



دانشگاه گواران مشهد

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی آزمایشگاهی سرعت آستانه حرکت رسوبات غیرچسبنده غیریکنواخت در کانال‌های آبیاری و زهکشی

*حسین خزیمه‌نژاد^۱، رسول مظلوم‌شهرکی^۲، محمدحسین نجفی‌مود^۱ و علی شهیدی^۳
^۱استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، ^۲دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه بیرجند،
^۳دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند
تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۹

چکیده

سابقه و هدف: به‌طورکلی لحظه‌ای را که ذرات رسوبی شروع به حرکت در مسیر جریان می‌کنند، اصطلاحاً آستانه حرکت رسوبات می‌نامند. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص تعیین سرعت آستانه حرکت رسوبات غیرچسبنده یکنواخت در کانال‌های روباز انجام شده است و روابط یا نمودارهایی در این زمینه ارائه شده است، اما مطالعات در خصوص رسوبات غیرچسبنده غیریکنواخت بسیار اندک می‌باشد. با توجه به این‌که رسوبات موجود در کانال‌ها عمدتاً غیریکنواخت می‌باشند، تعیین سرعت جریان برای جلوگیری از نهشته‌شدن این ذرات می‌تواند نقش مهمی در بالا بردن راندمان انتقال و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری داشته باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با استفاده از مدل آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل ابعادی، شرایط آستانه حرکت ذرات رسوبی غیرچسبنده غیریکنواخت بررسی گردید. در این آزمایش‌ها ۹ نمونه رسوب غیرچسبنده غیریکنواخت با اندازه و ضریب یکنواختی مختلف در سه شیب ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲ مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با افزایش شیب کانال از ۰/۰۰۵ به ۰/۰۰۲ برای رسوبات با اندازه‌های مختلف، پارامتر پایداری ذرات به‌طور متوسط ۴۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش پارامتر بی‌بعد ذره از حدود ۰/۱۲ به ۰/۳۵ در شیب‌های مختلف، پارامتر پایداری ذره به‌طور متوسط ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش ضریب یکنواختی رسوبات، پارامتر پایداری ذره، افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که با افزایش ضریب یکنواختی از ۴/۵ به ۷/۵ برای شیب‌ها و اندازه‌های مختلف، پارامتر پایداری ذره به‌طور متوسط ۶ درصد افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: با افزایش شیب و پارامتر اندازه ذره، پارامتر پایداری ذره کاهش یافته و با افزایش ضریب یکنواختی رسوبات، پارامتر پایداری ذره، افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سرعت آستانه حرکت، رسوب غیرچسبنده غیریکنواخت، شیب کانال

* مسئول مکاتبه: hkhozeymeh@birjand.ac.ir

مقدمه

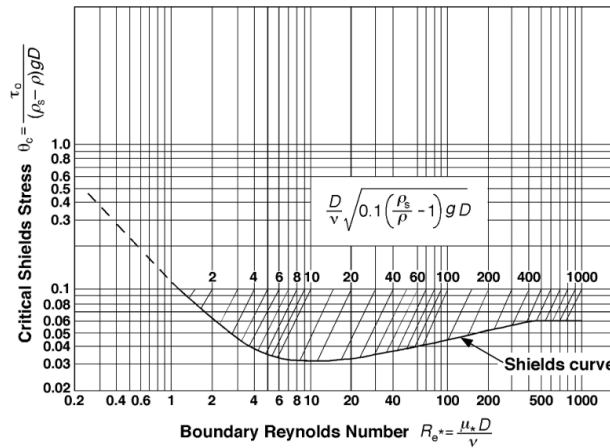
فرسایش تدریجی پوسته جامد کره زمین، تحت تأثیر عوامل مختلفی است و انتقال بخشی از مواد حاصل از آن توسط جریان‌های سطحی و باد سبب تجمع رسوبات در سازه‌های آبی و کانال‌ها می‌شود، علاوه بر این فرسایش بستر رودخانه‌ها، فرسایش بستر کانال و انتقال مواد خارجی موجود در اطراف کانال به داخل آن‌ها نیز، از عمده‌ترین منابع تشکیل رسوب در کانال‌های آبیاری و زهکشی می‌باشند. رسوبات ته‌نشین شده در این کانال‌ها دو نوع‌اند، نوع اول شامل رسوبات درشت‌دانه و غیرچسبنده که ماسه و ذرات درشت‌تر از آن را در بر می‌گیرد و نوع دوم شامل رسوبات ریزدانه بوده که این رسوبات عمدتاً از نوع رسوبات چسبنده می‌باشند (16). فرسایش و انتقال رسوبات به خصوصیات مواد بستر، وابستگی قابل ملاحظه‌ای دارد، با این حال هنوز پژوهشگران موفق به تعیین ارتباط دقیق پارامترهای ژئوتکنیکال ذرات رسوب و سرعت بحرانی حرکت رسوبات یا همان سرعت آستانه حرکت نشده‌اند. اختلاف اصلی در پارامترهای انتقال رسوب، بین ذرات معلق و غیرمعلق (بار بستر) می‌باشد. بار بستر و انتقال آن به صورت جهش، غلطش، لغزش و جنبش‌های درونی هیدرودینامیکی، بر ته‌نشینی (نهشته‌شدن) غلبه می‌کند (1). بررسی‌های انجام شده بر روی بار بستر و انتقال ذرات رسوبی درشت یکنواخت غیرچسبنده، نشان می‌دهد که ذرات رسوبی خود نیز باعث فرسایش ذرات دیگر می‌شوند (8). رسوبات چسبنده عمدتاً به صورت معلق و بخشی از آن نیز به صورت بار شسته درون جریان حمل شده و کم‌تر به صورت بار بستر جابجا می‌شوند. در حالی که بخش قابل‌توجهی از رسوبات غیرچسبنده درون کانال‌های آبیاری و زهکشی به صورت بار بستر جابجا می‌شوند و اطلاع از نحوه حرکت و میزان آن، همواره برای مهندسان و

