

اثر ویژگیهای هیدرولیکی کانال بر تغییرات ریخت‌شناسی رسوبهای بستر

سید حمیدرضا صادقی^{1*}، عبدالواحد خالدی درویشان²، مهدی وفاخواه³

1- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

2- دانش‌آموخته مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

3- مربی مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

* نور، صندوق پستی 46414 - 356

sadeghi@modares.ac.ir

چکیده - شبیه‌سازی و مدل‌سازی روشی مناسب برای شناخت اصولی ویژگیهای هیدرولیکی کانال است و با افزایش دقت پیش‌بینی‌ها از اتلاف سرمایه‌ها می‌کاهد. هدف از این مطالعه، بررسی ارتباط بین ویژگیهای هیدرولیکی مهم کانال و ویژگیهای ریخت‌شناسی رسوبها و شناسایی مهمترین عوامل هیدرولیکی کنترل‌کننده ویژگیهای ریخت‌شناسی رسوبهای بستر رودخانه واز بوده است. به منظور انجام این تحقیق، ابتدا 12 مقطع در طول رودخانه واز تعیین و رسوبهای بستر رودخانه به صورت ترکیبی برداشت شد. سپس خصوصیات هیدرولیکی کانال و همچنین پارامترهای ریخت‌شناسی رسوبهای برداشت شده به دست آمده و برای مدل‌سازی به کار رفت. نتایج حاصل از این تحقیق ضمن تأیید ارتباط معنادار خصوصیات هیدرولیکی و پارامترهای ریخت‌شناسی، بر تأثیر حداکثر و حداقل دبی جریان و شیب کانال در تبیین خصوصیات ریخت‌شناسی مواد بستری دلالت دارد.

کلید واژگان: بار بستر، خصوصیات هیدرولیکی، ریخت‌شناسی رسوب، گرانولومتری، رودخانه واز، مازندران.

1- مقدمه

می‌شود که پیامدهایی، مانند طراحی‌های دست بالا و دست پایین را به دنبال دارد که در هر دو حالت، موجب اتلاف سرمایه‌های پولی و زمانی می‌شود. ارتباط بین ویژگیهای هیدرولیکی رودخانه‌ها و مواد برجا مانده در ابعاد مختلف، توسط محققان مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. (Costa (1983 و Williams (1983 با استفاده از ویژگیهای رسوبهای درشت‌دانه، به مطالعه هیدرولیکی سیلابها به ترتیب در رودخانه کلرادو و رودخانه‌های سوئد پرداختند. Webb (1988 و همکاران با استفاده از لایه‌بندی رسوبهای برجا مانده در بستر رودخانه Escalante. به

سامانه‌های هیدرولوژیکی بسیار پیچیده بوده و تحت اثر فرایندهای متعدد و متفاوتی قرار دارند. یکی از راههای شناخت سامانه‌ها، ساده‌سازی آنها به عوامل مهم تأثیرگذار و حذف پیچیدگیهای کم اهمیت‌تر است که با عنوان شبیه‌سازی¹ از آن یاد می‌شود. نبود آمار و اطلاعات دقیق و کافی در خصوص روابط بین ویژگیهای هیدرولیکی رودخانه‌ها و رسوبهای حمل شده، منجر به ارزیابیهای صرفاً کیفی در رابطه با سازه‌های حفاظت آب و خاک

1. Simulation

نیز بر اهمیت نسبی هر یک از آنها در کاهش اندازه ذرات و اهمیت سایش در افزایش گردشگری⁴ تأثیر می‌گذارد. (2004) Abdel-Fattah و همکاران برای مقایسه ویژگیهای بار بستر رودخانه Nile در مصر و رودخانه‌های Rhine-Waal در هلند و Mississippi در آمریکا از پارامترهای d_{10} ، d_{50} و d_{90} و انحراف معیار (جورشدگی) استفاده کردند. از آنجا که عوامل و فرایندهای مؤثر بر تغییرات ویژگیهای شکل مواد بستر و اندازه آنها بر اساس منابع مختلف، به عوامل سنگ‌شناسی، منشأ، فرایندها، نقش ورودیهای فرعی، خصوصیات جریان و خصوصیات زمین‌ریخت‌شناسی مرتبط است، لذا هر یک از آنها می‌تواند به عنوان عامل مستقلى در تبیین ویژگیهای ریخت‌شناسی⁵ رسوبها محسوب شود.

