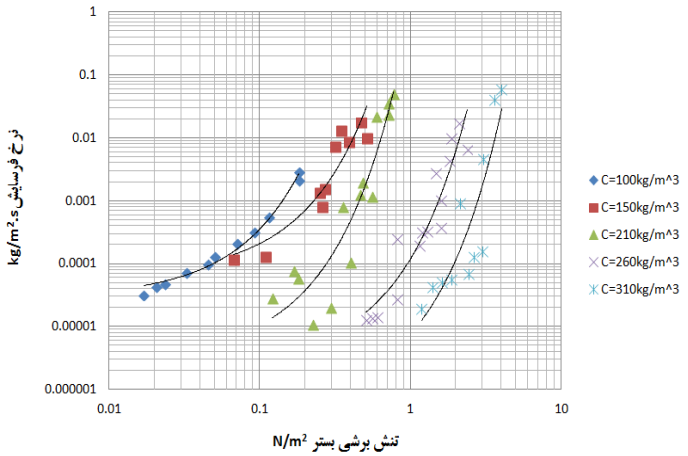
نظر به اهمیت رسوبات چسبنده، در این تحقیق به کمک مدل عددی داده های آزمایشگاهی توسعه داده شده اند. سپس با استفاده از سیستم دو فازی آب و رسوب اعدادی بدون بعد توسط تئوری باکینگهام به‌دست آمده اند. در انتها نیز باتوجه به داده‌های به‌دست آمده از مدل عددی به ارائه رابطه‌ای مشتمل بر پارامترهای جریان و رسوب پرداخته شده است.

پارامترهای تأثیرگذار بر نرخ فرسایش رسوبات چسبنده

رودخانه‌ها به‌همراه آب مقداری رسوب نیز با خود حمل می‌کنند. این رسوبات حاصل فرسایش کف و دیواره‌های آبراهه می‌باشند. اگر میزان رس در رسوبات بیش از ۱۰٪ کل مصالح تشکیل‌دهنده رسوب باشد این رسوبات در دسته رسوبات چسبنده قرار خواهند گرفت(۸). میزان نرخ فرسایش در رسوبات چسبنده وابسته به پارامترهای جریان از جمله عمق جریان، شیب آبراهه، سرعت جریان و... و هم‌چنین وابسته به مشخصه‌های سیال هم‌چون چگالی، ویسکوزیته، میزان نمک، اسیدیته، ظرفیت تبادل یونی Cation Exchange Capacity (CEC) و ... و هم‌چنین پارامترهای مشخصه رسوبات چسبنده از جمله اندازه ذره، چگالی خشک ذرات، شاخص خمیری (PI)، میزان چسبندگی ذرات، دما، میزان درصد رس موجود در رسوب و غلظت رسوبات در سیال می‌باشد. در ادامه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]



شکل ۱. داده‌های آزمایشگاهی استفاده شده در تحقیق(۴)

به شرح مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر نرخ فرسایش رسوبات چسبنده پرداخته خواهد شد.

یکی از پارامترهای مشخص‌کننده میزان فعالیت رسوبات چسبنده در محیط‌های قطبی، میزان ظرفیت تبادل یونی می‌باشد. مقدار این پارامتر وابسته به سایر پارامترهای مؤثر از جمله نمک و میزان اسیدیته و ... می‌باشد. با افزایش CEC میزان چسبندگی نیز افزایش پیدا کرده، در نتیجه موجب تشکیل ذرات فولوکوله بزرگتر در آب خواهد شد.

