

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 14
No. 3 (55)

Received:
2024-04-20

Accepted:
2024-09-27

Pages: 15-26

Laboratory Study of the Effects of Grain Size and Boundary Reynolds Number on Displacement Number and Stability Number against Relative Roughness on Movement Threshold in River Bed Loads

Jalal Soltani Parishan¹, Alireza Zamani Nouri^{2*} and Hossein Hassanpour Darvishi³

1) Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2) Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3) Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding author email: Dr.zamani1979@gmail.com

Abstract:

Background and Aim: The presence of suspended sediments in water crossings of water transfer structures leads to a reduction in the flow cross-section and an increase in roughness, which consequently results in decreased discharge of the structure. The rivers in our country carry a higher sediment load compared to rivers around the world. This indicates the severity of erosion, the poor condition of natural resources, excessive pressure on pastures, destruction of forest lands, and inappropriate exploitation of agricultural lands.

Method: One of the important issues that play a fundamental role in river hydraulics is the prediction of threshold conditions and the initial movement of riverbed particles. In general, the moment when particles start to move is referred to as the threshold of movement, which is usually observed visually. Given that clear water conditions are more suitable for observing particle movement, most researchers have studied the threshold of movement under clear water conditions. However, considering that in nature, river water always transports sediments as well, there has not yet been any laboratory research on the effect of suspended sediment concentration on the threshold of movement due to the difficulties in observing particle movement and the challenges in conducting experiments. So, in this article the experiments conducted in the laboratory on five different grain size samples are initially described. The focus became on the threshold of particle movement in non-cohesive sediments in riverbeds under two conditions: clear water and suspended load. A comparison of these two conditions became made in a laboratory setting. Subsequently, calculations are performed based on the obtained results, including the dimensionless particle diameter, mobility number, critical shear velocity, particle stability number, boundary Reynolds number, relative roughness parameter, and settling velocity and compared to the comparison of the diagram with the relationships and results of other researchers in the diagram, as well as comparing the data on the provided threshold curves (alternative methods).

Results: Meanwhile, the results of particles in the range of 0.5 to 15 mm show that the stability number changes in the range of 1.7 to 2.8. The results of the experiments have shown that the conditions of the movement threshold in bed sediments are not only dependent on the size of particles and sediments, but also related to the water. Using the mobility number $\frac{u_*}{w_s}$ as a function of R_*^* has certain advantages over Shields mobility function (θ_{cr}) and with the increase of relative roughness, a decreasing trend in particle stability is obtained.

Conclusion: As much as the amount of suspended load increases, the critical shear stress of the flow at the threshold of particle movement (τ_c) increases. Therefore, the greater shear stress in the state of suspended load compared to the shear stress of clear water will lead to earlier observation of the movement of bed particles in the state of suspended load. With the increase of the suspended load in each section of the river, the destructive effects and sedimentation increases in the upstream.

Keywords: Incipient Motion; Mobility Number; Diameter without grain dimension; particle stability number; Relative roughness parameter



شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۴۸۰
شاپا الکترونیکی: ۲۲۵۰-۷۴۰۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال چهاردهم

شماره ۳ (۵۵)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۸/۱۲

صفحات: ۲۶-۱۵

بررسی آزمایشگاهی اثرات اندازه دانه و عدد رینولدز مرزی در عدد جابجایی و عدد پایداری در مقابل زبری نسبی بر آستانه حرکت در بارهای بستر رودخانه‌ها

جلال سلطانی پریشان^۱، علیرضا زمانی نوری^{۲*} و حسین حسن پور درویشی^۳

(۱) گروه مهندسی عمران، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۲) گروه مهندسی عمران، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) گروه مهندسی عمران، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: dr.zamani1979@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: آنگذری در سازه‌های انتقال آب بدلیل وجود رسوبات معلق در آب باعث کاهش سطح مقطع جریان و همچنین افزایش زبری می‌شود که در نتیجه کاهش آبدهی سازه را بدنبال خواهد داشت. رودخانه‌های کشورمان در مقایسه با رودخانه‌های جهان رسوب بالایی را با خود حمل می‌کنند. این امر نشان دهنده شدت فرسایش و وضعیت نامناسب منابع طبیعی، فشار بیش از حد به مراتع، تخریب اراضی جنگلی و بهره‌برداری نامناسب از اراضی کشاورزی می‌باشد.

روش پژوهش: یکی از مسائل مهمی که در هیدرولیک رودخانه نقش اساسی دارد موضوع پیش بینی شرایط آستانه و حرکت اولیه ذرات بستر رودخانه می‌باشد. بطور کلی لحظه‌ای را که ذرات شروع به حرکت می‌کنند اصطلاحاً آستانه حرکت می‌نامند که معمولاً به صورت مشاهده عینی صورت می‌پذیرد و با توجه به اینکه شرایط آب زلال برای مشاهده حرکت ذرات مناسب‌تر است، لذا اکثر محققین آستانه حرکت را در شرایط آب زلال بررسی نموده‌اند حال نظر به اینکه در طبیعت، آب رودخانه‌ها همراه خود رسوبات را نیز انتقال می‌دهند تاکنون تحقیقی در زمینه تاثیر غلظت رسوب معلق در آستانه حرکت به صورت آزمایشگاهی بدلیل رویت نامناسب حرکت ذرات و سختی‌های اجرایی نشده است، لذا در این مقاله در ابتدا موارد صورت گرفته در محیط آزمایشگاه بر روی ۵ نمونه دانه‌بندی شرح داده شده و در مورد آستانه حرکت ذرات رسوبات غیر چسبنده در بستر رودخانه در دو حالت آب زلال و بار معلق و مقایسه این دو حالت در شرایط آزمایشگاهی پرداخته شد و سپس با نتایج کسب شده نسبت به انجام محاسبات قطر بدون بعد دانه، عدد قابلیت حرکت، سرعت برشی بحرانی، عدد پایداری ذره، عدد رینولدز مرزی، پارامتر زبری نسبی و سرعت ته نشینی اقدام نموده و نسبت به مقایسه نموداری با روابط و نتایج دیگر محققین در نمودار و همچنین تطبیق داده‌ها بر روی منحنی‌های آستانه ارائه شده (روش‌های جایگزین) پرداخته شد.

یافته‌ها: نتایج ذرات در بازه ۰/۵ تا ۱۵ میلیمتر نشان می‌دهد که عدد پایداری در بازه ۱/۷ تا ۲/۸ تغییرات دارد. نتایج آزمایشات نشان داده است که شرایط آستانه حرکت در رسوبات بستر نه تنها به اندازه ذرات و رسوبات وابسته بوده بلکه به غلظت آب هم ارتباط دارد. استفاده از عدد قابلیت حرکت $\frac{u_*}{w_s}$ به عنوان یک تابعی از R_* ، مزیت‌های مشخصی نسبت به تابع حرکت شیلدز (θ_{cr}) دارد و با افزایش زبری نسبی یک روند کاهشی در پایداری ذره حاصل می‌گردد.