تحقیق حاضر به بررسی ارتباط ویژگیهای مهم هیدرولیکی در طول رودخانه واز با پارامترهای مهم ریخت‌شناسی رسوبهای بستر اختصاص دارد.

2- مواد و روشها

حوضه آبخیز واز با مساحتی برابر 14102 هکتار در ارتفاعات جنوبی بخش چمستان از توابع شهرستان نور در دامنه¹⁵ و⁵⁵ و⁵¹ تا¹⁵ و¹² و⁵² طول شرقی و³⁰ و¹² و³⁶ تا¹³ و²⁶ و³⁶ عرض شمالی واقع شده است. حوضه مذکور با کاهش تدریجی ارتفاع به سمت شمال (نزدیک به روستای جوربند) به مناطق جلگه‌ای دریای خزر متصل می‌شود (خالقی، 1377). شیب متوسط حوضه برابر 40%، حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب برابر 270 و 3350 متر و متوسط ارتفاع آن برابر 1800 متر نسبت به سطح آبهای آزاد است. شکل 1-الف نمای کلی و موقعیت حوزه آبخیز واز را نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی ویژگیهای ریخت‌شناسی رسوبهای بستر رودخانه واز و ارتباط آن با شرایط هیدرولیکی، ابتدا مطالعات انجام شده برای حوضه آبخیز مورد مطالعه

بازسازی درازمدت سیلها در رودخانه مذکور پرداخته و بزرگترین سیل در طی چند صد سال گذشته را شناسایی کردند.

(1988) Kochel and Baker تغییرات وضعیت رسوب‌گذاری را از نظر ضخامت و دانه‌بندی برحسب سطح مقطع و شیب آبراهه اصلی در طی دورانهای کم‌آبی بررسی کردند.

(2001) Clifford در مطالعه‌ای در فرانسه نشان داد که اندازه ذرات مواد بستری، در جهت پایاب کاهش می‌یابد و این کاهش همراه با افزایش عرض کانال، عمق جریان، دبی و حجم نسبی رسوب انباشته شده در کانال صورت می‌پذیرد. (2002) Nino با مطالعه گسترده‌ای در مرکز شیلی براساس متوسط داده‌های صحرایی مربوط به 150 رودخانه بیان می‌کند که متوسط قطر رسوبها تابعی از شیب کانال، عدد رینولدز جریان و بار بستر است؛ به طوری که در شیبهای مختلف، اندازه متوسط بار بستری در جهت پایاب کاهش می‌یابد، اما این کاهش در شیبهای کمتر از 0/3% بسیار شدیدتر است.

(2002) Ahmad Bakri در مطالعه‌ای در مالزی، مدلهایی را برای تعیین ضریب زبری مانینگ در رودخانه‌های این کشور ارائه کرد. وی ابتدا به معرفی مدلهایی پرداخت که در آنها از قطرهای مختلف رسوبات بستر و همچنین شعاع هیدرولیکی و عمق جریان استفاده می‌شود و سپس با افزودن پارامترهای دیگری مانند دبی، عدد رینولدز، شیب کانال، لزجت دینامیکی، سرعت متوسط جریان و لزجت سینماتیک، مدل بهینه‌ای را برای به دست آوردن ضریب زبری n برای رودخانه‌های مالزی معرفی کرد. (2003) Demir با مطالعه‌ای در انگلستان به این نتیجه رسید که هر دو فرایند سایش¹ و جورشدگی² توابع معناداری از فاصله طی شده از سراب در رودخانه و همچنین شایستگی جریان³ بوده و در نتیجه مقدار شیب