داده‌های آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر از نتایج مطالعات آزمایشگاهی حسینی (۱۹۹۹) در فلوم مستقیم می باشد که در آن از پنج نمونه رسوبات تحکیم نیافته و زه‌کشی نشده با اندازه ذرات یکسان، غلظت‌های مختلف و مشخصات حد خمیری ۱۲۵ درصد و حد پلاستیسیته ۶۲ درصد از رودخانه لویر(Loire) در مصب اقیانوس آتلانتیک در نزدیک شهر نانت کشور فرانسه استفاده شده است. مقادیر نرخ فرسایش در مقابل تنش برشی بستر برای غلظت‌های مختلف این رسوبات در شکل(۱) دیده می‌شود(۴). حسینی روابط ۱ و ۲ برای نرخ فرسایش و تنش برشی بحرانی براساس داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آورده است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

در شکل (۲) تغییرات تنش برشی بحرانی فرسایش و نیز تنش برشی تسلیم در مقابل غلظت هر نوع رسوب نشان داده شده است(۴).

$$E_v = ۳\times ۱۰^{-۷} e^{۰/۱۱۴۵\left[\sqrt{\tau_c/\rho_w}E_o\right]\left(\frac{\tau_b-\tau_c}{\tau_c}\right)} \quad [۱]$$

$$\tau_c = ۰/۰۰۳ e^{۰/۰۱۹C} \quad [۲]$$

در روابط بالا $\tau_c\left(\frac{N}{m^۲}\right)$ تنش برشی بحرانی آستانه فرسایش، ρ_w جرم مخصوص آب، τ_b تنش برشی وارده به بستر از طرف جریان، $C\left(\frac{kg}{m^۲}\right)$ غلظت رسوبات، E_v عمق فرسایش یافته رسوبات کف و E_o مقدار ثابت و برابر ۰/۰۰۰۸۷ می‌باشد.

مدل‌سازی عددی توسط نرم افزار

از آنجایی که تنها نرم‌افزار تجاری که در آن امکان مدلسازی رسوبات چسبنده وجود دارد، نرم‌افزار Mike21 می‌باشد، لذا از این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی و توسعه نتایج آزمایشگاهی استفاده شده است. این نرم‌افزار توسط مؤسسه دلفت هلند تولید وتوسعه داده شده است و قادر به مدل‌سازی دو بعدی جریان و رسوب بوده و بسیار پرکاربرد در محیط دریا می‌باشد.

تعیین ضرایب رابطه حمل رسوب در نرم افزار

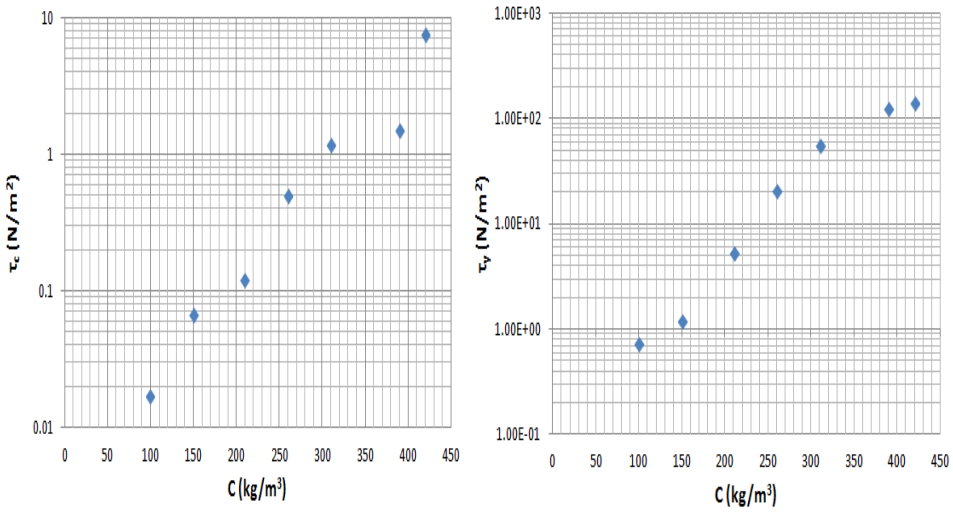
نظر به این‌که رابطه نمایی برازش مناسبی برای نرخ فرسایش رسوبات را دارا می‌باشد و همچنین نرم‌افزار Mike21 از رابطه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]