طراحان سازه‌های آبی به‌ویژه کانال‌ها دارای اهمیت بوده است. رسوب‌گذاری از مهم‌ترین مسائلی است که بسیاری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علی‌رغم وجود سازه‌های رسوب‌گیر در ابتدای کانال‌های انتقال آب، در پاره‌ای از موارد، شبکه‌ها، از تأثیر رسوبات مصون نبوده و دچار مشکلات عدیده‌ای می‌شوند، چنان‌چه در مسیر انتقال، نیروهای وارد شده از طرف آب کاهش یابد ذرات رسوبی ته‌نشین خواهند شد. مشکلات ناشی از رسوب‌گذاری در شبکه‌های آبیاری، شامل مواردی چون کاهش ظرفیت کانال‌ها، فرسایش و خرابی دیواره کانال‌ها، قطع جریان آب برای لایروبی، افزایش هزینه‌های ناشی از نگهداری تأسیسات، ایجاد شرایط مناسب جهت رشد علف‌های هرز و کاهش راندمان انتقال و توزیع خواهد شد. با توجه به این که آبیگری از منابع آبی به‌وسیله کانال‌های انحراف و سازه‌های هیدرولیکی تنظیم سطح آب، انجام و جریان آب توسط کانال‌های آبیاری وارد مزرعه می‌شود، عمده مشکلات به وجود آمده در بحث کاهش ظرفیت انتقال و لایروبی کانال‌ها، ناشی از رسوبات درشت‌دانه و غیرچسبنده است که امکان ته‌نشینی آن‌ها در کانال وجود دارد. دلیل دیگری که رسوبات چسبنده، خللی قابل ملاحظه‌ای در انتقال جریان ایجاد نمی‌کنند، این است که این رسوبات به دلیل خاصیت حل‌شدگی و حرکات براونی در آب و همچنین وزن بسیار کم، قابلیت ته‌نشینی و غلبه بر نیروهای موجود در آب را نداشته و بیش‌تر همراه جریان آب وارد کانال‌های درجه ۳ و ۴ و در نهایت مزرعه می‌شوند (11).

لحظه‌ای را که ذرات رسوب در یک کانال شروع به حرکت می‌کنند، اصطلاحاً آستانه حرکت ذرات رسوب می‌نامند. شرایط هیدرولیکی لحظه آستانه حرکت ذرات معمولاً با تنش برشی بحرانی (تنش برشی جریان در آستانه حرکت) یا سرعت بحرانی

صورت گرفت (5). شیلدز (1936) با انجام مطالعات بنیادی، اولین معیار علمی آستانه حرکت ذرات رسوبی را ارائه کرد. وی با ترسیم دبی جریان در مقابل دبی رسوب، شرایط جریان را برای حالتی که میزان انتقال رسوب کم باشد، پیدا و آن را به‌عنوان حد شروع حرکت معرفی نمود. شیلدز مطالعات خود در زمینه آستانه حرکت را بر مبنای تنش برشی بحرانی انجام داد و نموداری کاربردی در این زمینه ارائه داد (20).

تعریف می‌شود (19). به‌دلیل پیچیده‌بودن پدیده آستانه حرکت ذرات رسوبی، پیدا کردن شرایط هیدرولیکی در لحظه شروع حرکت رسوبات، تقریباً وابسته به انجام آزمایش‌های فیزیکی و کارهای آزمایشگاهی می‌باشد. هیلستروم (1935) تحلیل جامعی بر روی داده‌های به‌دست آمده از حرکت مصالح یکنواخت را به انجام رساند. به‌علت مشکل بودن اندازه‌گیری سرعت کف آبراهه که عامل مستقیم حرکت رسوب است، مطالعه وی براساس سرعت متوسط جریان



شکل ۱- نمودار شیلدز برای تعیین آستانه حرکت ذرات رسوبی (19).

Figure 1. Shields graph for determining incipient motion of sediment particles (19).

راستای ایرادی که در نمودار شیلدز وجود داشت، پژوهشی را در زمینه آستانه حرکت ذرات رسوب براساس سرعت سقوط ذرات انجام دادند. در پژوهش ایشان، عملکرد روش‌های مختلف پیش‌بینی شروع حرکت ذرات در بسترهای هموار، مورد ارزیابی قرار گرفت. در پژوهش مذکور با ارائه رابطه‌ای ساده بر مبنای عدد حرکت‌پذیری و قطر بی‌بعد ذره سعی در تشریح سرعت برشی بحرانی جهت آغاز حرکت رسوب گردید (7). هریساتو و هارتمان (1998) پژوهشی را بر روی تخمین تنش برشی بحرانی در مجاری فاضلاب انجام دادند. اساس کار آن‌ها تخمین تنش برشی بحرانی براساس دبی بحرانی متناظر با آن

در نمودار شیلدز محورهای افقی و عمودی به‌ترتیب رینولدز برشی و پارامتر شیلدز بحرانی می‌باشند. ایرادهای اساسی به نمودار شیلدز وارد است، از جمله این‌که متغیرهای وابسته، هم در محور طول و هم در محور عرض ظاهر می‌شوند، براساس طبیعت مسأله، متغیر وابسته می‌تواند تنش برشی بحرانی یا اندازه ذرات باشد، این نمودار، بعدها توسط گاورز (1987) اصلاح گردید (3). بعدها دانشمندان دیگری مانند گسler (1965)، مانتر (1975)، یالین و کاراهان (1977) بر مبنای تنش برشی، پژوهش‌هایی را انجام و تغییراتی را در دیاگرام شیلدز انجام دادند (4, 12, 21). جهان‌شاهی و همکاران (2011) در

اما تعدادی از دانشمندان علم هیدرولیک رسوب، به‌جای استفاده از تنش برشی، سرعت جریان را به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور، در رابطه‌مند کردن پدیده آستانه حرکت مورد استفاده قرار داده‌اند. روابطی که پیشنهاد گردیده، عمدتاً بر مبنای تجزیه و تحلیل ابعادی و استفاده از داده‌های تجربی بوده است. شفاعی‌بجستان (2009) نشان داد که شکل عمده این روابط را می‌توان به‌صورت رابطه ۱ نوشت.

$$\frac{V_T}{[g(G_s - 1)d_s]^{0.5}} = a \left(\frac{D}{d_s}\right)^m \quad (1)$$

که در آن، V_T : سرعت آستانه حرکت، G_s : چگالی رسوب، d_s : اندازه ذرات رسوب، g : شتاب ثقل، D : عمق جریان، a و m : ضرایبی هستند که با استفاده از نتایج آزمایشگاهی در شرایط جریان آزاد به‌دست می‌آید. جدول ۱ ضرایب به‌دست آمده توسط برخی از پژوهشگران را نشان می‌دهد (19).