نتیجه‌گیری: هر چقدر مقدار بار معلق افزایش یابد منجر می‌شود که تنش برشی بحرانی جریان در آستانه حرکت ذره (τ_c) افزایش یابد. لذا بزرگتر بودن تنش برشی در حالت بار معلق نسبت به تنش برشی آب زلال، منجر به مشاهده زودتر حرکت ذرات بستر در حالت بار معلق خواهد شد. با افزایش بار معلق در هر مقطع از رودخانه، اثرات تخریبی و آوردهای رسوبی در بالا دست افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: آستانه حرکت، عدد جابجایی، قطر بدون بعد دانه، عدد پایداری ذره، پارامتر زبری نسبی

مقدمه

رسوبات به همراه جریان آب، حمل می‌شوند و بررسی حرکت رسوبات در رودخانه‌ها به منظور نیل به درک صحیح رفتار هیدرولیکی و ریخت شناسی رودخانه یکی از مسائل مهم در بحث‌های مهندسی رودخانه می‌باشد. رسوبات رودخانه‌ای به دو صورت منتقل می‌شوند، یا این مواد در جریان غوطه‌ور هستند و همراه با آب در حرکت هستند که به آنها مواد رسوبی معلق گفته می‌شود و میزان مواد رسوبی معلق را که در واحد زمان از یک مقطع از یک رودخانه عبور کند بار معلق می‌نامند. از طرفی مواد رسوبی سنگین‌تر به شکل‌های لغزیدن، غلتیدن و گاه‌با پرش‌های ناگهانی در طول مسیر کانال حرکت نماید که به آنها بار بستر می‌گویند. نوع حرکت، به صورت بار معلق و یا بار بستر بستگی به خصوصیات مواد رسوبی، شرایط جریان و خصوصیات رودخانه دارد. (Marwan A, 2020) برای مهندسی هیدرولیک تعیین حد متوسطی به عنوان آستانه حرکت ذرات حائز اهمیت می‌باشد زیرا چنانچه شرایط هیدرولیکی در این لحظه معلوم و مشخص باشد می‌توان از آن در حل مسائلی نظیر طرحی کانالهای خاکی پایدار (طرح کانال بدون فرسایش)، یافتن الگویی مناسب برای طراحی کانالهای آبیاری بتنی جهت به حداقل رساندن روسوگذاری، طراحی اندازه سنگ فرش برای جلوگیری از فرسایش بستر و بدنه کانال، محاسبه مقدار رسوب حمل شده توسط جریان در رودخانه‌ها استفاده کرد. (magdalen m, 2018) جهت بدست آوردن آستانه حرکت ابتدا از طریق آزمایش نمودن مستقیم بر روی دانه‌های بستر رودخانه کرج نسبت به اندازه گیری پارامترهای تعیین کننده آستانه حرکت نسبت به نمونه‌برداری بار معلق و بار کف اقدام شد و نتایج با روش‌های تئوری و منحنی‌های اصلاح شده شیلدز و همپنین سایر روابط تجربی محققین، برازش گردید.

مواد و روش‌ها

شیلدز جهت آستانه حرکت آنالیز بعدی را عملی کرد. در این راستا محققین بازنگری‌های متعدد و البته استفاده از کلیات شیلدز صورت دادند که نهایتاً منجر به مشتق شدن منحنی‌هایی گردید که در دسترس می‌باشد. (Miller 1977, Mantz 1977, Yalin & Karahan 1979, Buffington & Montgomery 1997). ایراد نمودار شیلدز این است که سرعت برشی در هر دو محور حضور دارد. بعضی از محققان (Young 1973, Yalin 1972) ادعا کرده‌اند که استفاده از سرعت برشی بحرانی u_c^* و تنش برشی بستر τ_c در طول و عرض منحنی شیلدز (به ترتیب به عنوان متغیرهای وابسته و مستقل) می‌تواند در تفسیر مشکلاتی ایجاد کند، چون آنها قابل جایگزین هستند (از طریق $u_c^* = \sqrt{\tau_c/\rho}$, Paphitis).

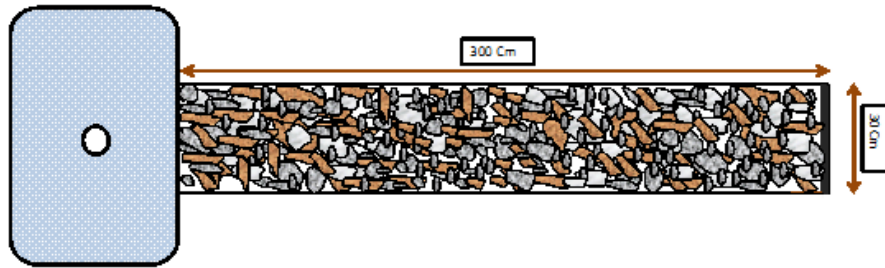
(2001) در نتیجه، تنش برشی بحرانی بستر را نمی‌توان به‌طور مستقیم از منحنی شیلدز به دست آورد، اما به یک روش تکراری نیاز داریم. به منظور جلوگیری از راه حل‌های آزمون و خطا، پارامترهای جایگزین توسط برخی از محققان پیشنهاد شده‌اند که امکان محاسبه مستقیم سرعت برشی بحرانی (یا تنش برشی بحرانی) را از طریق تابع حرکت (θ_{cr}) بدون متوسل شدن به یک روند تکراری را فراهم می‌کنند. مشکل را می‌توان با استفاده از قطر بدون بُعد دانه که به صورت زیر تعریف می‌شود دور زد:

$$D_* = \left[\frac{(G_s - 1)g}{v^2} \right]^{\frac{1}{3}} D_s \quad (1)$$

معادله (الف) به طور مرسوم در منحنی‌های آستانه حرکت مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Fan Rin 1993) (Liu 1958) این گروه بندی بی‌بعد را با استفاده از $\frac{u_*^*}{w_s}$ ، عدد جابجایی (Collins & Rigler, 1982) گسترش داد که می‌توان از این عدد به عنوان جایگزینی برای رابطه حمل شیلدز استفاده نمود. در این عدد بی‌بعد، w_s سرعت ته‌نشینی ذرات می‌باشد. در این معادله، عدد قابلیت حرکت^۱ (Named by Collins and Reiler 1982) به عنوان جایگزین برای تابع حرکت شیلدز مورد استفاده قرار گرفته است. در حال حاضر معادلات زیادی برای توضیح دادن و توجیه کردن منحنی اولیه شیلدز وجود دارند. (Bonnefille, 1963) یکی از اولین-هایی بود که آستانه را با استفاده از D_* و بدون محاسبه u_c^* با آزمون و خطا معرفی کرد. (Paphitis, 2001) تجزیه و تحلیل مشابهی با استفاده از D_* به جای R_e^* انجام داد. وی همچنین عدد قابلیت حرکت یعنی $\frac{u_*^*}{w_s}$ را به عنوان تابعی از R_e^* ترسیم کرد و فرمول‌های تحلیلی ارائه کرد که منحنی تک خطی و محدودیت‌های محدودده‌ها را توصیف می‌کرد.