شکل۲. تغییرات تنش برشی تسلیم و تنش برشی بحرانی در مقابل غلظت

جدول۱. میانگین مربعات خطا

نوع رسوب	$C\left(\frac{kg}{m^۲}\right)$	$\tau_c \times ۱۰^۳ \left(\frac{N}{m^۲}\right)$	$E_o \times ۱۰^۶ \left(\frac{kg}{m^۲ s}\right)$	$\alpha\left(\frac{m}{N^{۰/۵}}\right)$	$MSE \times ۱۰^۷$
۱	۱۰۰	۱۶/۹	۶/۲۶	۱۲/۳۵	۱۲۰
۲	۱۵۰	۶۷	۴۲۱	۱۰/۱	۲۴۰
۳	۲۱۰	۱۲۱	۷/۱۱	۱۳/۷	۵
۴	۲۶۰	۵۰۸	۷۹/۸	۶/۷۷	۱۰
۵	۳۱۰	۱۱۸۵	۳/۸	۶/۹۷	۱۷

نمایی مهتا در مدل‌سازی رسوبات چسبنده بهره می‌برد، لذا در این تحقیق از رابطه ارائه شده توسط مهتا که به شکل رابطه (۳) می‌باشد و ضرایب ثابت آن که از طریق آزمایش تعیین می‌گردند، استفاده شده است.

$$E_v = E_o \exp\left(\alpha(\tau_b - \tau_c)^{۰/۵}\right) \qquad [۳]$$

که در آن E_o فرسایش‌پذیری بستر، τ_c تنش برشی بحرانی بستر و α ضریب ثابت می‌باشند.

در رابطه بالا مقدار تنش برشی بحرانی، مقدار تنش برشی بستری است که در آن فرسایش اولیه با کمترین مقدار بار رسوب بستر رخ دهد. ضرایب E_o و α در رابطه مهتا به‌کمک روش‌های آماری موجود در نرم‌افزار اکسل (Excel) و با استفاده از روش حداقل میانگین مربعات خطا (MSE) میان مقادیر نرخ فرسایش حاصل از نتایج آزمایشگاهی و نتایج مقدار فرسایش حاصل از رابطه مهتا، به‌دست آمدند. مقدار ضریب میانگین مربعات خطا از رابطه (۴) محاسبه شده و در جدول (۱) نشان داده شده است.

$$MSE = \sum_{i=۱}^{n}\left(x_i^o - x_i^p\right)^۲ \qquad [۴]$$

که در رابطه فوق، x_i^o پارامتر مشاهده‌شده، x_i^p پارامتر پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌هاست. در شکل (۳) میزان همبستگی مقادیر نرخ فرسایش از رابطه مهتا و داده‌های آزمایشگاهی قابل مشاهده است.

صحت سنجی مدل عددی

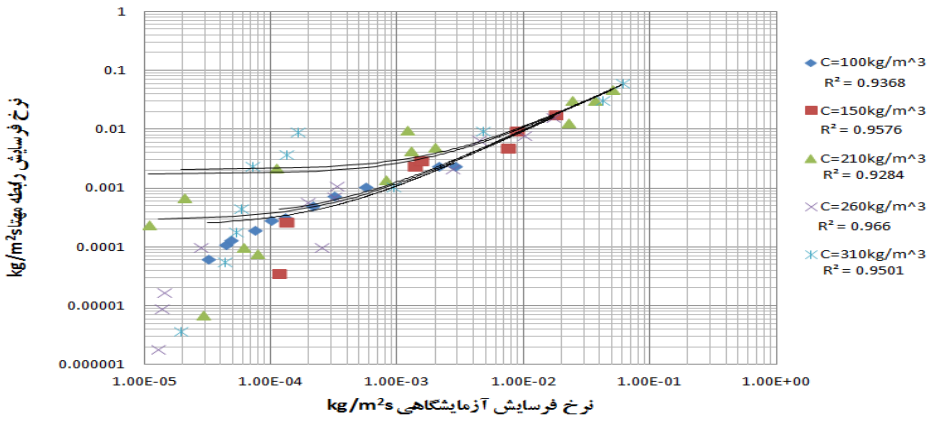
برای صحت سنجی مدل عددی، با معلوم بودن تنش برشی بستر و سرعت‌های جریان به تعیین مقدار فرسایش کل به‌عنوان پارامتر مورد نیاز در مدل عددی، پرداخته شده است. در نهایت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]