بود. نتایج نشان داد با وجود تعاریف مختلفی که از آستانه حرکت رسوبات غیرچسبنده در بین پژوهشگران مختلف وجود دارد ولی نتایج تفاوت زیادی با همدیگر ندارند ولی در مورد خاک‌های چسبنده تعریف آستانه حرکت تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در نتایج می‌گذارد (6). در پژوهش دیگری رسولیان‌فر و افضل‌مهر (2007) اثر مؤلفه‌های آشفتگی بر شروع حرکت ذرات رسوب را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه داده‌های سرعت آب در سه جهت توسط سرعت‌سنج *ADV Doppler* در یک فلوم آزمایشگاهی با بستر شنی برداشت گردید. همچنین نقش مؤلفه‌های مختلف تانسور تنش رینولدز روی آستانه حرکت ذرات رسوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تنش برشی $\tau = \rho u'w'$ (u' و w' مؤلفه‌های نوسانی سرعت در راستای جریان و عمود بر راستای جریان در جهت عمق)، مهم‌ترین پارامتر در بررسی آستانه حرکت ذرات درشت‌دانه بستر می‌باشد (17).

جدول ۱- ضرایب a و m در رابطه ۱ (19).

Table 1. a and m in equation 1 (19).

توضیحات Descriptions	m	a	محقق Author
بستر کانال Channel bed	0.167	1.49	استراب (۱۹۵۳) Straub (1953)
بستر کانال Channel bed	0.1	1.58	نیل (۱۹۶۸) Neill (1968)
بستر کانال Channel bed	0.095	1.7	بوگاردی (۱۹۶۸) Bogardi (1968)
$ds/D < 0.1$ بستر کانال $ds/D < 0.1$ Channel bed	0	2.2	شفاعی‌بجستان (۱۹۹۰) Shafai bejstan (1990)
$ds/D > 0.1$ بستر کانال $ds/D > 0.1$ Channel bed	0.25	1.237	
بستر مجاری بسته مستطیلی Rectangular closed flow bed	0.4	0.287	نالوری و قانی (۱۹۹۶) Nalluri & Ghani (1996)
بستر مجاری بسته دایره‌ای Circular closed flow bed	0.47	0.125	می (۲۰۰۳) May (2003)

منابع نشان می‌دهد که پژوهش‌ها در خصوص تعیین سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی در مجاری روباز، محدود به مواد رسوبی دارای دانه‌بندی یکنواخت بوده و تاکنون پژوهش جامعی در زمینه تعیین سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی غیرچسبنده غیریکنواخت انجام نشده است. از جمله مطالعات اندکی که در این زمینه انجام شده است، می‌توان به مطالعات اگیازارف (1965) و میچالیک (1989) اشاره نمود، پژوهشگرانی که در این زمینه کار نموده‌اند، عمدتاً براساس تنش برشی بحرانی مطالعات خود را پیش برده و رابطه یا نمودار جدیدی ارائه نداده بلکه با استفاده از دیاگرام شیلدز روابط اصلاح‌شده‌ای را پیشنهاد نموده‌اند (13, 2). در پژوهش حاضر تأثیر اندازه متوسط و ضریب یکنواختی ذرات رسوب بر سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی تحت شیب‌های مختلف کانال با بهره‌گیری از مدل آزمایشگاهی و با استفاده از روش سرعت بحرانی مورد بررسی قرار گرفت و نمودارهایی در این زمینه ارائه گردید.

مواد و روش‌ها

سرعت آستانه حرکت ذرات رسوب غیرچسبنده غیریکنواخت به پارامترهای متعددی بستگی دارد که عبارتند از:

الف) خصوصیات مربوط به جریان: سرعت جریان در کانال V_T ، عمق آب در کانال y

ب) خصوصیات مربوط به رسوبات: قطر متوسط ذرات d_{50} ، ضریب یکنواختی C_u

ج) خصوصیات هندسی کانال: شیب کف کانال S

د) خصوصیات مربوط به سیال: جرم واحد حجم سیال ρ ، لزجت دینامیکی μ و جرم واحد حجم مستغرق ذره $\rho_s - \rho$

ه) سایر پارامترها: شتاب ثقل g

پارامترهای مذکور در رابطه ۲ نشان داده شده‌اند.

خزیمه‌نژاد و شفافی‌بجستان (2010) با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی و مدل آزمایشگاهی، شرایط هیدرولیکی در لحظه آستانه حرکت ذرات رسوبی را در مقاطع تحت فشار مربعی شکل مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش با به‌کار بردن پنج نمونه رسوب غیرچسبنده با اندازه ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۳/۲ میلی‌متر تحت چهار شیب معکوس ۰، ۸، ۱۶ و ۲۴ درجه آزمایش‌های لازم انجام گرفت. نتایج به‌صورت منحنی‌هایی ارائه گردید. با به‌کار بردن این منحنی‌ها، می‌توان سرعت آستانه حرکت را در مقاطع تحت فشار مربعی به‌دست آورد (9). در پژوهش دیگری خزیمه‌نژاد و شفافی‌بجستان (2011) با استفاده از مدل فیزیکی و تجزیه و تحلیل ابعادی شرایط آستانه حرکت رسوبات یکنواخت در کانال‌های روباز با مقطع مستطیلی را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش ۱۲ نمونه رسوب غیرچسبنده یکنواخت با ابعاد و چگالی‌های مختلف در سه شیب ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد کانال مورد آزمایش قرار گرفتند و یک نمودار کاربردی استخراج شد (10). صفری و همکاران (2011) آستانه حرکت ذرات رسوبی در کانال‌های با مقطع مثلثی دارای جداره ثابت را مورد بررسی قرار دادند، در این پژوهش که از داده‌های آزمایشگاهی محمدی استفاده گردید، روابط آستانه حرکت رسوبات در کانال‌های با جداره ثابت و متحرک مورد مقایسه قرار گرفت و رابطه جدیدی برای آستانه حرکت ذرات در کانال‌های مثلثی شکل براساس روش سرعت بحرانی ارائه و با سایر روابط آستانه حرکت ذرات رسوبی مقایسه گردید (18). نظری و حیدری (2010) با استفاده از مدل آزمایشگاهی، آستانه حرکت ذرات رسوبی یکنواخت را مورد بررسی قرار دادند، نتایج ایشان نشان داد، شروع حرکت ذرات رسوبی نه تنها به اندازه ذرات رسوب وابسته بوده بلکه به نسبت عمق جریان به قطر ذرات نیز بستگی دارد (14). بررسی