4. Roundness
5. Morphometry

1. Abrasion
2. Sorting
3. Flow competence

گردشده‌گی آنها استفاده شد. برای به‌دست آوردن و اندازه‌گیری سه محور بزرگ، متوسط و کوچک، ذرات بزرگتر از 32 میلیمتر از کولیس با دقت 1 میلیمتر و برای ذرات کوچکتر از روش الک کردن استفاده شد. به‌دست آوردن گردشده‌گی ذرات به کمک رابطه (1) انجام شد، که در آن r شعاع کوچکترین دایره گوشه‌ها در تصویر ذره و a ، b و c نیز به ترتیب قطرهای بزرگ متوسط و کوچک ذره است.

$$(1) \quad \frac{r^3}{abc} = \text{ضریب گردشده‌گی}$$

برای به‌دست آوردن r ، 10 درصد وزنی از ذرات بزرگتر از 32 میلیمتر در هر مقطع به طور تصادفی انتخاب شده و پس از ترسیم تصاویر آنها بر روی کاغذ، با استفاده از پرگار و کولیس، پارامتر r تعیین و با داشتن a ، b و c ، گردشده‌گی ذرات تعیین شد. ضریب شکل ذرات نیز با دانستن سه محور a ، b و c و با استفاده از رابطه (2) تعیین شد. پس از به‌دست آوردن ضریب شکل، از روی جدول 1 و به روش درون‌یابی، ثابت مارکویک (K) تعیین و قطر ظاهری ذره (N_d) با استفاده از رابطه (3) محاسبه شد.

$$(2) \quad SF = \frac{c}{\sqrt{a \times b}} = \text{ضریب شکل}$$

جدول 1 رابطه بین ثابت مارکویک و ضریب شکل

0/9	0/7	0/5	0/3	SF
1/0	1/05	1/13	1/27	K

کروییت و نسبت پهن‌شدگی رسوبهای برداشت شده در هر یک از مقاطع نیز با استفاده از روابط (4) و (5) محاسبه شد (شفاعی‌بجستان، 1373).

$$(3) \quad b = K \cdot N_d$$

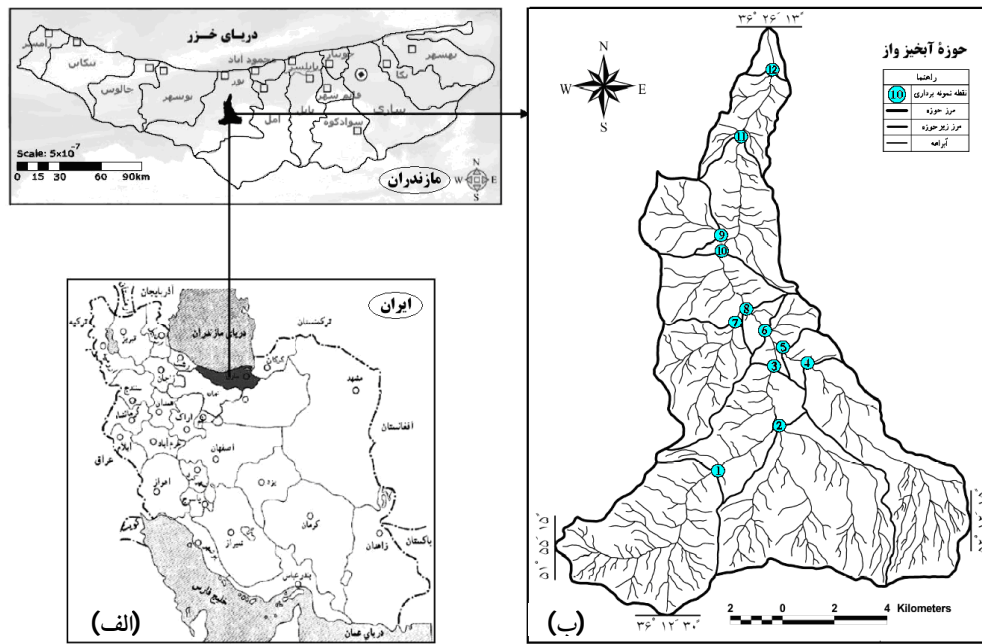
$$(4) \quad \text{کروییت} = \frac{N_d}{a}$$