شکل۳. نرخ فرسایش آزمایشگاهی در مقابل نرخ فرسایش حاصل از رابطه مهتا برای غلظت‌های مختلف به همراه ضرایب تبیین خطی هر یک از غلظت‌ها

جدول۲. درصد خطای مدل عددی با نتایج مدل آزمایشگاهی

نوع رسوب	تنش برشی آزمایشگاهی $\left(\frac{N}{m^2}\right)$	فرسایش آزمایشگاهی × ۱۰^۴ $\left(\frac{kg}{m^2s}\right)$	تنش برشی مدل $\left(\frac{N}{m^2}\right)$	فرسایش مدل × ۱۰^۴ $\left(\frac{kg}{m^2s}\right)$	درصد خطا
۱	۰/۷۷	۳۰۰/۰۹	۰/۷۵	۲۸۵/۴۱	۴
۱	۰/۶۵	۱۴۸/۲۹	۰/۶۳	۱۴۲/۲۳	۴
۱	۰/۴۹	۱۹/۶۵	۰/۴۷	۱۸/۸۸	۴/۵
۱	۰/۳۳	۲/۴۷	۰/۳۲	۲/۲۵	۹
۱	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۰۸	۹/۱
۳	۰/۰۷	۲/۱۲	۰/۰۷	۲/۰۱	۵
۳	۰/۱۳	۶/۹۶	۰/۱۲	۶/۵	۶
۳	۰/۱۷	۱۵/۰۶	۰/۱۶	۱۴/۶	۲/۷
۳	۰/۱۹	۱۹/۴۵	۰/۱۸	۱۸/۸	۳/۱
۵	۱/۹	۰/۷۳	۱/۹۱	۰/۷۷	۶/۴
۵	۲/۳۵	۳/۶	۲/۳۷	۳/۷۱	۳
۵	۳/۱	۳۰/۸۹	۳/۱۳	۳۲/۴۵	۵
۵	۳/۵۵	۹۰/۳۷	۳/۵۹	۹۳/۲۳	۳/۱
۵	۳/۸۵	۱۷۴/۷۷	۳/۷۴	۱۵۸/۷	۹/۲

میزان فرسایش به‌دست آمده از مدل با مقادیر آزمایشگاهی در حالت جریان یکنواخت مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته و نتایج در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌طور که در ستون آخر جدول دیده می‌شود درصد خطا زیر ۱۰٪ می‌باشد که در حد قابل قبول است.

همان‌طور که قبلا اشاره گردید، عوامل مؤثر در پدیده فرسایش شامل عوامل هیدورلیکی، خصوصیات سیال و خصوصیات رسوب موجود می‌باشد. در رابطه با رسوبات چسبنده محققین مختلف برای توصیف رفتار این رسوبات در مقابل تغییرات جریان، سعی بر ارائه رابطه‌های خطی و یا نمایی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]

فرسایش بر پایه تنش برشی بستر، تنش برشی بحرانی فرسایش و هم‌چنین ضرایب آزمایشگاهی کرده‌اند. در بخش بعد سعی شده است که نرخ فرسایش رسوبات چسبنده را همانند رسوبات غیرچسبنده به مشخصه‌های اصلی آنها از جمله میزان چسبندگی و تنش برشی تسلیم و هم‌چنین به پارامترهای جریان از جمله عمق و سرعت وابسته گردد.