جریان $(Re = VD/v)$ و هم عدد رینولدز ذره باشد $(R_e^* = u_* d_{50}/v)$. با توجه به این که در آزمایش‌های این پژوهش عدد رینولدز جریان بسیار بزرگتر از حد جریان متلاطم می‌باشد، بنابراین می‌توان از تأثیر آن صرف‌نظر نمود، اما در ادامه پژوهش تأثیر پارامتر رینولدز ذره بر پارامتر شیلدز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در جدول ۲ متغیرهایی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند به همراه دامنه تغییر آن‌ها نشان داده شده است.

$$f_1(V_T, y, g, d_{50}, C_u, S, \rho, \rho_s - \rho, \mu) = 0 \quad (2)$$

با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی و رابطه باکینگهام رابطه ۲ به رابطه ۳ تبدیل می‌شود.

$$SN = \frac{V_T}{[g(G_s - 1)d_{50}]^{0.5}} = f_2(d_{50}/y, S, Re, C_u) \quad (3)$$

در رابطه ۳، SN : پارامتر پایداری ذره، d_{50}/y : پارامتر اندازه ذره و Re : عدد رینولدز می‌باشد. عدد رینولدز با توجه به تجزیه و تحلیل ابعادی و شیوه ترکیب پارامترهای بی‌بعد هم می‌تواند عدد رینولدز

جدول ۲- متغیرهای مورد بررسی و دامنه تغییر آن‌ها در پژوهش حاضر.

Table 2. Variables and their changing range in present research.

متغیر Variable	مقادیر Values
d_{50}	2, 2.8 and 4.5 mm
C_u	4.5, 6 and 7.5
S	0.0005, 0.001 and 0.002

جک تعبیه شده در بخش انتهایی کانال، تنظیم می‌شود، همچنین دبی ورودی به کانال از طریق دبی‌سنج الکترومغناطیس قابلیت کنترل دارد. برای جلوگیری از تأثیر جریان بالادست و پایین‌دست، رسوبات مورد آزمایش در دو متر میانی کانال قرار گرفتند. ۴ متر فاصله از ابتدای کانال، اطمینان کافی برای توسعه کامل جریان را فراهم می‌سازد. در ابتدای هر آزمایش برای کنترل عمق آب در یک محدوده مشخص و جلوگیری از تأثیر نیروی وزن آب روی حرکت رسوبات دریاچه انتهایی کانال بالا آورده می‌شود، علاوه بر این برای پیشگیری از ورود رسوبات به داخل منبع آب از یک قاب فلزی توری در انتهای کانال استفاده شد. نوع رسوبات مورد آزمایش از نوع غیرچسبنده (ماسه شکسته) می‌باشند، برای تهیه رسوبات با دانه‌بندی‌های

مدل آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش‌ها: برای رسیدن به اهداف این مطالعه یعنی پیدا کردن رابطه‌ای خاص و یا نمودارهایی در خصوص تعیین سرعت آستانه حرکت رسوبات غیرچسبنده غیریکنواخت، آزمایش‌هایی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی بیرجند انجام گردید. مدل آزمایشگاهی، کانالی از جنس پلکسی‌گلاس شفاف به ضخامت ۱ سانتی‌متر می‌باشد، این کانال که دارای طول ۱۰ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد، مجهز به سیستم بازچرخانی آب بوده، به طوری که آب از طریق پمپ به بخش ورودی کانال پمپاژ شده و از آنجا به درون کانال هدایت می‌شود، برای آرام کردن جریان ورودی در ابتدای کانال از صفحات مشبک و توری استفاده شده است. شیب این کانال از طریق

ذرات رسوبی است، در تمامی آزمایش‌ها دریچه انتهایی به گونه‌ای تنظیم می‌شود که سطح آب در کانال در تمامی آزمایش‌ها تقریباً ثابت و فاقد تلاطم باشد. عمق جریان در سه قسمت ابتدایی، میانی و انتهایی مقطع رسوبی اندازه‌گیری و متوسط‌گیری می‌گردد.



(ب)
B)



(الف)
A)

شکل ۲- کانال آزمایشگاهی الف) نمای کلی و ب) مقطع آزمایشی و اندازه‌گیری عمق جریان.

Figure 2. Lab flume A) Overall views and B) The testing section and measuring the flow depth.

