

مقدمه

ریخت‌شناسی رودخانه‌ها حاصل برهم کنش جریان آب با مصالح قابل فرسایش در جداره کانال (بستر و سواحل) می‌باشد. از نقطه‌نظر مفهومی، کانال رودخانه تمایل دارد به‌نحوی توسعه پیدا کند که بین مشخصات کانال و دبی جریان آب و رسوب انتقالی، تعادل برقرار شود [۱۵].

به‌طور کلی مدل‌های بررسی فرآیند رژیم در رودخانه‌ها را به سه دسته مدل‌های مفهومی، مدل‌های رژیم تجربی و مدل‌های تحلیلی می‌توان تقسیم نمود. معادلات رژیم تجربی، روابط تجربی است که از طریق جمع‌آوری اطلاعات و مشخصات آبراهه حاصل می‌شود و مدل تحلیلی مدلی است که براساس معادلات حاکم بر جریان رودخانه توسعه می‌یابد [۲۲].

از نقطه‌نظر عملی یک طبقه‌بندی مناسب برای آبراهه‌ها، نوع مصالح موجود در بستر و کناره‌های آبراهه است. جنس این مصالح، عاملی است که بر نوع بار رسوبی در حال حمل، مقاومت در برابر فرسایش و چگونگی تطبیق آبراهه برحسب دبی جریان تأثیر غیرقابل انکاری می‌گذارد. توزیع اندازه ذرات رسوبی بستر رودخانه‌ها از موارد کلیدی در شناخت خصوصیات یک آبراهه می‌باشد. در هیدرولیک رودخانه‌ها، تأثیرات متقابل بین لایه‌سطحی و جریان آب روی آن به‌عنوان لایه مرزی تعریف شده که در روابط مقاومت جریان به‌صورت تأثیر زبری خود را نشان می‌دهد. بنابراین چگونگی توزیع اندازه ذرات سطحی می‌تواند به‌عنوان عاملی کنترل‌کننده در فهم تغییرات مکانی و زمانی مشخصات جریان عمل کند [۶]. در ژئومورفولوژی آبرفتی، این لایه به‌عنوان اولین منبع تغذیه‌کننده بار بستر شناخته شده و در آبراهه‌های دائمی مسلح‌شده، به‌عنوان محافظی برای مواد زیرسطحی عمل می‌نماید [۲۴، ۲۱]. توزیع اندازه مواد سطحی در جورشدگی قائم و سطحی ذرات مؤثر بوده و در مطالعه میزان مسلح‌شدگی بستر و چگونگی ساختار بستر^۴ دارای اهمیت می‌باشد [۱]. در خصوص توسعه لایه‌مسلح نظرات مختلفی توسط محققین ارائه شده است. گروهی از محققین عامل توسعه لایه‌مسلح را وجود شدت جریانی می‌دانند که تنها توان حرکت دادن و جابه‌جایی ذرات کوچک را داشته باشد ولی قادر به حرکت دادن ذرات درشت‌دانه نباشد. برخی دیگر از محققان نیز وقوع پدیده مسلح‌شدگی را مربوط به زمانی می‌دانند که رسوبات حمل‌شده

نقش مسلح‌شدگی بستر در استخراج روابط رژیم با استفاده از داده‌های میدانی

محمد رضا مجدزاده طباطبایی^۱، رضا جوهری^۲، اعظم مسعودی^۳ و مهسا محمودی^۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۷

چکیده

توزیع اندازه ذرات رسوبی بستر رودخانه‌ها از موارد کلیدی در شناخت خصوصیات یک آبراهه بوده و توسعه مسلح‌شدگی یک عامل کنترل‌کننده در انتقال رسوب و فرسایش بستر آبراهه‌های شنی می‌باشد. در این تحقیق با مطالعه صحرایی بر روی تعدادی از رودخانه‌های کشور در دو استان خوزستان و چهارمحال و بختیاری، در مجموع از بستر ۲۴ ایستگاه هیدرومتری در بازه‌های شنی ۱۷ رودخانه، به‌منظور شناخت نحوه دانه‌بندی ذرات رسوبی بستر، نمونه‌برداری شد. با توجه به ساختار بسترهای شنی، با استفاده از روش‌های سطحی و حجمی و با تفکیک رسوبات در سه بخش ذرات سطح بستر، لایه مسلح و لایه زیرمسلح نمونه‌برداری‌ها انجام گردید. سپس با به‌کارگیری اطلاعات بدست‌آمده و دیگر اطلاعات موجود از مقاطع، روابط رژیم، با استفاده از رگرسیون غیرخطی بدست آمده و تأثیر دانه‌بندی ذرات در ساختار بستر در این روابط بررسی شده است.

کلید واژه‌ها: بسترهای شنی، مسلح‌شدگی، روابط رژیم

۱- نویسنده مسئول و استادیار دانشکده مهندسی آب و محیط زیست پردیس فنی مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی. پست الکترونیک: m_majdzadeh@sbu.ac.ir

۲ و ۴- کارشناس ارشد مهندسی عمران- مهندسی رودخانه پردیس فنی مهندسی شهید عباسپور - دانشگاه شهید بهشتی.

۳- دانشجوی دکتری عمران - آب پردیس فنی مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی.

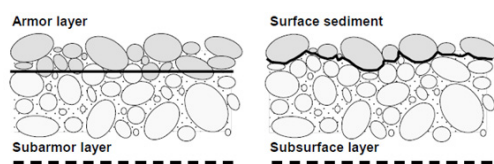
به همین جهت، شناخت شرایط طبیعی رودخانه‌های شنی با تحلیل اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های صحرایی، موضوع حائز اهمیتی می‌باشد.

در تحقیق حاضر ابتدا نمونه‌برداری از مواد بستر ۲۴ ایستگاه از رودخانه‌های مختلف در استان‌های چهارمحال و بختیاری و خوزستان انجام شده و دانه‌بندی ذرات در لایه‌های مختلف بستر مشخص گردیده است. سپس با استفاده از اطلاعات هندسی و هیدرولیکی موجود از مقاطع و همچنین دانه‌بندی‌های بدست آمده، معادلات رژیم با متغیرهای مختلف برآورد شده است.