$$(5) \quad \text{نسبت پهن‌شدگی} = \frac{a+b}{c}$$

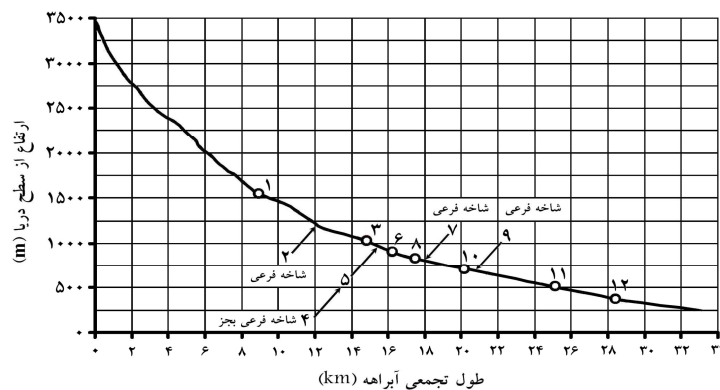
جمع‌آوری و سپس با توجه به شبکه زهکشی در حوضه، امکان دسترسی و تغییر مورد نظر در خصوصیات، 12 مقطع بر روی شبکه زهکشی حوضه انتخاب و پس از بازدیدهای صحرائی، نهایی شد. وضعیت پراکنش و موقعیت مقاطع برداشت رسوبهای بستر بر روی پروفیل طولی آبراهه اصلی به‌ترتیب در شکل 1-ب و شکل 2 نشان داده شده است.

در برداشت نمونه‌ها برای تحقیق حاضر از روش ترکیبی¹ Fipp and Diplas (1993) استفاده شده است. رسوبهای مربوط، در محل نمونه‌برداری به عرض تقریباً 1 متر و در طولی برابر با عرض رودخانه و با عمق مناسب، با یکدیگر ترکیب شده و سپس مقدار مورد نیاز برداشت شد. برداشت نمونه‌ها در هر یک از مقاطع به نحوی انجام شد که وزن بزرگترین ذره رسوبی در داخل نمونه بیش از 5% وزن کل نمونه نباشد (Mosley and Tindale 1985). سپس رسوبهای برداشت شده به آزمایشگاه حمل شده و مواد آلی آنها توسط آب اکسیژنه زدوده شده (Leeder, 1988) و با استفاده از کوره‌ای با دمای 70 درجه سانتیگراد در مدت 2 روز خشک شده و سپس ویژگیهای مهم ریخت‌شناسی مواد بستر شامل میانگین، جورشدگی، چولگی²، کشیدگی³، نما⁴، قطر ده درصد، قطر پنجاه درصد، قطر نود درصد، درصد شن⁵، درصد ماسه، درصد سیلت و رس (لای)، قطر بزرگ، قطر متوسط، قطر کوچک، ضریب شکل⁶، قطر ظاهری⁷، کروییت⁸، گردشده‌گی و نسبت پهن‌شدگی⁹ محاسبه شد. ابتدا با استفاده از الک 32 میلیمتری، ذرات با قطر بزرگتر از 32 میلیمتر از نمونه رسوب جدا شده و برای به‌دست آوردن ویژگیهای مربوط به شکل ذرات رسوبی و

1. Mixing Method
2. Skewness
3. Kurtosis
4. Mode
5. Gravel
6. Shape factor
7. Nominal diameter
8. Sphericity
9. Width ratio



شکل 1 شمای کلی و موقعیت حوضه آبخیز واز



شکل 2 موقعیت مقاطع مورد مطالعه بر روی پروفیل طولی آبراهه اصلی

میلیمتر به روش الک کردن در طبقات $0/5\phi$ تفکیک و وزن شد. سپس با وزنهای به دست آمده و با استفاده از نرم افزار GRADISTAT، چهار پارامتر میانگین (M_g)، انحراف معیار (σ_g)، چولگی (SK_g) و کشیدگی (K_g) به روش ترسیمی (هندسی) محاسبه شد. روابط به کار رفته با شماره‌های 6-9 نشان داده شده‌اند (Blott and Pye, 2001).