نحوه انجام آزمایشات

این آزمایش با هدف بدست آوردن آستانه حرکت ذرات بستر رودخانه با دو شرایط آب زلال و بار معلق صورت پذیرفت. در شرایط واقعی، جریان آب در رودخانه‌ها همراه با بار معلق می‌باشد و در واقع در هیچ مقطعی از رودخانه امکان عدم وجود بار معلق وجود ندارد. به منظور شناخت رفتار حرکت رسوبات در بستر رودخانه، در شرایط بارمعلق، نیازمند ایجاد شرایطی مشابه در آزمایشگاه بوده، که در این راستا نمونه‌ای از این محیط در آزمایشگاه ایجاد گردید. به همین منظور از یک مدل آزمایشگاهی (فلوم) از جنس شیشه (ضخامت یک سانتی‌متر) با مقطع مستطیلی به عرض ۳۰ سانتی‌متر و طول ۳۰۰ سانتی‌متر مطابق شکل ۱ استفاده شد. ارتفاع فلوم جهت اندازه گیری عمق هیدرولیکی در سطح جریان مدرج گردید. در ورودی این فلوم از یک مخزن به ابعاد ۵۰ سانتی‌متر در ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰



شکل ۱. فلوم مورد استفاده در آزمایش

وضعیت آب زلال و بار معلق برای ۵ دانه‌بندی در بستر فلوم انجام شد. دانه‌های مربوط به وضعیت جدید در انتهای فلوم قرار گرفتند و سپس تمامی مراحل با دانه‌بندی جدید در دو حالت آب زلال و بار معلق انجام شد. بار معلق را با ریختن ماسه بادی در مخزنی در ابتدای فلوم مطابق شکل ۱ ایجاد کرده و سپس پمپ آب را روشن می‌کنیم. دانه‌های بستر در هنگام عبور بار معلق از بستر مشاهده شد و به شرط عدم حرکت در دانه‌های بستر، دبی با اهرم افزایش پیدا می‌کرد و این افزایش تا مشاهده حرکت ضعیف ذرات ادامه داشت. به محض مشاهده حرکت ذرات در بستر، عمق هیدرولیکی و دبی حجمی بدست آمد و نمونه‌ای از عبور بار معلق از بستر فلوم از طریق بشر تهیه شد. برای دستیابی به دبی حجمی از مخزن با حجم معین مطابق شکل ۲ استفاده شد و با استفاده از گیج و کرومومتر، حجم و زمان پر شدن مخزن بدست آمد. شکل ۳ عکسی از محل آزمایشگاه و شکل ۴ بستر سازی ابتدا و انتهای فلوم و شکل ۵ حرکت جریان اولیه بر روی بستر فلوم و شکل ۶ افزایش دبی جهت رسیدن به آستانه حرکت و شکل ۷ اندازه‌گیری عمق هیدرولیکی در زمان مشاهده آستانه حرکت، که مجموعاً روند اجرایی پروژه را نشان می‌دهد در قالب تصویر ارائه شده است.

سانتی‌متر به منظور از بین بردن تلاطم‌های آب و همچنین جهت بوجود آوردن فضایی برای ایجاد بار معلق در فلوم استفاده گردید آب از طریق یک پمپ به قسمت ورودی مدل، پمپاژ و پس از عبور سرریز^۲ وارد فلوم می‌گردد.

با توجه به اینکه بستر رودخانه مجموعه‌ای از تک‌تک دانه‌ها است لازم است که درصد اجزا بستر رودخانه تعیین شود. دانه بندی استفاده شده در این آزمایش از نتیجه الک کردن دانه‌های بستر رودخانه کرج انتخاب گردید. نتایج آزمایشات مکانیک خاک بر روی بستر رودخانه کرج نشان داد که ۵ دانه بندی با قطر به شرح ۱۵، ۱۰، ۷/۵، ۴ و ۲ میلی‌متر بیشترین ابعاد ذرات تشکیل دهنده در بستر رودخانه مذکور می‌باشند لذا با توجه به روش الک، دانه‌ها به میزان مورد نیاز از بستر رودخانه برداشت گردید. روش کار به این صورت است: برای کلیه آزمایشات در ۵۰ سانتی‌متر ابتدا و ۵۰ سانتی‌متر انتهای مدل را با قلوه سنگ پر می‌گردید که این قلوه سنگ‌ها جریان خروجی^۳ از مخزن ورودی فلوم را تنظیم و از آب‌شستگی^۴ و کف‌کنی^۵ و نهایتاً بالا آمدن بستر مدل جلوگیری می‌نمود. در بین این دو قسمت (قلوه سنگ‌ها)، دانه‌هایی که نیازمند بررسی آستانه حرکت بر روی آنها می‌باشد مطابق شکل ۴ قرار داده شد. آزمایش‌ها در دو



شکل ۳. عکسی از محل آزمایشگاه



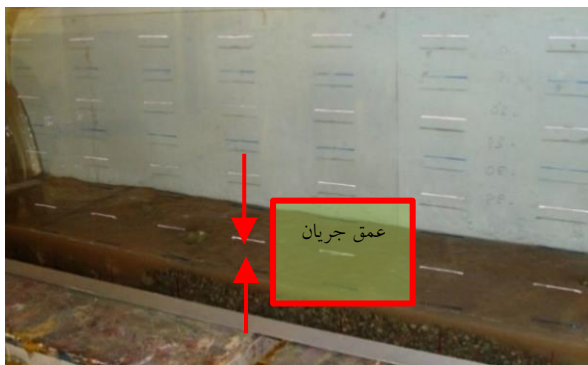
شکل ۲. دستگاه اندازه‌گیری دبی حجمی



شکل ۴. بستر سازی ابتدا و انتهای فلوم



شکل ۵. حرکت جریان اولیه بر روی بستر فلوم



شکل ۷. اندازه‌گیری عمق هیدرولیکی در زمان مشاهده آستانه حرکت



شکل ۶. افزایش دبی جهت رسیدن به آستانه حرکت

نتایج و بحث

نتایج مطابق جدول ۱ خلاصه‌بندی گردید. خروجی اصلی از آزمایشگاه شامل عمق جریان، دبی، سرعت جریان و قطر ذره می‌باشد و بقیه موارد ذکر شده در جدول ۱ از روابط بدست آمده است.

آزمایش‌های رسوب در مبحث آستانه حرکت به مفهوم استاندارد آن، وظایف معین و برنامه کاری مشخصی دارند. در سلسله مراتب این آزمایش هر نمونه رسوب که به آزمایشگاه وارد شد به تناسب

جدول ۱. نتایج خروجی از آزمایشات مربوط به آب زلال

نتایج آب زلال									
ردیف	$d(m)$	$Q\left(\frac{m^3}{s}\right)$	$V\left(\frac{m}{s}\right)$	$D_S(m)$	D_*	R_e^*	$\frac{D_S}{d}$	SN	$\frac{u_*}{W_S}$
۱	۰/۰۳۷	۰/۰۰۷۲	۰/۶۵	۰/۰۰۷۵	۱۹۰/۴	۱۲۷/۵	۰/۲	۱/۸۵	۰/۱۶۹۳۶
۲	۰/۰۳	۰/۰۰۴۷	۰/۵۲	۰/۰۰۴	۱۰۲	۶۸	۰/۳	۲/۰۳	۰/۱۶۸۲۲
۳	۰/۰۲	۰/۰۰۲۴	۰/۴	۰/۰۰۲	۵۱	۲۸	۰/۱	۲/۲	۰/۱۷۵۱
۴	۰/۰۳۸	۰/۰۰۸	۰/۷	۰/۰۱	۲۵۴	۱۷۰	۰/۲۶	۱/۷۵	۰/۱۷۰۷۷
۵	۰/۰۴	۰/۰۰۹۴	۰/۷۸	۰/۰۱۵	۳۸۰/۸	۲۵۵	۰/۳۷۵	۱/۵۷	۰/۱۷۳۳۵