بازدید و اندازه‌گیری‌های صحرایی

دسته‌بندی آبراهه‌های با مصالح غیرچسبنده، نیاز به تفکیک اندازه ذرات در هر طبقه مشخص دارد. آبراهه‌های با بستر شنی دارای اندازه ذراتی با متوسط ۲ تا ۶۴ میلی‌متر هستند و در بسترهای قلوه‌سنگی این مقدار در محدوده ۶۴ تا ۲۵۶ میلی‌متر تغییر می‌کند [۴]. به‌طور کلی بستر رودخانه‌های شنی دارای سه لایه می‌باشد:

- ۱- لایه مسلح: لایه رویی که در آن بستر رودخانه پایدار است.
 - ۲- لایه زیرمسلح^۵: این لایه در زیر لایه مسلح رویی قرار گرفته و دانه‌بندی ریزتری نسبت به لایه رویی دارد.
 - ۳- لایه سنگ‌کف: این لایه پایین‌ترین لایه بستر رودخانه بوده و در واقع سنگ بستر رودخانه می‌باشد [۱۳].
- پدیده مسلح‌شدگی بستر به درشت‌دانه شدن ذرات رویی بستر و محافظت از ذرات ریزدانه زیرین در برابر جابه‌جایی اطلاق می‌شود. این بستر مسلح‌شده گاهی سبب ایجاد شرایط پایدار در بستر رودخانه‌های شنی می‌گردد [۲۰]. به‌طور کلی نمونه‌برداری از رودخانه‌های شنی و قلوه‌سنگی می‌تواند از دو روش صورت پذیرد:
- ۱- نمونه‌برداری سطحی^۶: انتخاب تعدادی از ذرات سطحی به‌عنوان نمونه در ناحیه‌ای مشخص (سطح مورد مطالعه)
 - ۲- نمونه‌برداری حجمی^۷: برداشت حجم مشخصی از مواد در ناحیه موردنظر و تعمیم نتایج دانه‌بندی آن به لایه‌بندی بستر مورد مطالعه.



شکل ۱: شماتیک لایه‌های مختلف بستر [۴]

Figure 1. Schematic diagram of different bed layers

در جدول (۱)، به‌طور خلاصه چگونگی نمونه‌برداری‌های انجام‌شده اعم از نوع و شیوه برداشت نمونه‌ها ارائه شده است. در نمونه‌برداری سطحی، انتخاب تصادفی ذرات نمونه بسیار حائز

توسط جریان آب کمتر از توان جریان باشد، در این حالت مواد ریزدانه سطح بستر به‌سادگی شسته شده و مواد درشت‌دانه باقی‌مانده لایه‌مسلح رویی را شکل می‌دهد [۶].

نتایج حاصل از مطالعه ویتینگ و کینگ^۱ [۲۳] حاکی از آن است که با افزایش اندازه ذرات بار بستر، لایه‌مسلح ضعیف می‌شود. ولی به راحتی نمی‌توان نقش بار رسوبی ورودی را بدون درنظر گرفتن اندازه ذرات آن، در دامنه زیاد تغییرات ضریب مسلح‌شدگی (از ۱/۹ تا ۷/۲) مؤثر دانست.

بیلی و پریس^۲ [۲] با نمونه‌برداری از ۲۵ بازه در دو رودخانه شنی در جنوب ایتالیا، اقدام به جمع‌آوری اطلاعات دانه‌بندی مواد سطحی و زیرسطحی و همچنین رسوب بستر در دو موقعیت استخر و خیزاب نمودند. سپس با تحلیل این اطلاعات اندازه‌گیری شده و مشخصات موجود هیدرولیکی و ژئومتریک رودخانه‌ها، به این نتایج رسیدند: (۱) با تحلیل مشخصات دانه‌بندی مواد نمونه‌برداری شده از سطح و زیرسطح رودخانه، در دو حالت استخر و خیزاب، هیچ رابطه مشخصی در خصوص برقراری ارتباط بین مشخصات دانه‌بندی این مواد بدست نیامد و (۲) با توجه به تمام نمونه‌برداری‌ها، مشخص گردید که نمونه‌های گرفته شده در خیزاب‌ها، در ارتباط با خصوصیات هیدرولیکی، همبستگی بهتری از خود نشان می‌دهند.

مولر و پیتلیک^۳ [۱۹] با جمع‌آوری اطلاعات دانه‌بندی مواد بستر در رودخانه‌های کلرادو و یوتا به دنبال تعیین رابطه‌ای بین اندازه ذرات لایه‌های بستر رودخانه با اطلاعات هیدرولیکی و هندسی موجود، از این رودخانه‌ها به این نتیجه رسیدند که در اطلاعات بدست آمده از دانه‌بندی مواد، ذرات زیرسطح ریزدانه‌تر از ذرات سطحی بوده و ذرات در لایه زیرین توسط ذرات درشت‌دانه لایه سطحی محافظت شده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که ارتباط بین اندازه ذرات و موقعیت آبراهه به‌طور مشهود تحت تأثیر لایه زیرین نبوده و لایه سطحی اثرگذار می‌باشد.

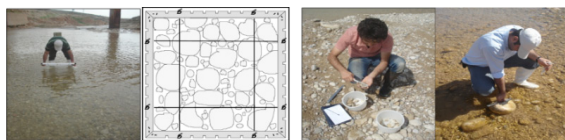
حسن^۴ و همکاران [۸] به دنبال شناخت نقش تغییرات موقعیت هیدرولوژیکی در شکل‌گیری لایه مسلح، ابتدا با نمونه‌برداری از رودخانه‌ها در شرایط طبیعی در دو حالت دائمی و غیردائمی، به مقایسه ضریب مسلح‌شدگی این آبراهه‌ها پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که رودخانه‌های غیردائمی، بستر مسلح ضعیف‌تری نسبت به آبراهه‌های دائمی دارند.

شاید بتوان گفت که اساس مطالعات بر روی رودخانه‌ها بر مبنای اندازه‌گیری‌های صحرایی از خصوصیات هندسی، توپوگرافی، رسوبی و هیدرولیکی آبراهه آغاز می‌شود. مطالعات نسبتاً زیادی در فلوم‌های آزمایشگاهی، با مدل کردن آبراهه‌ای با بستر شنی به انجام رسیده است. اما لزوم صحت‌سنجی نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی، در مقایسه با شرایط طبیعی است که این مطالعات را قابل تعمیم می‌کند.

5- Sub-Armor Layer
6-Surface Sampling
7- Volumetric Sampling

1- Whiting & King
2- Billi & Paris
3- Mueller, E.R. and Pitlick
4- Marvan Hassan

۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) در آب پیش رفته و اقدام به نمونه‌برداری شده است. به‌طور کلی سعی در انتخاب نقاطی بوده است که اندازه مواد غالب بستر را داشته و شرایط مسلح‌شدگی نیز در آنها اتفاق افتاده باشد. جهت برداشت حجمی نمونه نیز از بشکه CSU استفاده شده که توسط هوگان و همکاران [۹] و میلیوس و همکاران [۱۸] پیشنهاد شده است.