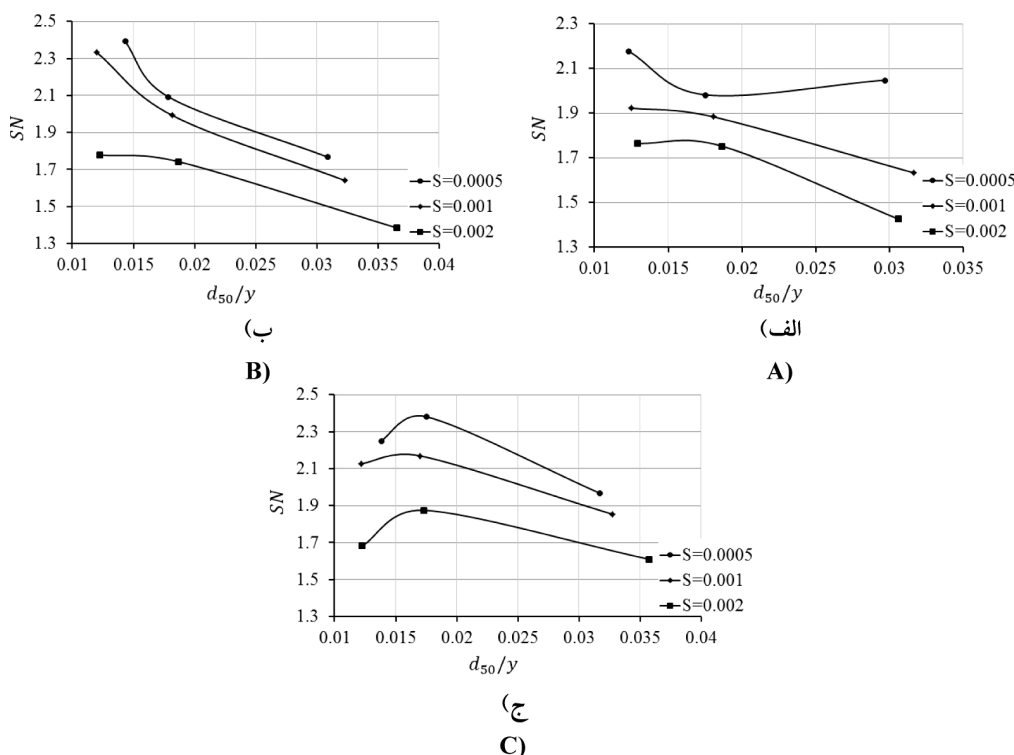
امکان‌پذیر است، از طریق افزایش دبی و همچنین از طریق پایین آوردن سطح آب به وسیله دریچه انتهایی کانال، این افزایش به کمک دو روش مذکور به گونه‌ای صورت گرفت که عمق آب در همه آزمایش‌ها تقریباً یکسان باشد. با افزایش تدریجی دبی و افزایش سرعت، رسوبات کف کانال ابتدا حرکات نوسانی و منقطع را شروع می‌کنند ولی در مسیر جریان حرکت نمی‌کنند با افزایش سرعت، به تدریج رسوبات شروع به حرکت بدون وقفه در راستای جریان می‌کنند و همان‌طور که اشاره گردید این لحظه به‌عنوان لحظه آستانه حرکت رسوب در نظر گرفته شد. از تقسیم میزان دبی که منجر به آستانه حرکت گردید بر مقطع جریان، سرعت بحرانی یا همان سرعت آستانه حرکت تعیین می‌گردد. برای یافتن سرعت آستانه حرکت یک نمونه رسوب در یک شیب مشخص کانال، هر

نحوه انجام آزمایش‌ها بدین صورت بود که شیب کانال روی عدد مورد نظر تنظیم و رسوبات در کف کانال پهن می‌شدند، ارتفاع رسوبات در کانال بنابر نظر اینیشتن ۲ برابر مقدار d_{50} رسوبات می‌باشد (19). دریچه انتهایی کانال بالا آورده و با روشن شدن پمپ، آب به آرامی وارد کانال می‌شود در ابتدای ورود آب به کانال سرعت جریان باید در حدی باشد که سبب فرسایش ناگهانی رسوبات نشود، به تدریج که سطح آب در کانال بالا آمد دبی جریان، تدریجاً افزایش یافته و بر سرعت جریان افزوده می‌شود، افزایش سرعت تا رسیدن به سرعت آستانه حرکت ذرات در کانال ادامه دارد، در این پژوهش شروع حرکت ذرات و ادامه بی‌وقفه حرکت ذرات به‌عنوان معیار آستانه حرکت تعیین و برای همه آزمایش‌ها مد نظر قرار گرفت. افزایش سرعت جریان آب از دو طریق

نتایج و بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها و رابطه ۳ اشکال ۳ تا ۵ ترسیم شدند. در شکل ۳ پارامترهای بی‌بعد پایداری ذره و اندازه ذره در برابر هم برای شیب کانال و ضریب یکنواختی مختلف نشان داده شده‌اند.

آزمایش چندین مرتبه تکرار و از نتایج متوسط‌گیری می‌گردید. پس از اتمام آزمایش، نمونه رسوب جمع‌آوری و برای آزمایش بعدی مورد استفاده قرار می‌گرفت. به این ترتیب برای ۹ نمونه رسوب با اندازه و ضریب یکنواختی مختلف در سه شیب کف کانال، سرعت آستانه حرکت تعیین گردید.



شکل ۳- پارامتر پایداری ذره در مقابل پارامتر اندازه ذره برای رسوبات با الف) $Cu=4/5$ ، ب) $Cu=6$ و ج) $Cu=7/5$.

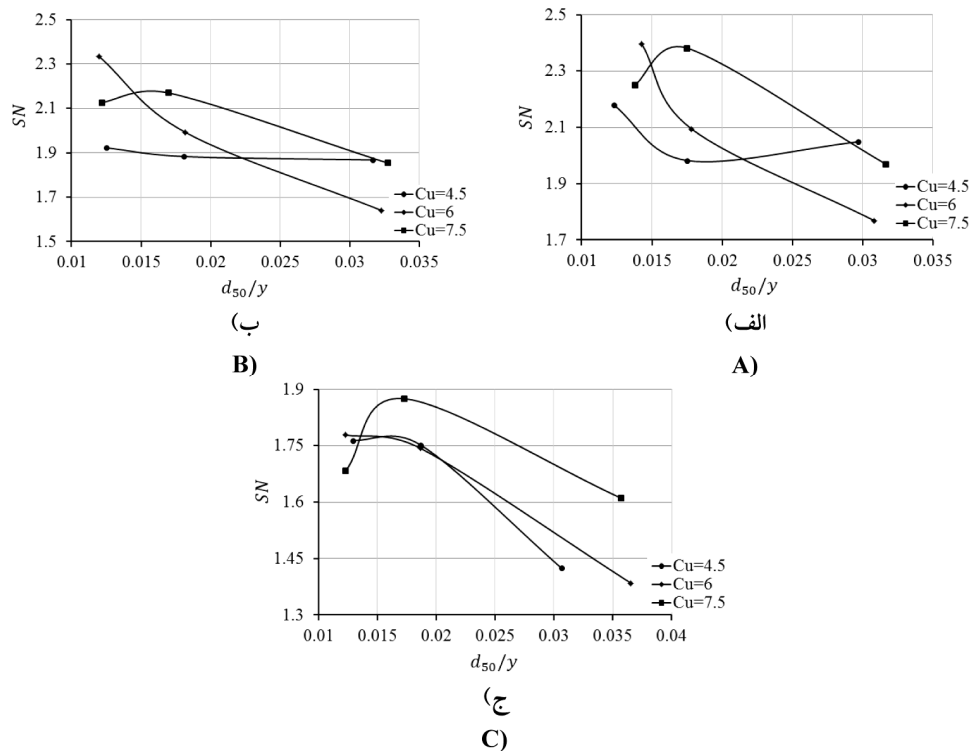
Figure 3. Particle stability parameter versus particle size parameter for sediments with A) $Cu=4.5$, B) $Cu=6$ and C) $Cu=7.5$.