جدول ۲. نتایج خروجی از آزمایشات مربوط به بار معلق

نتایج با بار معلق									
ردیف	$d(m)$	$Q\left(\frac{m^3}{s}\right)$	$V\left(\frac{m}{s}\right)$	$D_S(m)$	D_*	R_e^*	$\frac{D_S}{d}$	SN	$\frac{u_*}{W_S}$
۱	۰/۰۴	۰/۰۰۶۸	۰/۵۷	۰/۰۰۷۵	۱۸۷	۱۳۵	۰/۱۹	۱/۶۵	۰/۱۶۹۶۱
۲	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴۶۲	۰/۴۴	۰/۰۰۴	۱۰۰	۶۶	۰/۱۱	۱/۷۵	۰/۱۶۸۲۶
۳	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲۴	۰/۳۲	۰/۰۰۲	۵۰	۳۱	۰/۰۸	۱/۷۸	۰/۱۷۳۵۳
۴	۰/۰۴	۰/۰۰۷۶	۰/۶۳	۰/۰۱	۲۵۱	۱۸۰	۰/۲۵	۱/۵۸	۰/۱۷۱۱
۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۹	۰/۷۱	۰/۰۱۵	۳۷۵	۲۷۰	۰/۳۵۷	۱/۴۶	۰/۱۷۳۷۶

منحنی تک، میانگین مقادیر آستانه را که توسط (Paphitis, 2001) پیشنهاد شده بودند را نشان می‌دهد، در نمودار ۱ R_e^* در مقابل $\frac{u_*}{W_S}$ هم نشان داده شده است. (Paphitis, 2001) یک فرمول تحلیلی ساده برای عدد قابلیت حرکت به صورت زیر ارائه داد:

$$\frac{u_*}{W_S} = \frac{0.75}{R_e^*} + 14e^{-2R_e^*} + 0.011nR_e^* + 0.115 \quad (0.1 < R_e^* < 10^5)$$

تنش برشی بحرانی بستر را نمی‌توان به طور مستقیم از فرمول (Paphitis, 2001) (فرمول ب) به دست آورد بلکه به یک روند تکراری نیاز داریم. بعلاوه، حضور سرعت برشی بحرانی یعنی u_c^* در محور طولی و عرضی دستگاه مختصات می‌تواند باعث تفسیرهای اشتباه شود.

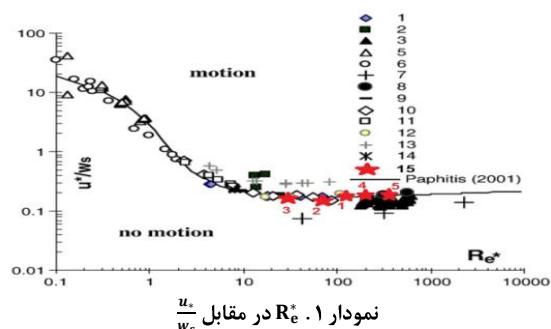
به منظور غلبه بر این نقطه ضعف، یک روش جایگزین در این مطالعه پیشنهاد می‌شود که به ما اجازه محاسبه مستقیم سرعت برشی بحرانی را از طریق عدد قابلیت حرکت بدون متوسل شدن به یک روش تکراری را می‌دهد. در نمودار ۲ D_* در مقابل $\frac{u_*}{W_S}$ عدد قابلیت حرکت در مقابل اندازه بدون بُعد دانه قرار گرفته است. توابع ساده‌ای به داده‌های موجود به صورت زیر وارد شده‌اند:

$$\frac{u_c^*}{W_S} = \begin{cases} 9 \cdot 6674 \times D_*^{-1.57} & D_* \leq 10 \\ 9 \cdot 6674 \times D_*^{-0.226} & D_* > 10 \end{cases}$$

از آنجایی که این معادلات تجربی هستند، نقطه شکست در $D_* = 10$ هیچ اهمیتی از لحاظ فیزیکی ندارد. نمودار ۱ R_e^* در مقابل $\frac{u_*}{W_S}$ و نمودار ۲ D_* در مقابل $\frac{u_*}{W_S}$ پیشرفت قابل توجهی در

بررسی عدد قابلیت حرکت در مقابل عدد رینولدز مرزی و پیش بینی سرعت برشی بحرانی استفاده از عدد قابلیت حرکت $\frac{u_*}{W_S}$ به عنوان یک تابعی از R_e^* مزیت های مشخصی نسبت به تابع حرکت شیلدز (θ_{cr}) دارد، دلیل این مزیت این است که بکارگیری سرعت تنشینی با به کارگیری هر شکلی که بر تعیین آستانه اثر می‌گذارد، همراه است. (Collins & Rigler, 1982) و (Kumar & Clemens 1986).

عدد قابلیت حرکت به عنوان تابعی از عدد رینولدز مرزی دانه در نمودار ۱ R_e^* در مقابل $\frac{u_*}{W_S}$ ترسیم شده است. داده‌های آزمایشی، پراکندگی قابل توجهی را نمایش می‌دهند و می‌توان آنها را به جای منحنی کاملاً مشخص به عنوان یک نوار تفسیر کرد. وجود تفاوت در ابتدا به دلیل شکل ذره، ماهیت بدون ترتیب فرآیند حرکت و دشوار بودن تعریف معیارهایی که به اندازه کافی از این ویژگی‌ها برخوردار هستند می‌باشد، از طرفی ممکن است فاکتورهای دیگر هم نقشی داشته باشند.



و محیط سیال در نظر گرفته شده توسط محققین، همه منابع مورد استفاده را با ذکر مواد و سیال بکار گرفته شده در آزمایش‌ها خلاصه می‌کند. در مجموع، ۱۵۳ داده‌ی اندازه‌گیری مستقل در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۳. اطلاعات مربوط به مصالح رسوبی و محیط سیال در نظر گرفته شده توسط محققین

ردیف	منبع اطلاعات	مواد / سیال
۱	رائو و سیتارام (۱۹۹۹)	ماسه/آب
۲	سارمینتو و فالکون (۲۰۰۶)	ماسه/آب
۳	دی و راجو (۲۰۰۲)	شن، زغال سنگ/آب
۴	دنسی و همکاران (۲۰۰۲)	مهره شیشه‌ای کروی/آب
۵	مانتر (۱۹۷۷)	ماسه/آب
۶	سفید (۱۹۷۰)	ماسه، سیلیس خرد شده، شیشه سرب کره/آب
۷	پینتال (۱۹۷۱)	شن/آب
۸	گیلبرت (۱۹۱۴)	ماسه/آب
۹	کرامر (۱۹۳۵)	ماسه/آب
۱۰	کیسی (۱۹۳۵)	ماسه/آب
۱۱	یوزوز (۱۹۳۵)	ماسه/آب
۱۲	شیلدز (۱۹۳۶)	ماسه، گرانیت، قطعات/آب
۱۳	دی و دنبات (۲۰۰۰)	ماسه/آب
۱۴	کوهنل (۱۹۹۳)	ماسه، شن/آب
۱۵	این مطالعه (۲۰۲۴)	ماسه، شن/آب