(الف) اندازه‌گیری قطر متوسط ذرات لایه سطحی

(ب) نمایی از قاب و برداشت نمونه با آن

شکل ۲: نمونه‌برداری سطحی

Figure 2. Surface sampling (a: Mean diameter measurement of surface layer particles, b: Plan view of sampling frame and its application)



شکل ۳: حفر چاله آزمایشی جهت تشخیص ضخامت لایه مسلح
Figure 3. Experimental sediment hole to identify armor layer thickness

اهمیت است و استفاده از قاب نمونه‌برداری روشی جهت کاهش خطای مربوطه می‌باشد. در تحقیق حاضر، در هر ایستگاه به‌منظور تعیین دانه‌بندی ذرات سطحی به‌طور میانگین ۱۲۰ ذره از سطح بستر برداشت شده و بعد از اندازه‌گیری قطر متوسط هر ذره، دانه‌بندی لایه سطحی بستر تعیین شده است. در نمونه‌برداری حجمی، تشخیص عمق لازم جهت برداشت لایه مسلح (ضخامت لایه مسلح) حائز اهمیت می‌باشد. یک روش ممکن جهت تشخیص ضخامت لایه مسلح توسعه‌یافته، استفاده از پیشنهادات محققین مختلف بوده که عموماً براساس توزیع ذرات سطحی بستر می‌باشد. اما عمده این روش‌ها در شرایط آزمایشگاهی مختص خود، نتیجه مطلوبی به‌همراه دارد. لذا بونتی و آبت [۴] بهترین روش جهت تعیین ضخامت لایه مسلح را تشخیص آن در محل نمونه‌برداری پیشنهاد کرده و برای این منظور، حفر یک چاله آزمایشی در کناره رودخانه و در محیط بدون آب را توصیه می‌کنند که به تشخیص نسبتاً مطلوبی از لایه مسلح کمک شایان توجهی می‌شود.

در این تحقیق براساس پیشنهاد بونتی و آبت [۴]، میزان عمق و شدت مسلح‌شدگی به‌صورت تجربی مشخص شده و بعد از آن اقدام به برداشت نمونه از زیر سطح جریان آب، تا یک عمق مشخص، گردیده است. لازم به ذکر است که این عمق با توجه به برداشت در رودخانه‌ها و ایستگاه‌های مختلف، در حدود ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر و به‌طور متوسط و تجربی برابر با یک وجب در نظر گرفته شده است. در خصوص محل برداشت نمونه نیز لازم به ذکر است که با توجه به امکانات موجود، در هر ایستگاه از کناره تا عمق مطلوب (حدود

جدول ۱: روش‌های نمونه‌برداری از بستر رودخانه‌ها

Table 1. Bed sampling methods in rivers

هدف Purpose	روش دانه‌بندی Gradation method	شیوه برداشت Sampling procedure	روش نمونه‌برداری Sampling method	نوع Type
دانه‌بندی ذرات سطحی Surface particles gradation	اندازه‌گیری قطر متوسط ذرات توسط کولیس و رسم نمودار دانه‌بندی بر اساس فراوانی ذرات در دسته‌های مختلف Measuring particles mean diameter using caliper and drawing gradation curve based on particles frequency in different categories	ولمن [۲۵] یا قدم‌زنی پاشنه تا پنجه Wolman or Heel-To-Toe استفاده از قاب نمونه‌برداری Using sampling frame	شمارش خطی Pebble counts	نمونه‌برداری سطحی Surface Sampling
دانه‌بندی ذرات لایه مسلح Armor layer particles gradation	استفاده از آزمایش دانه‌بندی با الک و رسم نمودار دانه‌بندی بر اساس درصد وزنی Sieve analysis	با استفاده از بشکه CSU Using CSU barrel sampler	بصورت حجمی از لایه مسلح Volumetric Sampling of armor layer	نمونه‌برداری حجمی Volumetric Sampling
دانه‌بندی ذرات لایه زیرمسلح Sub-armor layer particles gradation	ذرات در هر دسته Sieve analysis	با استفاده از بشکه CSU Using CSU barrel sampler	بصورت حجمی از لایه زیرمسلح Volumetric Sampling of sub-armor layer	نمونه‌برداری حجمی Volumetric Sampling

دو استان خوزستان و چهارمحال و بختیاری که در جنوب غربی ایران و در همسایگی هم قرار گرفته‌اند مناطق مورد مطالعه در تحقیق حاضر می‌باشند. در استان خوزستان در مجموع تعداد ۲۲ ایستگاه مشخص گردید و پس از بررسی‌ها و بازدیدهای اولیه، تنها ۱۵ ایستگاه از ۲۲ ایستگاه شرایط مناسب را داشته و نمونه‌برداری از آن‌ها به عمل آمد. در استان چهارمحال و بختیاری تعداد ۳۷ ایستگاه هیدرومتری موجود بوده که با توجه به شرایط و موقعیت رودخانه‌ها و امکانات موجود، تعداد ۱۹ ایستگاه جهت برداشت نمونه مورد بازدید قرار گرفته و تنها ۹ ایستگاه از ۱۹ ایستگاه شرایط مطلوب را دارا بوده است. در مجموع ۲۴ ایستگاه بر روی ۱۷ رودخانه دائمی، که در حالت رژیم قرار دارند، در دو استان انتخاب شد.



(ب)

(الف)

شکل ۴: نمونه‌برداری حجمی (الف: برداشت نمونه با استفاده از (ب: دانه‌بندی ذرات با الک، CSU بشکه)

Figure 4. Volumetric sampling

(a: Using CSU barrel, b: Sieve analysis)

روابط هندسه هیدرولیکی

اصطلاح هندسه هیدرولیکی نشان‌گر ارتباط بین مشخصات شکل آبراهه و متغیرهای هیدرولیکی است. شکل آبراهه شامل مشخصات هندسی مقطع عرضی از قبیل عرض، عمق و غیره بوده و متغیرهای هیدرولیکی شامل دبی آب، دبی رسوب و ... می‌باشد. چنانچه این روابط در یک مقطع عرضی محاسبه گردد به آن "هندسه هیدرولیکی موضعی" گویند و چنانچه در امتداد بازه و چندین مقطع برای یک یا چند رودخانه در حوضه‌ای همگن بررسی شود، "هندسه هیدرولیکی بازه‌ای" نامیده می‌شود. روابط هندسه هیدرولیکی در ساده‌ترین حالت، به صورت تابعی توانی برحسب دبی نوشته می‌شوند [۱۵]:

$$W = aQ^b; D = cQ^f; V = kQ^m \quad (1)$$

در روابط فوق W عرض سطح مقطع، D عمق متوسط، V سرعت متوسط و Q دبی جریان می‌باشد. در تحقیق حاضر به بررسی و تعیین روابط هندسه هیدرولیکی بازه‌ای (روابط رژیم) پرداخته شده و برای این منظور با در نظر گرفتن متغیرهای دبی (Q)، قطر میانه ذرات (D_{50})، شیب طولی (S) و بار بستر در واحد عرض مقطع آبراهه (q_b)، از نرم‌افزار SPSS جهت رگرسیون‌گیری چندمتغیره استفاده شده است.

نتایج

رابطه‌ی رژیم با خصوصیات هندسه‌ی هیدرولیکی جریان به شرح زیر می‌باشد:

رابطه عرض، عمق و شیب طولی با دبی و قطر میانه ذرات

رابطه عرض و عمق با دبی، قطر میانه ذرات و شیب طولی

رابطه عرض و عمق با چهار متغیر دبی، قطر میانه ذرات، شیب طولی و بار بستر در واحد عرض مقطع آبراهه.