بی‌بعدسازی

بی‌بعدسازی از جمله مهم‌ترین روش‌های پردازش داده‌ها می‌باشد. عدم وابستگی به سیستم آحاد و تعمیم‌پذیر بودن نتایج حاصل از آزمایش‌ها از بارزترین مزایای بی‌بعدسازی می‌باشد. تئوری باکینگهام از جمله رایج‌ترین روش‌های تحلیل ابعادی است که در این تحقیق به‌منظور تعیین میزان فرسایش از این روش استفاده شده است. پارامترهای مؤثر بر نرخ فرسایش رسوبات چسبنده توسط رابطه (۵) ارائه شده است.

$$E_v = f(y, V, \rho_s, \rho_w, \tau_y, g, \mu) \qquad [۵]$$

که در رابطه بالا y عمق جریان، V سرعت جریان، ρ_s چگالی ذرات، ρ_w چگالی آب، τ_y تنش برشی تسلیم، g شتاب گرانش زمین و μ لزجت سیال می‌باشند. با تحلیل ابعادی و استفاده از تئوری باکینگهام رابطه(۶) به‌دست می آید.

$$\frac{E_v}{\rho_w V} = f(Fr, \frac{Vy}{\nu}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{V}{\sqrt{\tau_y / \rho_w}}) \qquad [٦]$$

گسترش داده‌ها

رابطه (۶) نشان می‌دهد نرخ فرسایش به چهار عامل بدون بعد بستگی دارد. تحقیقات انجام شده توسط حسینی و همکاران نشان می دهد که اعداد $\frac{V}{\sqrt{\tau_y / \rho_w}}$ ، Fr و $\frac{Vy}{\nu}$ به‌ترتیب بیشترین تأثیر در نرخ فرسایش را دارند(۱). از آنجایی که عدد بی‌بعد ρs/ ρw تقریباً برای کلیه آزمایشات انجام شده مقداری ثابت است و همچنین در طبیعت بازه تغییرات آن کم می باشد لذا از تاثیر تغییرات آت صرف نظر شده است.

پس از صحت‌سنجی مدل عددی، پارامترهای مربوط به جریان و هم‌چنین میزان رسوبات حمل شده در نتیجه تغییرات دبی جریان که در نرم‌افزاراعمال می‌گردد، به‌دست می‌آید. بدین‌ترتیب با نتاج به‌دست آمده، اعداد بدون بعد بیشتری جهت ارزیابی و نتیجه‌گیری حاصل گردیده اند.

ارائه رابطه رگرسیونی فرسایش

رابطه میان نرخ فرسایش و اعداد بی‌بعد به‌صورت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که نرخ فرسایش بدون بعد تابع نمایی از هر کدام از پارامترهای بدون بعد مستقل می‌باشد، لذا در فرم ترکیب‌شده نیز این پارامترها به‌صورت نمایی ظاهر خواهند شد. ترکیب این پارامترها به‌صورت جمع، ضرب و توانی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت رابطه خطی به عنوان مناسب‌ترین رابطه رگرسیونی انتخاب گردید که توسط رابطه (۷) ارائه شده است. البته باید توجه داشت که این رابطه برای جریانهایی که در آنها تنش برشی بستر از تنش برشی بحرانی فرسایش برای رسوب بیشتر باشد صادق می باشد..

$$E_v = ۰/۳۳\rho_w V\alpha\left(e^{\beta Fr} + e^{\lambda Re} + e^{\omega\frac{V}{\sqrt{\tau_y/\rho_w}}}\right) \qquad [۷]$$

بررسی‌های تکمیلی نشان داد که این پارامترها وابستگی بیشتری به غلظت رسوبات بستر دارند و دیگر خصوصیات نیز به غلظت رسوبات وابسته است. بنابراین ضرایب ثابت معادله تابع غلظت رسوبات مطابق روابط (۷-۱) تا (۷-۴) ارائه شده‌اند. مقادیر به‌دست آمده از پنج رسوب مورد مطالعه در مقابل غلظت آنها در شکل (۴) دیده می‌شود.