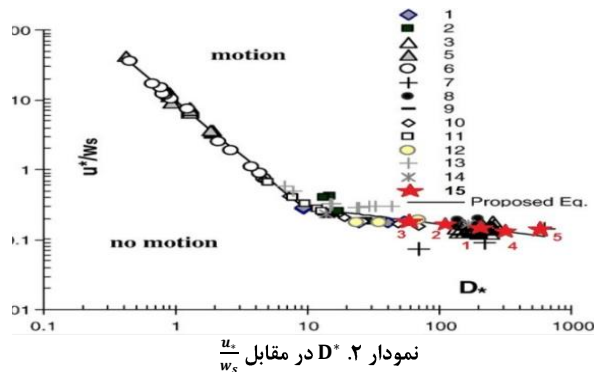
پیش‌بینی سرعت برشی بحرانی با استفاده از عدد قابلیت حرکت در مقایسه با فرمول‌های موجود مبتنی بر تابع حرکت شیلدز، از خود نشان می‌دهند. در نمودار ۱ در مقابل R_e^* و نمودار $D^* 2$ در مقابل $\frac{u_*}{w_s}$ به منظور برآورده کردن الزامات محاسبه سرعت ته نشینی، تنها از آزمایش‌هایی استفاده می‌شود که در آنها از رسوب با چگالی نزدیک به $2 \cdot 65 \frac{kg}{m^3}$ و آب به عنوان سیال استفاده شده است. در مجموع ۱۰۷ مجموعه اندازه‌گیری مستقل، مناسب بودند و برای R_e^* دامنه‌ای بین 0.1 – 23.04 داشتند، برای d دامنه‌ای بین 0.015 – 22.2 داشتند و برای تنش برشی بستر یعنی τ ، دامنه‌ای بین 0.05 – 10.77 داشتند. سرعت‌های ته‌نشینی با استفاده از اندازه و چگالی گزارش شده دانه‌ها و یک رابطه تجربی برای ذرات طبیعی محاسبه می‌شود. (Wu and Wang 2006) یک رابطه کلی برای سرعت ته نشینی به دست آورده‌اند:

$$W_s = \frac{Av}{Bd'} \left[\sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{4B}{3A^2} D_*^3 \right)^{\frac{1}{a}}} - \frac{1}{2} \right]^a \quad (4)$$

به طوری که A ، B و a ضریب هستند و اندازه رسوب براساس قطر اسمی یعنی d' نشان داده شده است. آزمایش‌های انجام شده در برابر داده‌های اندازه‌گیری انجام گرفته توسط (Cheng 1997) نشان داده‌اند که مقادیر A برای رسوبات طبیعی برابر با ۳۲-۳۴ هستند و پیش‌بینی بهتری نسبت به مقدار ۲۴ که با قانون استوکس برای ذرات کروی به دست آمده بود، ارائه می‌دهند. (Wu and Wang 2006) ضرایب A ، B و a را با استفاده از داده‌های گسترده جمع‌آوری شده از کشورها و مناطق مختلف تعیین کرده‌اند:

$$A = 53 \cdot 5 e^{-0.65 S_f}, \quad B = 5 \cdot 065 e^{-2.5 S_f}, \quad a = 0.7 + 0.9 S_f \quad (5)$$

به طوری که S_f یک ضریب شکل گری^۷ می‌باشد. معادله (د) که با ضرایب A ، B و a محاسبه می‌شود، در معادله (و) به کار گرفته می‌شود. این یک رابطه صریح از سرعت ته‌نشینی براساس اندازه رسوب و ضریب شکل مشخص می‌باشد و می‌توان به راحتی از آن استفاده کرد. ضریب شکل گری رسوب مورد استفاده در این مطالعه ۰/۷ در نظر گرفته شده است که معمولاً به عنوان رایج ترین مقدار برای رسوبات با شکل طبیعی در نظر گرفته می‌شود. (Interagency Committee 1957, Dietrich 1982, Cheng 1997, Kamenen 2007) ضریب شکل، در معادله (و) داریم: $B = 0.0$ ، $A = 33 \cdot 9$ ، $a = 1 \cdot 33$ ، همچنین اندازه رسوب در داده‌های جمع-آوری شده در این مطالعه با قطر الک مشخص می‌شوند که تقریباً با تقسیم بر ضریب ۰/۹، به قطر اسمی تبدیل می‌شود. (Raudkivi, 1998) جدول ۳ اطلاعات مربوط به مصالح رسوبی



در نمودارهای فوق نقاط ستاره قرمز مربوط به نتایج مستقیم از آزمایشات می‌باشد که به شرح جداول شماره ۱ و ۲ می‌باشد. لازم به ذکر است از آنجا که نتایج آزمایشات در شرایط آب زلال و بار معلق صرفاً برای بررسی موضوع مذکور تقریباً مشابه است لذا از نقاط میانگین گیری استفاده شده است. نمودار ۱ در مقابل R_e^* تغییرات عدد رینولدز مرزی^۸ در برابر عدد جابجایی و نمودار ۲ در مقابل $D^* 2$ تغییرات دانه-های مشابه در برابر عدد جابجایی را نشان می‌دهند. این نمودارها

$$SN = \frac{v}{\sqrt{g(G_s - 1)D_s}}$$

در نمودار ۳ عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به آب زلال و نمودار ۴ عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به بار معلق عدد پایداری ذره ($s.N$) در مقابل پارامتر زبری نسبی $\left(\frac{D_s}{d}\right)$ ترسیم شده است. این نمودارها مربوط به مقایسه نتایج حاصله از آزمایشات این مطالعه با نتایج دیگر محققین می‌باشد. شکل عمده روابط سرعت جریان به صورت زیر می‌باشد.

(۷)

$$\frac{v_T}{[g(G_s - 1)D_s]^{0.5}} = a \left(\frac{d}{D_s} \right)^m$$

محققین مختلف ضرایب را به صورت جدول ۴ ضرایب a و m در رابطه ۵ با توجه به محققین مختلف در نظر گرفته‌اند.

با اعمال این ضرایب در معادله مذکور به تفکیک هر محقق در دو شرایط آب زلال و بار معلق محاسبه گردیده است که نتایج و خلاصه محاسبات در جدول ۵ عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به آب زلال و جدول ۶ عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به بار معلق آورده شده است.

همانطور که در جدول ۵ عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به آب زلال و جدول ۶ عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به بار معلق مشاهده می‌شود یک روند کاهشی در پایداری ذره در برابر افزایش زبری نسبی^{۱۱} وجود دارد. در رابطه ایسباخ مقدار پارامتر پایداری ذره در برابر مقدار پارامتر زبری نسبی مقدار ثابتی می‌باشد. همچنین مقدار پارامتر پایداری ذره در رابطه استراب و شفافی بجستان نسبت به روابط دیگر بیشتر است البته در رابطه بوگاردی همانطور که در جداول نیز مشاهده

می‌شود از مقدار $\frac{D_s}{d}$ برابر با ۰/۲ به بالا، مقدار بیشتری نسبت به رابطه استراب پیدا می‌کند.