روابط توانی دومتغیره (باعد) در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به این جدول واضح است که بیشترین ضرایب تعیین مربوط به روابط عرض مقطع است. این مسئله بیانگر آن است که تغییرات عرض مقطع بیشترین وابستگی را به دبی و دانه‌بندی ذرات از خود نشان می‌دهد. نتیجه‌ای که از روابط توانی برای عرض مقطع با دو متغیر روشن می‌گردد این است که افزایش عرض با افزایش دبی و کاهش اندازه ذرات اتفاق می‌افتد، به جز رابطه بدست آمده برای ذرات لایه‌زیرمسلح که افزایش عرض با افزایش اندازه ذرات این لایه همراه می‌باشد. روابط بدست آمده برای عمق با توجه به ذرات سطح‌بستر و لایه‌مسلح، نشان می‌دهد که در تغییرات عمق، تأثیر اندازه ذرات بیشتر از تأثیر دبی می‌باشد. در هر دو لایه، رابطه عمق با دبی و قطر میانه ذرات مستقیم است. برای لایه زیرمسلح افزایش عمق با اندازه ذرات نسبت عکس داشته که البته ضریب تعیین پایین آن، نشان از همبستگی پایین پارامترها با هم دارد و برآورد خیلی

مواد و روش‌ها

آمار و اطلاعات مورد استفاده

در جدول (۲) به کلیه اطلاعات هندسی، هیدرولیکی و رسوبی از رودخانه‌های مذکور و نحوه تهیه آن‌ها اشاره شده است.

جهت برآورد بار بستر روابط متعددی توسط محققین مختلف ارائه شده است. به دلیل عدم وجود داده‌های اندازه‌گیری شده در این مورد، تعیین بهترین رابطه جهت محاسبه بار بستر امکان‌پذیر نمی‌باشد. از آن‌جا که یکی از پرکاربردترین روابط در محاسبه بار بستر در رودخانه‌های شنی، رابطه میر-پیترو [۱۷] می‌باشد، جهت تخمین بار بستر از آن استفاده شده است.

به منظور تعیین دبی مقطع پر، ابتدا نسبت عرض (W) به عمق ماکزیمم (D_{max})، در اعماق مختلف از کف بستر مشخص گردیده است. مقدار مینیمم نمودار نسبت عرض (W) به عمق ماکزیمم در مقابل عمق ماکزیمم، محل مقطع پر می‌باشد. مشاهده صحرایی اولویت اول در تعیین حدود مقطع پر بوده که علاوه بر روش فوق، مورد نظر قرار گرفته است. با معلوم بودن مقادیر مساحت مقطع پر (A) و محیط تر شده متناظر با آن (P)، شعاع هیدرولیکی در مقطع پر (نسبت مساحت مقطع پر به محیط تر شده) محاسبه شده و پس از آن با استفاده از رابطه مانینگ [۱۶]، دبی مقطع پر محاسبه گردید.

جدول ۲: داده‌های مورد استفاده و روش‌های تهیه آنها

Table 2. Applied data and methods of preparation

اطلاعات	نوع داده‌ها	علامت اختصاری	روش‌های تهیه داده‌ها	مرجع تهیه اطلاعات
Information	Data type	Abbreviations	Methods of data preparation	Reference of data preparation
هندسی	عرض	W	با استفاده از شکل مقاطع عرضی موجود	سازمان آب و برق خوزستان و امور
Geometric	Width		Using existing cross sections	آب منطقه‌ای چهارمحال
	عمق	D		Regional Water board
	Depth			
هیدرولیکی	دبی	Q	دبی‌های روزانه ثبت شده	سازمان آب و برق خوزستان و امور
Hydraulic	Discharge		Daily discharges	آب منطقه‌ای چهارمحال
				Regional Water board
	شیب	S	با استفاده از نقشه‌برداری‌های طولی	امور آب منطقه‌ای چهارمحال
	Slope		Using longitudinal surveys	Regional Water board
	ضریب زبری مانینگ	n	به صورت تجربی و تئوری	
	Manning's coefficient		Using experimental & theoretical relations	
رسوبی	بار بستر		محاسبه شده از معادله میپر-پیتز و مولر* [۱۷]:	توسط محقق
Sediment	Bed load		Computed value by MPM function ^۱	By authors
		Q_{bs}	$q^* = \frac{q_b}{\sqrt{(G_s-1)gD_{50}^3}}; \tau^* = \frac{\tau_b}{\rho(G_s-1)gD_{50}}$	
	دانه‌بندی ذرات سطح بستر	D_{50-s}	با استفاده از نمونه‌برداری به روش ولمن و قاب نمونه‌برداری	انجام نمونه‌برداری و آزمایشات
	Bed surface particles gradation		Using sampling (Wolman method and sampling frame)	دانه‌بندی توسط محقق
	دانه‌بندی ذرات لایه مسلح	D_{50-a}	با استفاده از نمونه‌برداری حجمی	Sampling and sieve analysis by authors
	Armor layer particles gradation		Using volumetric sampling	
	دانه‌بندی ذرات لایه زیرمسلح	D_{50-ss}	با استفاده از نمونه‌برداری حجمی	
	Sub-armor layer particles gradation		Using volumetric sampling	

در رابطه MPM، q_b بار بستر در عرض واحد، τ_b تنش برشی بستر، q^ بار بستر بی‌بعد، τ^* تنش برشی بی‌بعد، G_s چگالی نسبی ذرات، ρ چگالی آب، D_{50} قطری که ۵۰٪ ذرات از آن ریزترند.

متغیر مستقل در نظر گرفته شده است (جدول ۴). با توجه به جدول (۴) مشاهده می‌شود که با افزودن پارامتر شیب طولی، ضرایب تعیین تمامی روابط افزایش یافته که این امر تأثیرگذاری عامل شیب در تغییرات عرض و عمق را نشان می‌دهد. البته افزایش دقت روابط عرض با افزودن عامل شیب خیلی زیاد نبوده و توان‌های بدست آمده

دقیقی نمی‌تواند باشد. روابط محاسبه شده برای شیب، ضریب تعیین بسیار پایینی (کمتر از ۰/۶) داشته که این امر گویای آن است که شیب یک رودخانه آبرفتی، علاوه بر دبی جریان و قطر میانه ذرات، تابعی از عوامل کنترل‌کننده دیگری نیز می‌باشد. در مرحله دوم از برآورد روابط رژیم، شیب طولی نیز به عنوان

$$1-q^* = 8(\tau^* - \tau_{crit}^*)^{3/2}$$

جدول ۳: روابط توانی دومتغیره (سیستم SI)

Table 3. Two-variate power relationships (SI units)

$aQ^b D_{50}^c$ = متغیر وابسته Dependent Variable = $aQ^b D_{50}^c$				R^2	bed sediments	رسوبات بستر
Dependent Variable	a	b	c			
W	3.78	0.41	-0.18	0.83	Surface Layer	لایه سطح بستر
	4.70	0.38	-0.15	0.81	Armor Layer	لایه مسلح
	11.87	0.42	0.13	0.81	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح
D	1.87	0.42	0.64	0.77	Surface Layer	لایه سطح بستر
	0.99	0.49	0.55	0.68	Armor Layer	لایه مسلح
	0.09	0.41	-0.22	0.64	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح
S	0.04	-0.34	0.27	0.41	Surface Layer	لایه سطح بستر
	0.08	-0.34	0.44	0.44	Armor Layer	لایه مسلح
	0.00	-0.33	-0.49	0.43	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح

جدول ۴: روابط توانی سه متغیره (سیستم SI)

Table 4. Three-variate power relationships (SI units)

$aQ^b D_{50}^c S^d$ = متغیر وابسته Dependent Variable = $aQ^b D_{50}^c S^d$					R^2	bed sediments	رسوبات بستر
Dependent Variable	a	b	c	d			
W	5.15	0.43	-0.22	0.09	0.84	Surface Layer	لایه سطح بستر
	6.24	0.41	-0.22	0.11	0.83	Armor Layer	لایه مسلح
	15.48	0.43	0.12	0.07	0.82	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح
D	0.13	0.32	0.54	-0.45	0.90	Surface Layer	لایه سطح بستر
	0.10	0.41	0.57	-0.53	0.86	Armor Layer	لایه مسلح
	0.00	0.28	-0.48	-0.44	0.76	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح

بار بستر اعمال شده در این مطالعه نیز محاسباتی و لذا دارای خطا می باشد، ولی همانطور که مشاهده می شود در بهبود روابط، مؤثر واقع شده است.

جهت بررسی صحت روابط بدست آمده به مقایسه روابط حاصل از این مطالعه با روابط موجود برای عرض مقطع از سایر محققین پرداخته شده است (جدول ۶). برای این به منظور از روابط دو و سه متغیره محاسباتی مربوط به مواد سطح بستر (D_{50s}) استفاده شده، زیرا روابط دیگر محققین نیز اغلب با به کارگیری اندازه ذرات لایه سطحی بستر حاصل شده است و این امر امکان مقایسه هرچه بهتر روابط با یکدیگر را فراهم می کند.

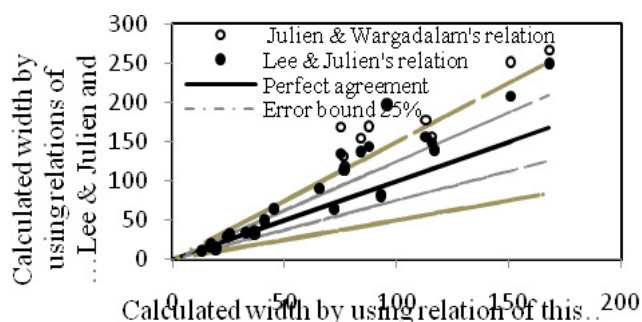
در ادامه، محدوده عرض مقطع پیش بینی شده از روابط یالین [۲۶] و بری [۳] و همچنین روابط لی و جولین [۱۴] و جولین و

نیز تأثیر بسیار کم شیب بر تغییرات عرض را نشان می دهد. روابط عمق جریان حاکی از آن است که مؤثرترین پارامترها در تغییرات عمق جریان، به ترتیب اندازه قطر میانه ذرات و شیب طولی می باشد. رابطه عمق با شیب برای هر سه لایه ذرات بستر، رابطه ای معکوس بوده که منطقی به نظر می رسد.

در مرحله بعد بار بستر در واحد عرض نیز به متغیرهای مستقل اضافه گردید (بار بستر اضافه شده بر مبنای ذرات لایه مسلح و زیر مسلح از هم متفاوت می باشد). با توجه به جدول (۵) واضح است که بهترین روابط بدست آمده در این مطالعه (براساس معیار ضریب تعیین) دارای چهار متغیر می باشد. روابط دیگر محققین جهت تعیین عرض مقطع، با در نظر گرفتن دو تا سه متغیر ارائه شده و پارامتر بار بستر، غالباً در این روابط لحاظ نشده است. هر چند

جدول ۵: روابط توانی چهارمتغیره (سیستم SI)
Table 5. Four-variate power relationships (SI units)

متغیر وابسته = $aQ^b D_{50}^c S^d q_b^e$						R^2	bed sediments	رسوبات بستر
Dependent Variable = $aQ^b D_{50}^c S^d q_b^e$								
Dependent Variable	a	b	c	d	e			
W	1.06	0.95	-0.56	0.97	-0.38	0.93	Armor Layer	لایه مسلح
	1.39	0.86	-0.22	0.93	-0.64	0.92	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح
D	0.01	0.50	0.58	-0.80	0	0.84	Armor Layer	لایه مسلح
	1.27	-0.17	0.46	-1.44	0.87	0.93	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح



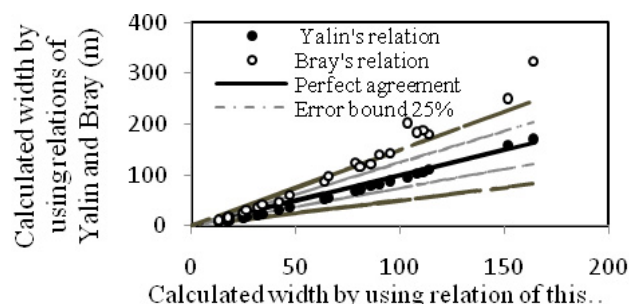
شکل ۶: مقایسه روابط سه متغیره حاصل با سایر روابط تجربی
Figure 6. A comparison of three-variate relationships of this study with other empirical relationships

روابط یالین [۲۶] و بری [۳] دومتغیره بوده و به همین دلیل با رابطه با بعد دومتغیره بر مبنای ذرات سطح بستر حاصل از این مطالعه مقایسه شده است. به همین ترتیب روابط لی و جولین [۱۴] و جولین و وارگادالام [۱۱] با رابطه سه متغیره بدست آمده بر مبنای ذرات سطح بستر مقایسه شده است. همانطور که مشاهده می شود رابطه یالین [۲۶] نزدیکترین نتایج را به مقادیر پیش بینی شده از رابطه این مطالعه به همراه دارد. توجه به این نکته ضروری است که روابط رژیم ارائه شده توسط دیگر محققین برای محاسبه عرض، الزاماً شرایط آبراهه های نمونه برداری شده در این مطالعه را نداشته و از جمله موارد مهم اختلاف می توان به نوع آبراهه و مواد تشکیل دهنده کناره ها اشاره نمود که در روابط تجربی دومتغیره و سه متغیره مورد استفاده جهت مقایسه، یکسان نمی باشد. از این رو اختلاف بین توان متغیره در مقایسه روابط با هم را از این منظر نیز می توان دنبال نمود.

روابط رژیم بدون بعد

روابط رژیم دارای بعد در مرحله قبل با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بدست آمد. حال به منظور کاربردی نمودن روابط فوق در سیستم آحاد مختلف لازم است از پارامترهای بی بعد استفاده نمود. برای بی بعد سازی پارامترها از روابط پیشنهادی پارکر و همکاران [۲۱] به صورت زیر استفاده شده است:

وارگادالام [۱۱] با استفاده از داده های این مطالعه در مقابل مقادیر عرض محاسباتی حاصل ترسیم شده است (اشکال ۵ و ۶).