به همین دلیل امکان محافظت رسوبات با اندازه کوچک‌تر توسط رسوبات با اندازه بزرگ‌تر وجود دارد که در مواقعی باعث می‌شود رسوبات با اندازه کوچک‌تر دیرتر از رسوبات با اندازه بزرگ‌تر در آستانه حرکت قرار گیرند، به عبارتی پارامتر پایداری (SN) کوچک‌تری داشته باشند. بررسی شکل ۳ نشان می‌دهد با افزایش شیب کانال، پارامتر پایداری ذره کاهش می‌یابد و این روند برای هر سه ضریب

مطابق شکل ۳- الف و ۳- ب پارامتر پایداری ذره با افزایش پارامتر اندازه ذره کاهش می‌یابد اما در شکل ۳- ج پارامتر پایداری ذره در برابر پارامتر اندازه ذره ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهش‌ی دارد و این روند برای شیب‌های مختلف وضعیت کاملاً یکسانی دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل این وضعیت، پدیده آرمورینگ یا سپری شدن است که در خصوص انتقال رسوبات غیریکنواخت، احتمال وقوع آن وجود دارد و

پایداری ذرات به‌طور متوسط ۴۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش پارامتر بی‌بعد اندازه ذره از حدود ۰/۱۲ به ۰/۳۵ در شیب‌های مختلف، پارامتر پایداری ذره به‌طور متوسط ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. برای مقایسه تأثیر ضریب یکنواختی بر سرعت آستانه حرکت ذرات رسوب شکل ۴ ترسیم شده است.

یکنواختی کاملاً یکسان است و این نشان می‌دهد که افزایش شیب کانال، سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی را کاهش داده و رسوبات در سرعت کم‌تری به حرکت در می‌آیند. به‌طور کلی بررسی نمودارها نشان می‌دهد با افزایش شیب کانال از ۰/۰۰۰۵ به ۰/۰۰۲ برای رسوبات با اندازه‌های مختلف، پارامتر

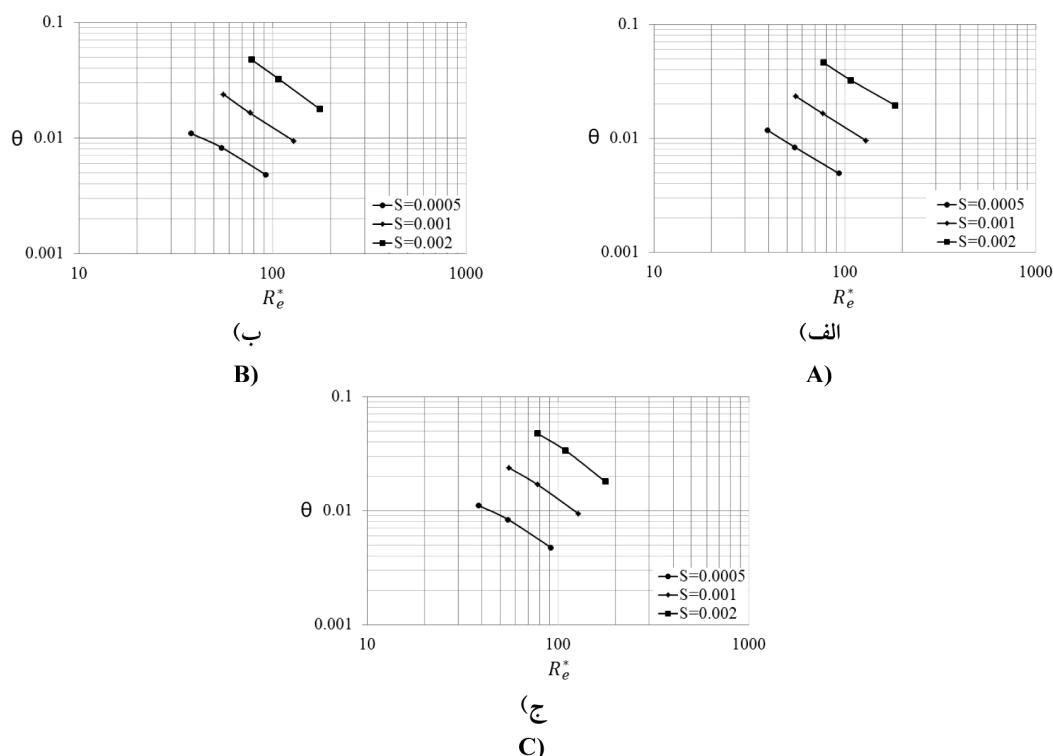


شکل ۴- پارامتر پایداری ذره در مقابل اندازه ذره برای رسوبات با Cu متفاوت تحت شیب الف) ۰/۰۰۰۵، ب) ۰/۰۰۱ و ج) ۰/۰۰۲.

Figure 4. Particle stability parameter against particle size for sediments with different *cu* under slope. A) 0.0005, B) 0.001 and C) 0.002.