ابتدا توسط (Liu, 1958) ارائه شدند. پارامتر $\frac{u_o}{w_s}$ به عنوان عدد جابجایی در نظر گرفته شده است و در هر دو نمودار، نتایج این آزمایش‌ها که با ستاره‌های قرمز مشخص شده‌اند با نتایج آزمایش‌های دیگر محققان مقایسه شده است و تطبیق نتایج آزمایش‌ها با نتایج مطالعات محققین دیگر وجود دارد و نقاط به دست آمده از آزمون‌ها بر روی منحنی پوش^۹ جاگذاری شده‌اند.

در هر دو نمودار، نقاط بالای منحنی نشان می‌دهند که حرکت در ذرات رسوبی بستر رخ می‌دهد و نقاط روی منحنی نشان می‌دهند که دانه‌های بستر در شرایط آستانه حرکت هستند و نقاط زیر منحنی، نبود حرکت در دانه‌های بستر را نشان می‌دهند. بخش افقی از نمودار مربوط به درشت دانه‌ها است و شرایط آستانه حرکت در عدد رینولدز مرزی تقریباً بالای ۱۰، مشابه است. تفاوت قسمت افقی با قسمت مورب نمودار در اندازه قطر ذرات بستر می‌باشد که هر چه دانه‌های بستر به سمت درشت دانه حرکت نماید به قسمت افقی نمودار نزدیک‌تر می‌شود و هر چه قدر قطر ذرات بستر کاهش یابد تغییرات در شرایط آستانه حرکت نیز با شدت بیشتر تغییر می‌کند. سرعت نشست در بخش افقی منحنی افزایش خواهد یافت و این رابطه مستقیمی با سرعت برشی دارد، بنابراین سرعت برشی هم افزایش خواهد داشت. موقعیت‌هایی با شیب بستر کم نشان می‌دهند که عمق هیدرولیکی کانال کاهش می‌یابد و وضعیت آرامتری برای نشست ذرات معلق در آب ایجاد می‌شود.

7

عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به آب زلال و بار معلق و مقایسه با نتایج محققین دیگر

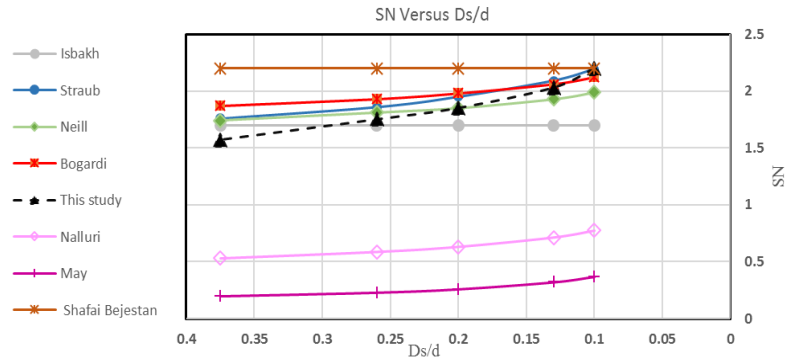
یکی دیگر از روابط بی‌بعد، پارامتر عدد پایداری ذره SN^{10} می‌باشد که با توجه به آنالیز ابعادی و با بی‌بعد کردن پارامترهای موثر در آستانه حرکت رسوبات به صورت نهایی شده زیر درآمده است. که می‌توان با استفاده از پارامتر پایداری ذره و پارامتر بی-

بعد اندازه ذره $\frac{D_s}{d}$ نمودارهایی را استخراج نمود.

(۶)

جدول ۴. ضرایب a و m در رابطه ۵ با توجه به محققین مختلف

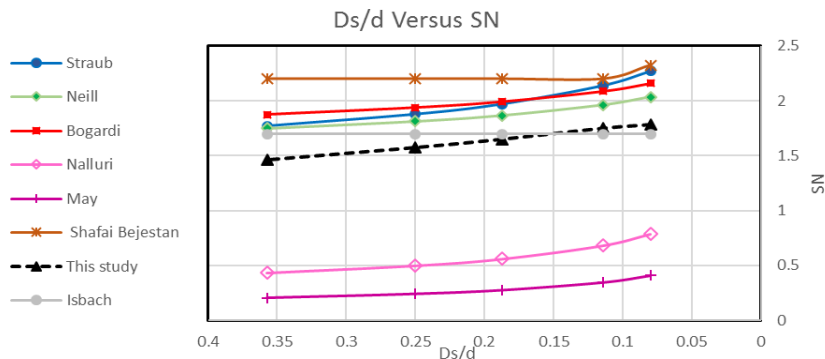
محقق	a	m	توضیحات
استراب (۱۹۵۳)	۱/۴۹	۰/۱۶۷	بستر کانال
نلی (۱۹۳۸)	۱/۵۸	۰/۱	بستر کانال
بوگاردی (۱۹۶۸)	۱/۷۰	۰/۰۹۵	بستر کانال
شفافی بجستان (۱۹۹۰)	۲/۲	۰	$D_s/d < 0.1$ بستر کانال
	۱/۲۳۷	۰/۲۵	$D_s/d > 0.1$ بستر کانال
نالوری و قانی (۱۹۹۶)	۰/۲۸۷	۰/۴	بستر مجاری بسته مستطیلی
می (۲۰۰۳)	۰/۱۲۵	۰/۴۷	بستر مجاری بسته دایره ای
ایسباخ (۱۹۳۶)	۱/۷	۰	بستر کانال



نمودار ۳. عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به آب زلال

جدول ۵. عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به آب زلال

محققین	$\frac{D_s}{d}$	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲	۰/۲۶	۰/۳۷۵
شفاعی بجهستان	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲
ایس باخ	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۷
استراب	۲/۱۹	۲/۰۹	۱/۹۵	۱/۸۶	۱/۷۶	۱/۷۶
نلی	۱/۹۹	۱/۹۳	۱/۸۵	۱/۸۱	۱/۷۴	۱/۷۴
بوگاردی	۲/۱۲	۲/۰۶	۱/۹۸	۱/۹۳	۱/۸۷	۱/۸۷
این مطالعه	۲/۲	۲/۰۳	۱/۸۵	۱/۷۵	۱/۵۷	۱/۵۷
نالوری	۰/۷۷۴	۰/۷۱۴	۰/۶۳۲	۰/۵۸۷	۰/۵۳	۰/۵۳
می	۰/۳۷	۰/۳۲۲	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۱۹۸	۰/۱۹۸



نمودار ۴. عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به بار معلق

جدول ۶. عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به بار معلق

محققین	$\frac{D_s}{d}$	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۳۶
شفاعی بجهستان	۲/۳۳	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲	۲/۲
ایسباخ	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱/۷
استراب	۲/۲۷	۲/۱۴	۱/۹۷	۱/۸۸	۱/۷۷	۱/۷۷
نلی	۲/۰۳	۱/۹۶	۱/۸۷	۱/۸۱	۱/۷۵	۱/۷۵
بوگاردی	۲/۱۶	۲/۰۹	۱/۹۹	۱/۹۴	۱/۸۷	۱/۸۷
این مطالعه	۱/۸۷	۱/۷۵	۱/۶۵	۱/۵۸	۱/۴۶	۱/۴۶
نالوری	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۵	۰/۴۳	۰/۴۳
می	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲	۰/۲

نسبی مربوط به آب زلال و نمودار ۴ عدد پایداری در مقابل زبری نسبی مربوط به بار معلق نتایج ۶ تحقیق بوگاردی، ایسباخ، استراب و نیل (جریان آزاد)، نالوری (جریان آزاد با مقطع دایره‌ای)، می (جریان تحت فشار^{۱۲} با مقطع دایره‌ای) و مطالعه حاضر (جریان آزاد) با هم مقایسه شده است.