شکل ۵: مقایسه روابط دومتغیره حاصل با سایر روابط تجربی
Figure 5. A comparison of two-variate relationships of this study with other empirical relationships

جدول ۶: مقایسه برخی روابط تجربی موجود برای عرض مقطع و روابط حاصل از این مطالعه (سیستم SI)

Table 6. A comparison of some empirical relationships with results of this study

Reference	منبع	رابطه تجربی Empirical relationship
Lacey [12]	لیسی [۱۲]	$W = 4.83Q^{0.50}$
Bray [3]	بری [۳]	$W = 3.83Q^{0.53} D_{50}^{-0.07}$
Yalin [26]	یالین [۲۶]	$W = 1.50 Q^{0.50} D_{50}^{-0.25}$
Lee and Julien [14]	لی و جولین [۱۴]	$W = 3.00 Q^{0.43} D_{50}^{-0.002} S^{-0.15}$
Julien and Wargadalam [11]	جولین و وارگادالام [۱۱]	$W = 1.33Q^{0.44} D_{50}^{-0.11} S^{-0.22}$
This study	این مطالعه	$W = 3.78 Q^{0.41} D_{50}^{-0.18}$
This study	این مطالعه	$W = 5.15 Q^{0.43} D_{50}^{-0.22} S^{0.10}$

$$W^* = W/D_{50}; \quad D^* = D/D_{50}$$

$$D_{50}^* = [(G_s - 1)g/v^2]^{\frac{1}{3}} D_{50}$$

$$Q^* = \frac{Q}{D_{50}^2 \sqrt{g D_{50}}}; \quad q^* = \frac{qb}{\sqrt{(G_s - 1)g D_{50}^3}} \quad (2)$$

در معادله (۲)، W^* ، D^* ، Q^* و q^* به ترتیب پارامترهای بی بعد عرض، عمق، دبی، بار بستر در واحد عرض و v لزجت سینماتیک سیال می باشند. بقیه پارامترها پیشتر تعریف شده اند. همانطور که مشاهده می شود در تمامی روابط برای بی بعد کردن پارامترها از D_{50} ذرات استفاده شده است. از این رو جهت بررسی تأثیر اندازه ذرات رسوبی، به ترتیب از D_{50} ذرات در سطح بستر، لایه مسلح و لایه زیرمسلح به منظور بی بعدسازی استفاده شده و نتایج به تفکیک ارائه شده است. در روابطی که از بار بستر به عنوان متغیر مستقل استفاده

شده، ذرات لایه سطح بستر در نظر گرفته نشده است. اهم نتایج بدست آمده از جدول (۷) به شرح ذیل می باشد: ضرایب تعیین به تفکیک بخش های مختلف، به ترتیب با اضافه شدن پارامترهای شیب و بار بستر، افزایش یافته است. تأثیرگذارترین عامل در تغییرات عرض از بین چهار متغیر دبی، اندازه ذرات، شیب طولی و بار بستر، دبی جریان می باشد. در روابط دو و سه متغیره محاسباتی بی بعد برای عرض مقطع بر مبنای ذرات لایه مسلح، همبستگی بهتری میان پارامترها به چشم می خورد. بیشترین ضریب تعیین حاصل شده مربوط به رابطه چهارمتغیره بر مبنای ذرات لایه زیرمسلح می باشد. نتایج حاصل از روابط بدست آمده در جدول (۸) (استفاده از

جدول ۷: نقش مواد سطحی، لایه مسلح و زیرمسلح در استخراج روابط عرض مقطع پایدار

Table 7. Role of surface, armor and sub-armor material in estimating stable width

متغیر وابسته = W^* Dependent Variable = W^*						R^2	bed sediments	رسوبات بستر
رابطه	a^*	b	c	d	e			
Relationship								
$W^* = a^* Q^{*b} D_{50}^{*c}$	4.85	0.42	0.10	-	-	0.89	Surface Layer	لایه سطح بستر
	17.04	0.39	-0.03	-	-	0.91	Armor Layer	لایه مسلح
	0.04	0.53	0.66	-	-	0.87	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح
$W^* = a^* Q^{*b} D_{50}^{*c} S^d$	8.30	0.44	0.06	0.08	-	0.90	Surface Layer	لایه سطح بستر
	36.89	0.41	-0.08	0.10	-	0.92	Armor Layer	لایه مسلح
	0.08	0.57	0.69	0.23	-	0.90	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح
$W^* = a^* Q^{*b} D_{50}^{*c} S^d q_b^{*e}$	1.12	0.84	0.13	0.85	-0.33	0.95	Armor Layer	لایه مسلح
	2.04	0.91	-0.05	1.03	-0.70	0.98	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح

جدول ۸: نقش ضریب مسلح شدگی در استخراج روابط عرض مقطع

Table 8. Role of armoring coefficient in estimating width

متغیر وابسته = W^* Dependent Variable = W^*						R^2	bed sediments	رسوبات بستر
رابطه	a^*	b	c	d	e			
Relationship								
$W^* = a^* Q^{*b} d_a^c$	10.24	0.41	0.04	-	-	0.89	Surface Layer	لایه سطح بستر
	13.10	0.40	-0.02	-	-	0.91	Armor Layer	لایه مسلح
	5.53	0.47	-0.28	-	-	0.89	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح
$W^* = a^* Q^{*b} d_a^c S^d$	14.76	0.43	0.00	0.08	-	0.90	Surface Layer	لایه سطح بستر
	19.88	0.42	-0.03	0.10	-	0.92	Armor Layer	لایه مسلح
	13.78	0.52	-0.37	0.26	-	0.93	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح
$W^* = a^* Q^{*b} d_a^c S^d q_b^{*e}$	1.31	0.96	0.18	1.08	-0.43	0.96	Armor Layer	لایه مسلح
	1.28	0.93	0.05	1.06	-0.73	0.98	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح

ضریب مسلح‌شدگی (d_a) به جای D_{50} ذرات) حاکی از آن است که با جایگزین کردن ضریب مسلح‌شدگی به جای مقدار میانه اندازه ذرات، تغییر به‌سزایی در روابط عرض مقطع ایجاد نمی‌شود و به‌طور کلی از روابط حاصل برای عرض مقطع مشخص می‌گردد که دانه‌بندی ذرات بستر تأثیر چندانی بر تغییرات عرض نداشته و عمده تغییرات بعد از تأثیر پوشش گیاهی و مواد تشکیل‌دهنده کناره (که در قالب ضریب a^* مورد بررسی قرار گرفته)، از دبی جریان حاصل می‌شود. روابط عمق حاصل در جدول (۹) مبین آن است که در اغلب موارد پارامترهای شیب و دانه‌بندی در تغییرات عمق از تأثیر بیشتری نسبت به دبی برخوردار است. بهترین روابط حاصل برای عمق، مربوط به روابط چهارم‌تغیره با اعمال اثر بار بستر می‌باشد. از جدول (۱۰) مشاهده می‌گردد که تغییر پارامتر D_{50} با ضریب مسلح‌شدگی (d_a) منجر به بهبود ضریب تعیین روابط بر مبنای ذرات

لایه زیرمسلح می‌شود. چنانچه دیده می‌شود بار بستر بر مبنای لایه زیرمسلح تأثیر بیشتری بر تغییرات عمق نسبت به بار بستر بر مبنای لایه مسلح دارد. چرا که لازمه شروع حرکت ذرات بار بستر شکست لایه مسلح بوده و پس از شکست این لایه، حجم عمده‌ای از ذرات لایه زیرمسلح آزاد شده و بار بستر را تأمین می‌نماید. روابط بدست‌آمده برای شیب آبراهه در جدول (۱۱) نشان از تأثیر محسوس عامل بار بستر بر تغییرات شیب دارد. تأثیر این عامل با حدود دو برابر شدن ضرایب تعیین بدست‌آمده، مشخص می‌گردد و مصداق آن را در طبیعت نیز می‌توان یافت. با حرکت به طرف بالادست رودخانه، به‌دلیل کوهستانی شدن موقعیت منطقه، غالباً افزایش شیب به چشم می‌خورد و بار بستر بر مورفولوژی رودخانه غالب می‌شود.