آن رسوبات درشت‌دانه مانند یک لایه سپری، رسوبات ریزدانه را در برابر فرسایش و انتقال، محافظت می‌کنند. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد با افزایش ضریب یکنواختی رسوبات، از ۴/۵ به ۷/۵ برای شیب‌ها و اندازه‌های مختلف، پارامتر پایداری ذره به‌طور متوسط ۶ درصد افزایش می‌یابد. در شکل ۵ پارامتر شیلدز در مقابل عدد رینولدز ذره ترسیم شده است.

مطابق شکل ۴ افزایش ضریب یکنواختی باعث افزایش پارامتر پایداری ذره شده است به‌عبارتی هر چه نمونه رسوب دانه‌بندی غیریکنواخت‌تری داشته است، سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی با اندازه یکسان در آن نمونه افزایش یافته است و این وضعیت تقریباً برای تمامی شیب‌ها تکرار شده است و همان‌طور که در خصوص شکل ۳ اشاره گردید، یکی از دلایل اصلی آن، پدیده سپری شدن می‌باشد که در



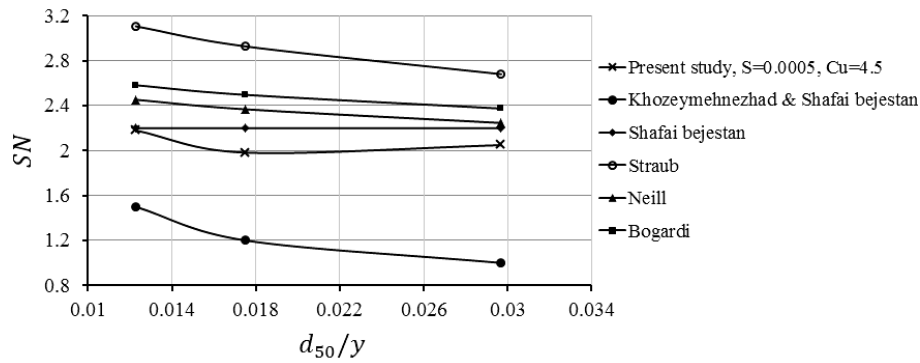
شکل ۵- پارامتر شیلدز در برابر عدد رینولدز برشی رسوبات با الف) $Cu=4.5$ ، ب) $Cu=6$ و ج) $Cu=7.5$.

Figure 5. Shields parameter against sediments shear Reynolds number with A) $Cu=4.5$, B) $Cu=6$ and C) $Cu=7.5$.

ضریب دانه‌بندی $4/5$ که در مقایسه با سایر نمونه‌های رسوب یکنواخت‌تر بوده در وضعیت کم‌ترین شیب کانال در پژوهش حاضر که برابر $0/0005$ بود مورد مقایسه قرار گرفت. بررسی شکل نشان‌دهنده نزدیکی نتایج می‌باشد. البته نتایج پژوهش خزینه‌نژاد و شفاعی‌بجستان (2011) با سایر پژوهش‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد که یکی از دلایل آن، استفاده از رسوبات مصنوعی دارای چگالی کم‌تر از $2/65$ بوده است. به‌طورکلی از دلایل اصلی اختلاف در پژوهش‌های آستانه حرکت این است که تعاریف متفاوتی برای آستانه حرکت در بین پژوهشگران وجود دارد ضمن این‌که متفاوت بودن شرایط جریان و شرایط آزمایش نیز از دیگر دلایل اختلاف می‌باشد.

با ملاحظه شکل ۵ مشاهده می‌شود که پارامتر شیب کف کانال بر روی پارامتر شیلدز تأثیرگذار است. همچنین بررسی و مقایسه اشکال ۵- الف تا ۵- ج بیانگر عدم تأثیر ضریب یکنواختی بر روی پارامتر شیلدز می‌باشد.

در شکل ۶ نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایر پژوهشگران مورد مقایسه قرار گرفت. محور عمودی مربوط به پارامتر پایداری ذره و محور افقی مربوط به پارامتر بی‌بعد ذره می‌باشد که قبلاً در تحلیل ابعادی استخراج شده بودند. با توجه به این‌که پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص سرعت آستانه حرکت، عموماً تحت شرایط جریان یکنواخت و دانه‌بندی یکنواخت بوده است، بنابراین برای نزدیک‌تر بودن به شرایط سایر پژوهش‌ها، رسوبات با



شکل ۶- مقایسه نتایج پژوهش حاضر و نتایج سایر پژوهشگران.

Figure 6. Comparison of this study and other authors' studies.

پایداری ذره افزایش پیدا می‌کند، به طوری که با افزایش ضریب یکنواختی از $4/5$ به $7/5$ برای شیب‌ها و اندازه‌های مختلف، پارامتر پایداری ذره به طور متوسط ۶ درصد افزایش یافت. در حقیقت هرچه توزیع اندازه ذرات غیریکنواخت‌تر شود رسوبات در سرعت جریان بیش‌تری در آستانه حرکت قرار می‌گیرند که یکی از دلایل اصلی، لایه آرمورینگ (لایه سپری) است که توسط ذرات با اندازه بزرگ‌تر شکل گرفته و رسوبات با اندازه‌های کوچک‌تر را در برابر شروع حرکت و انتقال رسوبات محافظت می‌کنند. مقایسه نتایج پژوهش حاضر به نتایج سایر پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص آستانه حرکت که براساس روش سرعت بحرانی انجام شده‌اند، بسیار نزدیک می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تأثیر پارامترهای شیب کف کانال، اندازه ذره و ضریب یکنواختی رسوبات بر پارامتر پایداری ذره (سرعت بی‌بعد آستانه حرکت ذرات رسوب) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش شیب کف کانال و پارامتر اندازه ذره، پارامتر پایداری ذره کاهش می‌یابد به عبارتی رسوبات با سرعت کم‌تری از جریان در آستانه حرکت قرار می‌گیرند، به نحوی که با افزایش شیب کانال از $0/0005$ به $0/002$ برای رسوبات با اندازه‌های مختلف، پارامتر پایداری ذرات به طور متوسط ۴۵ درصد کاهش یافت، همچنین با افزایش پارامتر بی‌بعد اندازه ذره از حدود $0/12$ به $0/35$ در شیب‌های مختلف، پارامتر پایداری ذره به طور متوسط ۱۵ درصد دچار کاهش گردید. همچنین با افزایش ضریب یکنواختی رسوبات، پارامتر