تفاوت‌ها در نمودارها در واقع به دلیل تعاریف متفاوتی بوده است که این محققین از آستانه حرکت داشته‌اند. بررسی نتایج، حاکی از آن است که علاوه بر شرایط جریان (آزاد یا تحت فشار بودن جریان) و شرایط هندسی کانال، شرایط رسوب و یا به عبارتی اندازه ذرات نیز تاثیرگذار بوده است. برای نشان دادن بهتر مطالب فوق الذکر در نمودار ۳ عدد پایداری در مقابل زبری

جدول ۷. مقایسه پارامترهای آزمایش در این مطالعه نسبت به سابقه مطالعات گذشته

تفاوت عدد پایداری در این مطالعه با عدد پایداری در مطالعه سیفون معکوس ^۳					
۳/۲	۲	۱	۰/۷	۰/۵	Ds(mm)
۰/۰۲۱۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۳۳	Ds/d
۲/۳۲	۲/۴۳	۲/۶۱	۲/۷	۲/۷۹	نتیجه معادله نیل در مطالعه سیفون معکوس
۱۵	۱۰	۷/۵	۴	۲	Ds(mm)
۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۰۸	Ds/d
۱/۷۵	۱/۸۱	۱/۸۷	۱/۹۶	۲/۰۳	نتیجه معادله نیل در این مطالعه با لحاظ بار معلق
۱۵	۱۰	۷/۵	۴	۲	Ds(mm)
۰/۳۷۵	۰/۲۶	۰/۲	۰/۱۳	۰/۱	Ds/d
۱/۷۴	۱/۸۱	۱/۸۵	۱/۹۳	۱/۹۹	نتیجه معادله نیل در این مطالعه با لحاظ آب زلال
۱۵	۱۰	۷/۵	۴	۲	Ds(mm)
۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۰۸	Ds/d
۱/۴۶	۱/۵۸	۱/۶۵	۱/۷۵	۱/۸۷	نتیجه مستقیم این مطالعه با لحاظ بار معلق
۱۵	۱۰	۷/۵	۴	۲	Ds(mm)
۰/۳۷۵	۰/۲۶	۰/۲	۰/۱۳	۰/۱	Ds/d
۱/۵۷	۱/۷۵	۱/۸۵	۲/۰۳	۲/۲	نتیجه مستقیم این مطالعه با لحاظ آب زلال
۳/۲	۲	۱	۰/۷	۰/۵	Ds(mm)
۰/۰۲۱۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۳۳	Ds/d
۲/۴۲	۲/۰۳	۲/۲۲	۲/۴۶	۲/۶۹	نتیجه مستقیم مطالعه آقای خزیمه نژاد در شرایط سیفون معکوس
۳/۲	۲	۱	۰/۷	۰/۵	Ds(mm)
۰/۰۲۱۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۳۳	Ds/d
۲/۴۵	۲/۵۶	۲/۷۴	۲/۸۲	۲/۹۲	نتیجه معادله بوگاردی در مطالعه سیفون معکوس
۱۵	۱۰	۷/۵	۴	۲	Ds(mm)
۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۰۸	Ds/d
۱/۸۷	۱/۹۴	۱/۹۹	۲/۰۹	۲/۱۶	نتیجه معادله بوگاردی در این مطالعه با لحاظ بار معلق
۱۵	۱۰	۷/۵	۴	۲	Ds(mm)
۰/۳۷۵	۰/۲۶	۰/۲	۰/۱۳	۰/۱	Ds/d
۱/۸۷	۱/۹۳	۱/۹۸	۲/۰۶	۲/۱۲	نتیجه معادله بوگاردی در این مطالعه با لحاظ آب زلال
۳/۲	۲	۱	۰/۷	۰/۵	Ds(mm)
۰/۰۲۱۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۳۳	Ds/d
۲/۸۳	۳/۰۶	۳/۴۴	۳/۶۵	۳/۸۶	نتیجه معادله استراب در مطالعه سیفون معکوس
۱۵	۱۰	۷/۵	۴	۲	Ds(mm)
۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۰۸	Ds/d
۱/۷۷	۱/۸۸	۱/۹۷	۲/۱۴	۲/۲۷	نتیجه معادله بوگاردی در این مطالعه با لحاظ بار معلق
۱۵	۱۰	۷/۵	۴	۲	Ds(mm)
۰/۳۷۵	۰/۲۶	۰/۲	۰/۱۳	۰/۱	Ds/d
۱/۷۶	۱/۸۶	۱/۹۵	۲/۰۹	۲/۱۹	نتیجه معادله بوگاردی در این مطالعه با لحاظ آب زلال
تفاوت عدد پایداری در این مطالعه با عدد پایداری در مطالعه مجاری تحت فشار مربعی					
۳/۲	۲	۱	۰/۷	۰/۵	Ds(mm)
۰/۰۲۱۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۳۳	Ds/d
۲/۴۵	۲/۰۵	۲/۲۵	۲/۵	۲/۷	نتیجه در مطالعه مجاری تحت فشار مربعی
۳/۲	۲	۱	۰/۷	۰/۵	Ds(mm)
۰/۰۲۱۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۳۳	Ds/d

نتیجه معادله نالوری در مطالعه مجاری تحت فشار مربعی	۱/۸۵	۱/۵	۱/۳	۰/۹۶	۰/۷
Ds(mm)	۲	۴	۷/۵	۱۰	۱۵
Ds/d	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۳۶
نتیجه معادله نالوری در این مطالعه با لحاظ بار معلق	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۵	۰/۴۳
Ds(mm)	۲	۴	۷/۵	۱۰	۱۵
Ds/d	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲	۰/۲۶	۰/۳۷۵
نتیجه معادله نالوری در این مطالعه با لحاظ آب زلال	۰/۷۷۴	۰/۷۱۴	۰/۶۳۲	۰/۵۸۷	۰/۵۳

دلایل اختلاف:

- تفاوت در قطر ذرات.
 - تفاوت در نوع آزمایش به طوری که آزمایش انجام شده بر روی کانال با مجاری باز بوده در حالی که تحقیق گذشته بر روی مجاری تحت فشار مربعی بوده است.
 - تفاوت در تعریف آستانه حرکت. در این تحقیق حرکت کوچک در ذرات بستر به عنوان آستانه حرکت در نظر گرفته شده است که این در حالی است که در تحقیق قبلی حرکت کامل ذرات مدنظر قرار گرفته است.
 - نتایج تحقیق قبلی بر روی شیب بستر ۲۴ درجه بوده است این در حالی است که نتایج آزمایشات این مطالعه بر روی بستر با شیب نزدیک صفر درجه می‌باشد.
 - در تمامی مطالعات با افزایش قطر دانه عدد پایداری کاهش می‌یابد این در حالی است که در تحقیق آقای خزیمه نژاد ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد.
- * سیفون معکوس نوعی از سازه‌های انتقال آب می‌باشد. زمانی که خط پروژه کانال به یک مانع مثل جاده، خط راه آهن برخورد کند از این نوع سازه‌ها استفاده می‌شود. نام این سازه یعنی سیفون معکوس هیچ ارتباطی به سیفون ندارد و فقط صرفاً به این خاطر که شبیه به سیفون برعکس است این نام برای آن انتخاب شده است. تنها عاملی که باعث بالا رفتن آب می‌شود تحت فشار بودن جریان داخل لوله‌هاست لذا در طراحی این نوع سازه‌ها باید طوری طراحی کرد که انتقال همیشه پر و تحت فشار باشد. اگر در جریان در داخل این نوع سازه‌ها به صورت روباز حرکت کند آب پس‌زده و ممکن است از داخل کانال انتقال بیرون برود.