جدول ۹: نقش مواد سطحی، لایه مسلح و زیرمسلح در استخراج روابط عمق مقطع پایدار
Table 9. Role of surface, armor and sub-armor material in estimating stable depth

Dependent Variable = D^*						R^2	bed sediments	رسوبات بستر
رابطه Relationship	a^*	b	c	d	e			
$D^* = a^* Q^{*b} D_{50}^c$	0.40	0.38	0.06	-	-	0.76	Surface Layer	لایه سطحی
	0.09	0.40	0.25	-	-	0.78	Armor Layer	لایه مسلح
	886.97	0.29	-1.09	-	-	0.75	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح
$D^* = a^* Q^{*b} D_{50}^c S^d$	0.01	0.32	0.28	-0.44	-	0.91	Surface Layer	لایه سطحی
	0.00	0.38	0.52	-0.45	-	0.90	Armor Layer	لایه مسلح
	10273.4	0.07	-1.96	-0.85	-	0.96	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح
$D^* = a^* Q^{*b} D_{50}^c S^d q_b^e$	0.00	0.31	0.52	-0.49	$\cong 0$	0.92	Armor Layer	لایه مسلح
	1.59	-0.17	-0.13	-1.39	0.74	0.99	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح

جدول ۱۰: نقش ضریب مسلح‌شدگی در استخراج روابط عمق
Table 10. Role of armoring coefficient in estimating depth

Dependent Variable = D^*						R^2	bed sediments	رسوبات بستر
رابطه Relationship	a^*	b	c	d	e			
$D^* = a^* Q^{*b} d_a^c$	1.68	0.32	-0.24	-	-	0.77	Surface Layer	لایه سطحی
	0.80	0.36	0.05	-	-	0.77	Armor Layer	لایه مسلح
	0.19	0.33	1.09	-	-	0.85	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح
$D^* = a^* Q^{*b} d_a^c S^d$	0.18	0.26	0.01	-0.40	-	0.90	Surface Layer	لایه سطحی
	0.08	0.30	0.18	-0.43	-	0.89	Armor Layer	لایه مسلح
	0.02	0.24	0.70	-0.70	-	0.98	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح
$D^* = a^* Q^{*b} d_a^c S^d q_b^e$	0.02	0.30	0.23	-0.68	$\cong 0$	0.87	Armor Layer	لایه مسلح
	0.40	-0.09	0.18	-1.25	0.60	0.99	Sub-Armor Layer	لایه زیرمسلح

جدول ۱۱: نقش مواد سطحی، لایه مسلح و زیرمسلح در استخراج روابط شیب مقطع پایدار
Table 11. Role of surface, armor and sub-armor material in estimating stable slope

$S = \text{متغیر وابسته}$					R^2	bed sediments	رسوبات بستر
Dependent Variable = S							
رابطه Relationship	a^*	b	c	d			
$S = a^* Q^{*b} D_{50}^{*c}$	9.78	-0.34	-0.58	-	0.41	Surface Layer	لایه سطحی
	2.64	-0.34	-0.40	-	0.44	Armor Layer	لایه مسلح
	560.64	-0.33	-1.31	-	0.43	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح
$S = a^* Q^{*b} D_{50}^{*c} q_b^{*d}$	13.26	-0.38	-0.29	0.59	0.84	Armor Layer	لایه مسلح
	0.41	-0.34	0.06	0.69	0.89	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح

جدول ۱۲: نقش ضریب مسلح‌شدگی در استخراج روابط شیب
Table 12. Role of armoring coefficient in estimating slope

$S = \text{متغیر وابسته}$					R^2	bed sediments	رسوبات بستر
Dependent Variable = S							
رابطه Relationship	a^*	b	c	d			
$S = a^* Q^{*b} d_a^c$	0.07	-0.31	0.36	-	0.40	Surface Layer	لایه سطحی
	0.05	-0.28	0.42	-	0.46	Armor Layer	لایه مسلح
	0.05	-0.28	1.13	-	0.46	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح
$S = a^* Q^{*b} d_a^c q_b^d$	1.10	-0.36	0.15	0.58	0.84	Armor Layer	لایه مسلح
	0.91	-0.34	-0.30	0.80	0.90	Sub-Armor Layer	لایه زیر مسلح

✓ از روابط رژیم به‌دست آمده مشخص گردید که مینا قرار دادن ذرات لایه زیرمسلح، دقت روابط حاصل را بالاتر برده است. این مسئله را می‌توان این‌طور تفسیر نمود که به‌طور کلی شروع تغییرات هندسی آبراهه در زمان شکست لایه مسلح می‌باشد. در هنگام حضور لایه مسلح، ترازگاهی در بستر کمتر اتفاق می‌افتد و چون در عمده مقاطع مورد مطالعه، به‌دلیل کوهستانی بودن و وجود کناره‌های صخره‌ای، تغییرات عرض ناچیز است، پس لازمه تغییرات هندسی مقطع، شکست لایه مسلح می‌باشد. از این‌رو روابط رژیم با در نظر گرفتن ذرات لایه زیرمسلح همبستگی بهتری را نشان می‌دهد.

✓ نتایج بدست آمده حاکی از آن است که تأثیر ذرات در سطح بستر، لایه مسلح و زیرمسلح بر دقت برآورد ابعاد هندسی کانال می‌تواند مؤثر باشد. در رودخانه‌های شنی شروع فرسایش بستر و تغییرات تراز بستر رودخانه منوط به شکست لایه مسلح می‌باشد. از این‌رو در نظر گرفتن اندازه ذرات در دو لایه مسلح و زیرمسلح

در جدول (۱۲) با جایگزین نمودن ضریب مسلح‌شدگی به‌جای اندازه ذرات واضح است که تغییر محسوسی در ضریب تعیین رخ نمی‌دهد. ثابت ماندن ضریب تعیین در رابطه سه‌متغیره بر مبنای ذرات لایه مسلح نشان از تأثیر نه‌چندان زیاد ذرات در تغییرات شیب در زمان حضور لایه مسلح دارد. از طرف دیگر، بهبود ضریب تعیین در رابطه سه‌متغیره بر مبنای ذرات لایه زیرمسلح نیز مشهود است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق به شرح ذیل می‌باشند:

✓ با توجه به نتایج بدست آمده، با افزودن پارامتر شیب طولی به‌عنوان یک متغیر مستقل به روابط رژیم، ضرایب تعیین روابط عرض و عمق افزایش یافته ولیکن افزایش دقت روابط عرض با افزودن عامل شیب خیلی زیاد نبوده این در حالی است که در روابط عمق جریان، تأثیر بیشتری مشهود است.