با توجه به شکل (۴) می‌توان از روابط زیر ثابت‌های رابطه (۷) را برای هر نوع رسوب با غلظت‌های مختلف به دست آورد.

$$\alpha = ۳\times۱۰^{-۱۲}C^{۲} - ۲\times۱۰^{-۹}C + ۲\times۱۰^{-۷} \qquad [۱-۷]$$

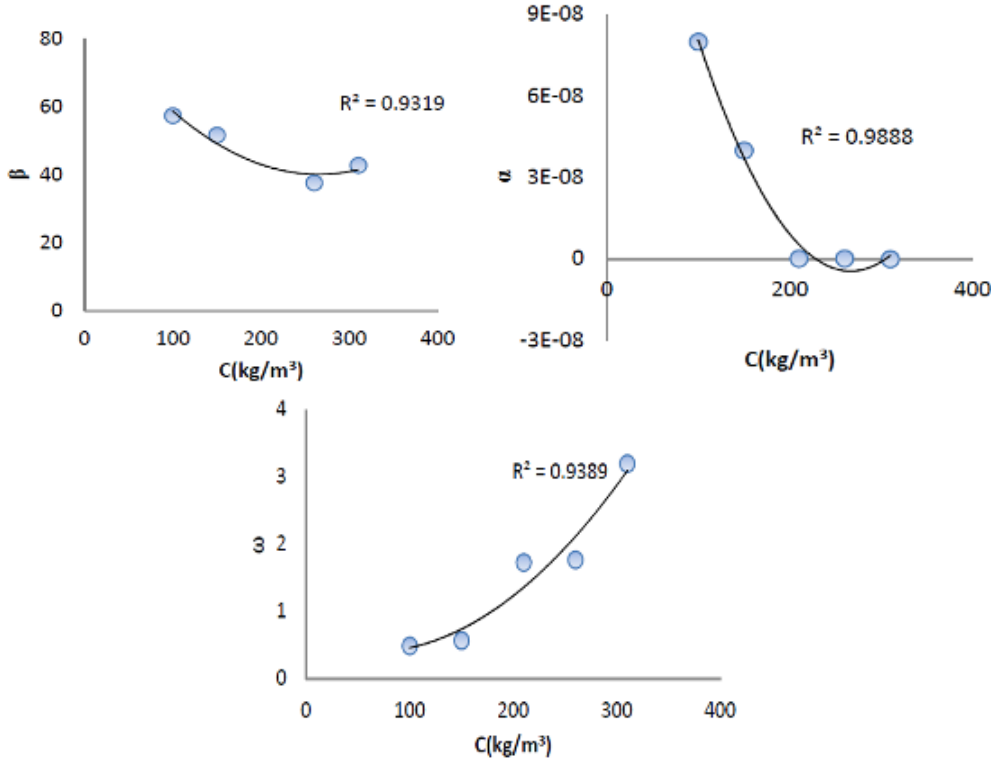
$$\beta = ۰/۰۰۰۷C^{۲} - ۰/۳۶۱C + ۸۷/۹۷۶ \qquad [۲-۷]$$