منابع

1. Bagnold, R.A. 1973. The nature of saltation and "bedload" transport in water. Trans. Royal Soc. 2. London, England. 332: 473-504.
2. Egiazaroff, I.V. 1965. Calculation of no uniform sediment concentrations. J. Hydr. Div. 91: 4. 225-247.
3. Govers, G. 1987. Initiation of motion in overland flow, Sedimentology, 34: 1157-1164.
4. Gessler, J. 1965. The beginning of bed load movement of mixture investigated as natural armoring in channels, W.M. Kech laboratory of hydraulic and water resource, California instate of technology, Pasadena.
5. Hjulstorm, F. 1935. The morphological activity of rivers as illustrated by River Fyris, Bulletin of the geological institute, Uppsala, 25: 3.

6. Hrisanthou, V., and Hartmann, S. 1998. Measurement of critical shear stress in sewer. *J. Water. Res.* 32: 7. 2035-2040.
7. Jahanshahi, M., Sabeti, E., and Ghomeshi, M. 2011. Investigation of incipient motion based on Fall velocity of particles. Second National Conference on Integrated Water Resources Management, Kerman. Shahid Bahonar University of Kerman. Irrigation and Water Engineering. (In Persian)
8. Jepsen, R., Roberts, J., and Lick, W. 1997. Effects of bulk density on sediment erosion rates. *Water, Air and Soil Pollution.* 99: 21-31.
9. Khozaymehnezhad, H., and Shafai Bejestan, M. 2010. Sediment Particles Incipient Motion Criteria at Closed Box Conduits. *J. Irrig. Engin. (JISE).* 33: 2. 51-61. (In Persian)
10. Khozaymehnezhad, H., and Shafai Bejestan, M. 2011. Study of the conditions of incipient motion of non cohesive sediment in open channel flow with rectangular section and milled slop. *Irrigation and water engineering, Sci. Res. J.* 1: 2. 13-23. (In Persian)
11. Mamenpoush, A.R., and Moasvi, S.F. 2012. Sedimentation quality and quantity in irrigation and drainage networks of Nekoabad and Abshar in Esfahan province. *J. Iran Water Res.* 5: 8. 197-202. (In Persian)
12. Mantz, P. 1975. Low transport stages by water streams of fine, cohesion less granular and flaky sediments. Ph.D. dissertation, University of London, London.
13. Michalik, A. 1990. Bed-load transport investigations in some Polish Carpathians rivers, (In Polish). *Zesz. Nauk. AR Krakow Seria. Rozpr. Hab.* 138: 115.
14. Nazari, A., and Heydari, M.M. 2010. Incipient motion of uniform sediment. Eighth Conference of Hydraulic of Iran, Tehran, Iranian Hydraulic Association, Faculty of Engineering, Tehran University. (In Persian)
15. Paphitis, D. 2001. Sediment movement under unidirectional flows; an assessment of empirical threshold curves. *Coastal Engineering.* 43: 227-245.
16. Partheniathes, E. 1965. Erosion and deposition of cohesive soils. *J. Hydr. Div. Proc. ASCE.* 91: 105-137.
17. Rasooliyani Far, P., and Afzali Mehr, H. 2007. The effect of Components of turbulent flow on Incipient motion of sediment, the Seventh International Seminar on River Engineering, Ahvaz, Khuzestan Water and Power Authority, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)
18. Safari, M.J.S., Mohamadi, M.A., and Manafpour, M. 2012. Incipient motion of sediment in channels with constant wall and V cross section. Tenth Conference of Hydraulic of Iran, Rasht, Iran hydraulic Association, University of Guilan. (In Persian)
19. Shafai Bejestan, M. 2009. Basic theory and practice of Hydraulic of sediment transport. Shahid Chamran University. Second edition. (In Persian)
20. Shields, A. 1936. Application of similarity principles, and turbulence research to bed load movement, California institute of technology, Pasadena. (Translated From German)
21. Yalin, M.S., and Karahan, E. 1979. Inception of sediment transport. *J. Hydr. Div.* 105: 1433-1443.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(4), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Laboratory investigation of incipient motion of non-cohesive and non-uniform sediment in irrigation and drainage Channels

*H. Khozaymehzad¹, R. Mazloom-Shahraki², M.H. Najafi-Mood¹
and A. Shahidi³

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Birjand, ²M.Sc. Graduate, Dept. of Irrigation and Drainage, University of Birjand, ³Associate Prof., Dept. of Water Engineering, University of Birjand
Received: 03/31/2014; Accepted: 11/30/2014

Abstract

Background and Objectives: Generally, a moment that sediment particles start moving in stream is called incipient motion. A lot of research has been recently done to determine the conditions of incipient motion velocity of uniform and non-cohesive sediment in open channels and many Relationships or graphs are presented. But studies on non-cohesive and non-uniform sediments are very little. With regard to the channel sediments are mostly non-uniform, Determination of the flow rate for prevent of sediment deposition can be an effective role in increasing of transmission efficiency and which reduced costs.

Materials and Methods: In this study, incipient motion of non-cohesive and non-uniform sediment was investigated by Laboratory modeling and dimensional analysis. In this study 9 non-cohesive and non-uniform sediment has been tested with different dimensions and uniformity coefficient in 0.0005, 0.001 and 0.002 slopes.

Results: Results showed that increasing channel slopes from 0.0005 to 0.002 for sediments with different size, stability parameter on average decreases 45 percent. Also increasing particle size parameter from 0.12 to 0.35 for different slope, stability parameter on average decreases 15 percent. Results showed that with increasing uniformity coefficient from 4.5 to 7.5 for different size of sediment and channel slope, stability parameter on average increases 6 percent.

Conclusion: With increasing the slope and particle size parameters, decrease stability parameter and stability parameter, will increase with increasing uniformity coefficient.

Keywords: Incipient motion velocity, Non-cohesive and non-uniform sediment, Channel slope

* Corresponding Author; Email: hkhoyemeh@birjand.ac.ir