برای تعیین توزیع اندازه ذرات و به دست آوردن منحنی دانه‌بندی¹ و پارامترهای مربوط به آن، از تمامی ذرات استفاده شد. به این صورت که ابعاد ذرات بزرگتر از 128 میلی‌متر به طور مستقیم در آبراهه اندازه‌گیری شده و وزن آنها نیز یادداشت شد. ابعاد ذرات با قطر b بین 32 تا 128 میلیمتر با کولیس تعیین شده و وزن آنها در چهار طبقه قطری 32-45، 45-64، 64-90 و 90-128 میلیمتر اندازه‌گیری و ثبت شد. ذرات با قطر متوسط کمتر از 32

1. Granulometry

$$M_g = \exp \frac{\ln P_{16} + \ln P_{50} + \ln P_{84}}{50} \quad (6)$$

$$\sigma_g = \exp \left(\frac{\ln P_{16} - \ln P_{84}}{4} + \frac{\ln P_5 - \ln P_{95}}{6.6} \right) \quad (7)$$

$$SK_g = \frac{\ln P_{16} + \ln P_{84} - 2(\ln P_{50})}{2(\ln P_{84} - \ln P_{16})} + \frac{\ln P_5 + \ln P_{95} - 2(\ln P_{50})}{2(\ln P_{95} - \ln P_5)} \quad (8)$$

$$K_g = \frac{\ln P_5 - \ln P_{95}}{2.44 (\ln P_{25} - \ln P_{75})} \quad (9)$$

برای تحلیل‌های آماری و تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته، از آزمون ارتباط برازش دو متغیره¹ و چند متغیره² از بخشهای *Analyze*، *Regression*، *Linear* و *Curve Estimation* در نرم‌افزار SPSS10 استفاده شد. تهیه مدل‌های برازشی در واقع با بررسی ارتباط مستقیم متغیرها با یکدیگر یا شکل تغییر یافته³ آنها انجام شده است. لذا روابط دوتایی بین متغیرها در حالت‌های مختلف خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دو، درجه سه و نمایی بررسی شد. سپس با توجه به درجه آزادی $n-2$ ، مدل‌های با حد قابل قبول ضریب همبستگی به ترتیب مساوی یا بزرگتر از $0/708$ و $0/576$ در سطح 1 و 5% انتخاب (مهدوی، 1378) و مدل‌های با ضریب همبستگی بالاتر به عنوان مدل‌های نهایی مدنظر قرار گرفت. برای تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته، آزمون برازش چندگانه در شکلهای مختلف خطی، لگاریتمی، معکوس، توان دو، توان سه و لگاریتم نبری به روش پسرو⁴ به دلیل دقت مدل‌های به دست آمده با آن (وفاخواه و مهدوی، 1378؛ رزاقیان، 1383 و صادقی و همکاران، 1384) نیز انجام شد.

بنابراین برای هر متغیر وابسته، یک یا چند رابطه معنادار آماری به دست آمد. انتخاب نهایی یک مدل از میان روابط به دست آمده در این مرحله، با استفاده از درصد خطای نسبی تخمین مدلها (Green and Stephenson 1986)

d_{10} ، d_{50} و d_{90} بر حسب میکرومتر و مقیاس ϕ با استفاده از GRADISTAT محاسبه شد. جایگاه نمونه رسوب مطالعه شده در مثلث بافت و در نهایت منحنی دانه‌بندی و توزیع تجمعی نیز در دو مقیاس میکرومتر و ϕ ارائه شد. در مجموع نتایج حاصل از دانه‌بندی و سایر ویژگیهای ریخت‌شناسی مانند گردش‌دگی، ضریب شکل، کرویت و نسبت پهنی برای انجام تحلیل‌های لازم به نرم‌افزار SPSS10 وارد شد.