$$\omega = ۴\times۱۰^{-۵}C^{۲} - ۰/۰۰۵۴C + ۰/۵۵۷۵ \qquad [۳-۷]$$

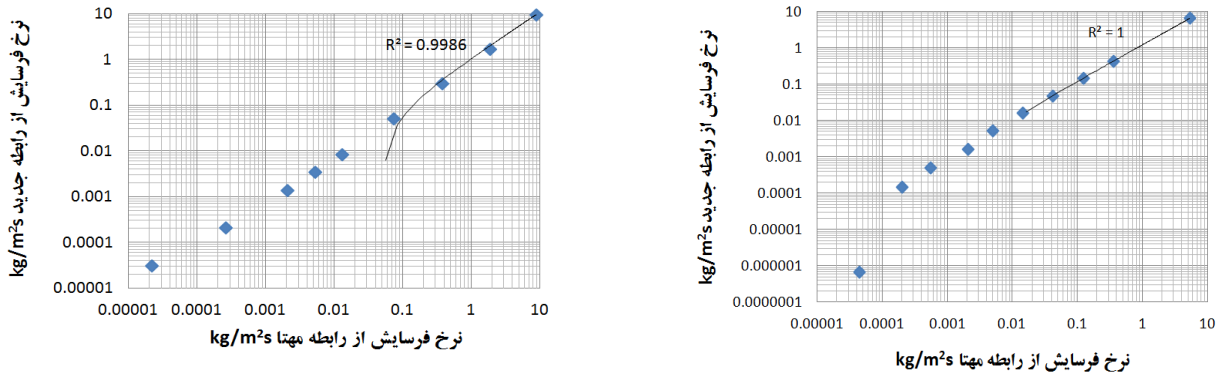
$$\lambda = ۱\times۱۰^{-۵} \quad Re \le ۱۰^{۶}$$
$$\lambda = ۲\times۱۰^{-۵} \quad Re > ۱۰^{۶} \qquad [۴-۷]$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]



شکل۴. مقادیر ضرایب α و β و ω در مقابل غلظت‌های مختلف



(ب) (الف)

شکل۵. مقایسه مقدار نرخ فرسایش از رابطه مهتا و رابطه ارائه‌شده در تحقیق برای غلظت رسوب ۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب (شکل الف) و غلظت رسوب ۳۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب(شکل ب)

مقایسه رابطه رگرسیونی ارائه شده در تحقیق با رابطه مهتا در غلظت‌های مختلف رسوب

باتوجه به نتایج حاصل از رابطه مهتا برای داده‌های آزمایشگاهی حسینی و نیز رابطه ارائه شده در این تحقیق به مقایسه نرخ فرسایش میان این دو رابطه پرداخته شده است و نتایج آن در شکل (۵) مقایسه گردیده است که همبستگی مناسبی با نتایج مهتا نشان می دهد. علاوه براین، نتایج ارائه شده مبتنی بر پارامترهای‌ی است که براحتی در آزمایش های متداول مکانیک خاک در آزمایشگاه قابل حصول می باشند .

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]

نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی بر آن شده است که باتوجه به محدودبودن روابط ارائه شده برای تعیین فرسایش رسوبات چسبنده توسط محققین، به ارائه رابطه‌ای جامع باتوجه به شرایط جریان و رسوب پرداخته شود. برای این‌منظور از نتایج آزمایشگاهی حسینی برای رسوبات چسبنده استفاده گردید که در آنها از پارامترهایی هم‌چون تنش برشی تسلیم و غلظت رسوبات بهره برده است. در مرحله بعد، با استفاده از نرم‌افزار Mike21 و حل عددی جریان و رسوب و بهره گیری از نتایج آزمایشگاهی، ضرایب ثابت برای رابطه نرخ فرسایش تابع تنش برشی بستر، تعیین گردیدند. پس از صحت‌سنجی مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی، ابتدا داده‌های آزمایشگاهی توسعه داده شدند و سپس به کمک تئوری باکینگهام اعدادی بدون بعد باتوجه به پارامترهای مؤثر به‌دست آمد. این تحقیق نشان داد که می‌توان در مواردی که تعداد داده‌های آزمایشگاهی برای تحلیل‌های آماری کافی نمی‌باشند، با استفاده از روش‌های عددی و به کمک آزمون‌های واسنجی و صحت‌سنجی نسبت به تولید اطلاعات جدید اقدام نمود. داده‌های آماری قابل ملاحظه امکان برازش منحنی‌ها و روابط را فراهم می‌سازد. در ادامه، اثر هر یک از پارامترهای بدون بعد بر میزان فرسایش رسوبات چسبنده بررسی گردید و در نهایت رابطه رگرسیونی برای این پارامترها با استفاده از روش‌های آماری تعیین گردید. روابط ارائه شده قبلی برای رسوبات چسبنده، تابع شرایط آزمایشگاهی، نوع و خصوصیات رسوب و خصوصیات فیزیکی محیط آبی ارائه گردیده‌اند. در این تحقیق، برخی از پارامترهای ارائه‌شده برای رابطه نمایی پارامترهای مربوط به جریان می‌باشند که قابل محاسبه یا اندازه‌گیری هستند. پارامترهای وابسته به خصوصیات رسوب به غلظت رسوب مرتبط شده‌اند. این‌رابطه، نسبت به دیگر روابط ارائه شده توسط محققین پیشین از سادگی بیشتری در خصوص استحصال پارامترهای مربوط به رسوبات می باشد.