نتیجه‌گیری

استفاده از عدد قابلیت حرکت $\frac{u_*}{w_s}$ به عنوان یک تابعی از R_e^* ، مزیت‌های مشخصی نسبت به تابع حرکت شیلدز (θ_{cr}) دارد و با افزایش زبری نسبی یک روند کاهشی در پایداری ذره حاصل می‌گردد. تعاریف متفاوت آستانه حرکت و متفاوت بودن شرایط جریان و شرایط آزمایش دلیل اصلی در اختلافات نتایج بین محققین می‌باشد. ضمناً هر چقدر مقدار بار معلق افزایش یابد منجر می‌شود که تنش برشی بحرانی جریان در آستانه حرکت ذره (τ_c) افزایش یابد. لذا بزرگتر بودن تنش برشی در حالت بار معلق نسبت به تنش برشی آب زلال، منجر به مشاهده زودتر حرکت ذرات بستر در حالت بار معلق خواهد شد. با افزایش بار معلق در هر مقطع از رودخانه، اثرات تخریبی و آوردهای رسوبی در بالا دست افزایش می‌یابد.

در این تحقیق با توجه به نتایج مستقیم از آزمایشات و به منظور کنترل داده‌های اخذ شده از آزمایشات به بررسی روشهای مختلف و جایگزین نمودار شیلدز در آستانه حرکت پرداخته شد. پارامترهای بی بعد نظیر عدد جابجایی، قطر بدون بعد دانه، عدد پایداری ذره، پارامتر زبری نسبی به عنوان پارامترهای مناسب بررسی آستانه حرکت معرفی گردید. نتایج کلی بر روی کارهای صورت گرفته نشان از همخوانی نتایج آزمایشات صورت گرفته در شرایط آب زلال با نتایج استراب و در شرایط بارمعلق با نتایج ایسباخ، بر اساس نمودارهای ۳ و ۴ دارد. همچنین یک روند کاهشی در پایداری ذره در برابر افزایش زبری در نمودارها مشاهده می‌شود. نمودار ۲ حاکی از آن دارد که پارامتر عدد قابلیت حرکت با افزایش پارامتر قطر بدون بعد ذره ابتدا به سرعت کاهش یافته و سپس روند کاهش یافتن به آرام صورت می‌گیرد. نتایج نشان داد

Reference:

- ali, s. s. (2012). Threshold of sediment settling in channels with fixed wall. Iran hydraulics, the tenth. Gilan University.
- askari, s. t. (2014). Investigation and comparison of suspended sediment load of Siahroud and Talar rivers in Mazandaran province. International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Development.
- Beheshti, A., & Ataie Ashtiani, B. (2008) january 03). Analysis of threshold and incipient conditions for sediment movemnt.
- Bonnefille, R. (1963). Essais de synthese des lois de debut d entriianment des sediment sous I action d un courant en regime uniform. chatou.
- Cao, Z., Pender, G., & Meng, J. (2006). Explicit formulation of the shields diagram for incipient motion of sediment. Hydraul.
- Collins, M., & Rigler, J. (1982). The use f settling velocity in defining the inition of motion of heavy mineral grains.
- Das, B. M. (2002). Principles of soil engineering - soil mechanics. (H. Saleh Zadeh, Tehran: Iran University of Science and Technology.
- Deputy of ABFA. (2010). Guide to the geometrical shape of the cross-section and direction of the river, publication 366-A. Tehran.
- Haffman, G., & Verhiej, H. (1997). Scouar manual. Rotterdam.

- Hamm, L., & Migniot, C. (1993). Elements of cohesive sediment deposition consolidation and erosion. London.
- Ippen, A., & Verma, R. (1953). The motion of discrete particles along the bed of a turbulent stream.
- Jilani, D. A. (2012). Advanced hydraulics. Islamic Azad University, Islamshahr branch. Islamshahr.
- Khazimeh nejad, D. (2008) september 15-13). Examining and comparing existing relationships in the context of movement threshold conditions. The 6th Iranian Hydraulic Conference.
- Krishnamurthy, M. (1983). Incipient motion of cohesive soils. New York.
- Liu, H. (1958). Mechanics of sediment ripple formation. Hydraul.
- Magdalen M, M (2018). laboratory studies on bedload transport under unsteady flow conditions . journal of hydrology and hydromechanics.
- Marwan A, H.(2020). Experimental insights into the threshold of motion in Alluvial channel: sediment supply and streambed state. JGR Earth Surface.
- May, R., Achers, C., Butler, D., & John, S. (1996). Development of design methodology for self-cleansing.
- Nalluri, C. (1998). Suspended sediment transport in rigid boundary channel at limit deposition.
- Novak, P., & Nalluri, C. (1975) september. Sediment transport in smooth fixed bed channels. Hydraulics Div, ASCE 101.
- Paphitis, D. (2001). sediment movement under unidirectional flows.
- Partheniathes, E. (1965). Erosion and deposition of cohesive soils. hydraulic division.
- Raudkivi, A. (1998). Loose boundary hydraulic. Rotterdam.
- Samadi Boroujeni, H., Naderi Boldaji, M., & Fatahi Nafchi, R. (2010). Investigating the sedimentation threshold. Iranian water research.
- shafaei Bejestan, D. (2014). Theoretical and practical hydraulic principles of sediment transport. D. hafouri, & D. Savaedi. Ahvaz: Shahid Chamran University of Ahvaz.
- Van Rijn, L. (1993). Principles of sediment transport in Rivers. Amsterdam: Aqua.
- Vice President of Strategic Supervision, E. t. (2011). Guide to calculation methods of washing water - publication 549.
- Vojdani, N., & Ghomshi, M. (2006) April 14-12). Critical shear stress of cohesive sediment erosion and its role in the design of open channels. National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks.
- Yang, C. (1996). Sediment Transport, Theory and Practice. China.

یادداشت‌ها

- ¹ *Movability number*
- ² *Weir*
- ³ *Outlet flow*
- ⁴ *Scour*
- ⁵ *Degradation*
- ⁶ *Agradation*
- ⁷ *Corey shape factor*
- ⁸ *Reynolds number*
- ⁹ *Posh curve*
- ¹⁰ *Stability number*
- ¹¹ *Relative roughness*
- ¹² *Pressure flow*