Fort Collins, CO. 126.

10. Julien, P. Y. 2002. River Mechanics. Published in the United States of America by Cambridge University Press. New York.

11. Julien, P. Y. and Wargadalam, J. 1995. Alluvial channel geometry: theory and applications, Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 121: 312–325.

12. Lacey, G. 1958. Flow in alluvial channels with sandy mobile beds. Proceedings of the Institute of Civil Engineers. London, 9. Discussion. 11: 145–164.

13. Lamberti, A. and Paris. E. 1992. Analysis of armouring processes through laboratory experiments. Dynamics of gravel-bed rivers. 227-25.

14. Lee, J. S. and Julien, P. Y. 2006. Downstream Hydraulic Geometry of Alluvial Channels. Jour. Of Hydra. Eng. 132 (12).

15. Leopold, L. B. and Maddock, T. 1953. The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. Geological Survey Professional, 252.

16. Manning, R. 1891. On the flow of water in open channels and pipes. Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland. 20: 161-207.

17. Meyer-Peter, E. and Muller, R. 1948. Formulas for bed load transport. In Proceedings of the 3rd Meeting of IAHR Stockholm. 39–46.

18. Milhous, R. T., Hogan, S. A., Abt, S. R. and Watson, C. C. 1995. Sampling river-bed material: the barrel sampler Rivers. 5 (4): 239-249.

19. Mueller, E.R. and Pitlick, J. 2005. Variation in the reference Shields stress for bed load transport in gravel-bed streams and rivers, Water Resources Research, vol. 41, W04006, doi:10.1029/2004WR003692.

20. Parker, G. 2004. Response of the Gravel Bed of a Mountain River to a Hydrograph. International Conference on Slope Land Disaster Mitigation, Taipei, Taiwan, October 5-6, 11.

21. Parker, G., Wilcock, P., Paola, C., Dietrich, W. and Pitlick, J. 2007. Quasi-Universal Relations for Bankfull Hydraulic Geometry of Single-Thread Gravel-Bed Rivers. Journal of Geophysical Research Earth Surface.

22. Tabatabai, M. R. M., Taher Shamsi, A. and Shirkhani, R. 2011. Evaluation of regime relationships in estimating stable width of gravel bed rivers. Journal of Iran Watershed

به صورت ضریب مسلح شدگی، همبستگی روابط رژیم را افزایش داده و لذا آگاهی از دانه بندی ذرات لایه مسلح و زیرمسلح در رودخانه های شنی از اهمیت زیادی برخوردار است.

✓ نتایج حاصل از بررسی روابط رژیم بدست آمده از این مطالعه، نشان دهنده آن است که ابعاد پایدار رودخانه های شنی به هر چهار متغیر دبی، اندازه ذرات، شیب طولی و بار بستر، وابسته می باشد.

منابع

1. Andrews, E.D. and Parker, G. 1987. Formation of a coarse surface layer as the response to gravel mobility. Sediment Transport in Gravel-bed Rivers. John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 269– 300.

2. Billi, P. and Paris, E. 1992. Bed sediment characterization in river engineering problems. Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins, IAHS Publ. no. 210.

3. Bray, D. I. 1982b. Regime equations for gravel-bed rivers. In Hey, R. D., Bathurst, J. C. and Thorne. C. R., (Editors): Gravel-bed Rivers: Fluvial Processes, Engineering and Management, John Wiley and Sons Chichester. 517- 552.

4. Bunte, K. and Abt, S. R. 2001. Sampling Surface and Subsurface Particle size Distributions in Wadable Gravel and Cobble Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Stream bed Monitoring. USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-74.

5. Church, M. and Kellerhals, R. 1979. On the statistics of grain size variation along a gravel river. Canadian Journal of Earth Sciences 15: 1151–1160.

6. Dietrich, W. E., Kirchner, J. W., Ikeda, H., and Iseya, F. 1989. Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravel-bedded rivers. Nature 340. 215-217.

7. Engelund, F. and Fredsee, J. 1976. A sediment transport model for straight alluvial channels, Nord. Hydrol., 7, 293-306.

8. Hassan, M.A., Egozi, R., and Parker, G. 2006. Experiments on the effect of hydrograph characteristics on vertical grain sorting in gravel bed rivers. Water Resources Research 42: W09408. DOI: 10.1029/2005WR004707.

9. Hogan, S. A., Abt, S. A. and Watson, C. C. 1993. Development and testing of a bed material sampling method for gravel and cobble bed streams. Report prepared at the Department of Civil Engineering. Colorado State University,

25. Wolman, M. G. 1954. A method of sampling coarse river-bed material. Transactions of American Geophysical Union. 35: 951–956.
26. Yalin, M. S. 1977. Mechanics of sediment transport. Pergamon. Oxford. UK.
23. Whiting, P. J. and King, J. G. 2003. Surface particle sizes on armoured gravel streambeds: effects of supply and hydraulics”, Earth Surface Processes Landforms 28, 1459-1471.
24. Wilcock, P. R. and Crowe, J. C. 2003. Surface-based transport model for mixed-size sediment. J. Hydraul. Eng., 129(2): 120– 128.
- Management Science and Engineering. 5 (15): 25-34. (In Persian)

*Abstract***Impact of Bed Armoring in Derivation of Regime Relationships Using Field Measurements**M. R. Majdzadeh Tabatabai¹, R. Johari², A. Masoudi³ and M. Mahmoudi⁴

Received: 2015/05/2 Accepted: 2018/05/28

Bed material size frequency distribution of rivers is one of the key points to identify river characteristics. River bed armoring development is one of the controlling factors in sediment transporting and eroding processes of gravel bed rivers. In this research, field study was initially carried out on several gravel bed rivers in Khuzestan and Chaharmahal provinces. 24 hydrometeorological stations in 17 river reaches were sampled to characterize bed material gradation curve. With regards to bed structure of gravel bed rivers, samplings were made by surface and volumetric methods. Thereafter, sediment samples were differentiated in three categories of surface, armor and sub-armor layers. The collected field data were originally applied to derive regime relationships by using multivariate regression analysis. The effect of bed structure was directly studied in these relationships for the better understanding of that in the regime relationships.

Keywords: *Gravel bed, Armoring, Regime relationships.*

-
1. Assist of Professor, Civil Engineering Department, Shahid Beheshti University, Corresponding author, Email: m_majdzadeh@sbu.ac.ir
 2. M.Sc. of River Engineering, Faculty of Water and Environmental Eng, Shahid Beheshti University.
 3. Ph.D. Student. Of Civil, Faculty of Water and Environmental Eng, Shahid Beheshti University.
 4. M.Sc. of River Engineering, Faculty of Water and Environmental Eng., Shahid Beheshti University.