نتایج خروجی‌های رابطه رگرسیونی و مقایسه آن با رابطه مهتا نشان می‌دهد که رابطه ارائه شده ضمن داشتن همبستگی زیاد با رابطه مهتا، دارای مزایایی نسبت به رابطه مهتا می‌باشد. ثابت‌های رابطه مهتا بایستی در آزمایشگاه با انجام آزمایشات متعدد برای هر نوع رسوب تعیین گردند درصورتی‌که در رابطه رگرسیونی ارائه شده، به‌دست آوردن ثابت‌های رابطه، تنها با انجام آزمایشات ساده مکانیک خاک امکان‌پذیر می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. خیرخواهان م.۱۳۹۱. مدل‌سازی فرسایش رسوبات چسبنده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سمنان.

2. Dunn, I. S. 1959. Tractive Resistance of Cohesive Channels, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, No. SM3, Proc.Paper, PP. 1-24.
3. Fortes Lopes, José, João Miguel Dias, Ivan Dekeyser. 2006. Numerical modeling of cohesive sediments transport in the Ria de Aveiro lagoon, Portugal, Journal of Hydrology 319(1–4): 176-198.
4. Hosseini, K. 1999. Relation between the yield stress and the un-drained cohesion in soft cohesive sediments; connection with the sedimentary dynamic. Thesis, Nantes University.
5. Jazayeri Shooshtari, M. and Soltanpour, M. 2008. Two-dimensional modeling of suspended cohesive sediment transport, Eighth International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, Ports and Shipping Organization, Tehran, Iran.
6. Mehta, A.J., Hayter, E.J., Parker, W.R., Krone, R.B., Teeter. 1989. A.M Cohesive Sediment Transport. I: Process Description. Journal of Hydraulic Eng. 115(8): 1076-1093.
7. Partheniades., E. 2009. *Cohesive sediments in open channels properties,transport and applications,* Elsevier.
8. Raudkivi , A.J. 1998. Loose Boundary Hydraulics , A.A. Balkema , Rotterdam , The Netherlands, pp.271.311.
9. Ravisanger , V., K.E.Dennett , T.W.Sturm , and A.Amirtharajah. 2001. Effect of pH on Resuspension of Kaolinite Sediments, Journal of Hydraulic Engineering 124(12): 1261-1267.
10. Sanford, L.P. and Maa, J.P. 2001. A unified erosion for mulation for fine sediments, Marine Geology, 179: 9–23.
11. Van Rijn , L. 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, Aqua Publication, The Netherlands.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]

12. Wu,Y. , R.A. Falconer, R.J. Uncles. 1999. Modelling of Water Flows and Cohesive Sediment Fluxes in the Humber Estuary, UK, Marine Pollution Bulletin 37(3–7): 182-189.
13. Winterwerp, J. 2002. On the flocculation and settling velocity of estuarine mud, Continental Shelf Research, 22: 1339–1360.
14. Xiaobo Chao, Yafei Jia, F. Douglas Shields Jr., Sam S.Y. Wang, Charles M. Cooper. 2008. Three-dimensional numerical modeling of cohesive sediment transport and wind wave impact in a shallow oxbow lake, Advances in Water Resources 31(7): 1004-1014.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.30.9]