همچنین پارامترهای هیدرولیکی مقاطع مانند سطح مقطع، محیط خیس شده، شعاع هیدرولیکی، ضریب زبری، شیب طولی بستر، سرعت جریان و همچنین دبی مربوط به داغاب ثبت شده برای هر یک از مقاطع محاسبه شد. پس از تعیین مقاطع یا نقاط نمونه‌برداری در داخل بستر رودخانه، حد بالاترین داغاب شناسایی و بر اساس آن عرض بالا و پایین مقطع و شیب کنارها و سپس سطح مقطع و همچنین محیط خیس شده محاسبه شد. شیب طولی بستر آبراهه در هر یک از مقاطع با استفاده از طناب و متر نواری و تراز در طول تقریبی 30 تا 40 متر به دست آمد. استفاده از دوربین نقشه‌برداری به دلیل نبود محیط و فضای مناسب برای استقرار آن امکان‌پذیر نبود. پس از به دست آوردن شیب طولی کانال در مقطع و همچنین محاسبه ضریب مؤثر زبری بر جریان سیلابی با استفاده از روش Cowan، به کمک رابطه مانینگ سرعت جریان سیلابی تعیین (Arcement et al., 1980) و سپس دبی مربوط محاسبه شد.

1. Two Variable Regression
2. Multivariable Regression
3. Transform
4. Backward

بدین ترتیب اگرچه نقش مهم خصوصیات هیدرولیکی بر تبیین ویژگیهای رسوبات بستر در رودخانه مورد مطالعه تأیید شده است. لکن انجام مطالعات مشابه در سایر رودخانه‌ها با تعداد مقاطع بیش‌تر به‌منظور دستیابی به جمع‌بندی کلی پیشنهاد می‌شود.

5- علائم

K	ثابت مارکویک
σ_g	جورش‌دگی
SK _g	چولگی
Q	دبی جریان
Mud%	درصد سیلت و رس
Gravel%	درصد شن
Sand%	درصد ماسه
V	سرعت جریان
A	سطح مقطع
S	شیب طولی بستر
R	شعاع هیدرولیکی
SF	فاکتور شکل
A	قطر بزرگ
d _d	قطر پنجاه درصد
d ₁	قطر ده درصد
C	قطر کوچک
N _d	قطر ظاهری
B	قطر متوسط
d ₁₀	قطر نود درصد
N	ضریب زبری
S _p	کروییت
K _g	کشیدگی
R ₀	گردش‌دگی
P	محیط خیس شده
M _g	میانگین
W _r	نسبت پهنی
M	نما

و با رعایت حد قابل قبول کمتر از 40% (Das 2000) انجام شد. در نهایت رتبه‌بندی عوامل مختلف هیدرولیکی در تغییرات ریخت‌شناسی خصوصیات بستر، به کمک ضریب استاندارد شده همبستگی (β) در روابط برازشی چند متغیره نهایی شده، انجام شد. متغیر مستقل با بیشترین مقدار ضریب β ، به‌عنوان مهمترین پارامتر تبیین‌کننده تغییرات متغیر وابسته آن مدل معرفی شد.

3- تجزیه و تحلیل نتایج

جدول 2 پارامترهای هیدرولیکی و جدول 3 پارامترهای ریخت‌شناسی رسوبهای مقاطع مورد نظر را نشان می‌دهد. از نظر روابط برازش دو متغیره، رابطه بین هر یک از 19 متغیر وابسته با 7 متغیر مستقل هیدرولیکی به شش شکل خطی، معکوس، درجه دوم، درجه سوم، لگاریتمی و نمایی بررسی و از میان حالت‌های ممکن، یک مدل نهایی برای هر متغیر وابسته انتخاب شد و در صورت احراز نشدن شرایط استاندارد آماری برای مدلها، برای آن متغیر مدلی انتخاب نشد. از نظر روابط برازش چندمتغیره نیز رابطه هر یک از متغیرهای وابسته با مجموع متغیرهای مستقل هیدرولیکی -با و بدون تجزیه و تحلیل عاملی- بررسی شد. برای این منظور ابتدا رابطه با داده‌های اصلی و سپس با معکوس، توان دوم و سوم و در مرحله بعد با لگاریتم و در نهایت با لگاریتم نپری متغیرهای مستقل بررسی شد. نتایج نهایی مدلسازی در جدول 4 نشان داده شده است.

4- نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط بین خصوصیات هیدرولیکی مهم کانال و ویژگیهای اصلی ریخت‌شناسی رسوبهای بستر 12 مقطع در رودخانه واز انجام پذیرفت. نتایج به‌دست آمده بر ارتباط معنادار ویژگیهای هیدرولیکی و تأثیر حداکثر و حداقل به‌ترتیب دبی جریان و شیب کانال با مؤلفه‌های ریخت‌شناسی دلالت داشته است.

جدول 2 پارامترهای هیدرولیکی مقاطع مورد نظر

مقطع	سطح مقطع جریان (m ²)	محیط خیس شده (m)	شعاع هیدرولیکی (m)	ضریب زبری	شیب (%)	سرعت جریان (m/s)	دبی جریان (m ³ /s)
1	17/60	16/10	1/09	0/0690	3/00	2/66	46/89
2	15/80	14/80	1/07	0/0689	3/20	2/71	42/83
3	30/10	22/55	1/33	0/0575	1/80	2/83	85/15
4	23/10	22/50	1/03	0/0756	6/40	3/41	78/70
5	25/80	23/15	1/11	0/0634	3/40	3/12	80/58
6	33/50	18/40	1/82	0/0580	3/40	4/75	158/97
7	5/50	7/60	0/72	0/0640	4/80	2/76	15/19
8	34/90	21/00	1/66	0/0538	3/30	4/74	165/40
9	7/50	8/90	0/84	0/0620	2/40	2/23	16/73
10	42/20	26/10	1/62	0/0557	2/30	3/75	158/24
11	47/20	29/60	1/59	0/0542	2/0	3/56	168/23
12	50/60	30/40	1/66	0/0540	1/70	3/39	171/67

جدول 3 پارامترهای ریخت‌شناسی رسوبهای مقاطع مورد نظر

مقطع	درصد شن	d ₉₀ (mm)	d ₅₀ (mm)	d ₁₀ (mm)	نما (mm)	کشیدگی	جولگی	جورشدگی	میانگین (mm)
1	85/137	241/86	41/85	0/84	215/27	0/904	-0/361	8/620	27/386
2	88/779	194/49	45/07	1/49	152/22	0/968	-0/394	6/639	31/594
3	83/889	218/70	34/07	0/67	152/22	0/937	-0/345	8/998	22/550
4	90/341	227/79	42/26	2/11	215/27	0/915	-0/283	6/239	33/117
5	86/613	216/25	18/41	1/22	215/27	0/895	-0/059	7/616	20/105
6	78/846	166/30	14/36	0/28	215/27	0/973	-0/200	10/430	11/649
7	81/049	195/79	12/37	0/88	215/27	0/745	0/024	8/006	14/415
8	82/982	188/72	20/40	0/72	215/27	0/914	-0/210	8/613	17/340
9	81/434	127/98	16/10	0/48	107/63	0/881	-0/227	8/078	13/505
10	88/696	245/22	54/41	1/30	215/27	1/193	-0/403	7/483	38/451
11	88/576	180/92	28/21	1/50	215/27	0/968	-0/243	6/652	24/226
12	78/665	174/45	23/86	0/18	152/22	0/918	-0/395	12/880	12/394

ادامه جدول 3 پارامترهای ریخت‌شناسی رسوبهای مقاطع مورد نظر

مقطع	نسبت پهنی	گردشدگی	کرویت	قطر ظاهری ذره (mm)	ضریب شکل	c (mm)	b (mm)	a (mm)	درصد سیلت و رس	درصد ماسه
1	2/00	0/126	0/653	44/11	0/506	29/34	49/74	67/49	0/349	14/51
2	2/03	0/245	0/675	45/22	0/498	29/16	51/16	67/00	0/268	10/95
3	1/94	0/305	0/670	47/67	0/520	32/10	53/48	71/14	0/366	15/74
4	1/69	0/122	0/687	50/13	0/599	37/81	54/66	72/91	0/336	9/32
5	1/69	0/148	0/698	46/87	0/597	34/99	51/15	67/12	0/938	12/44
6	1/75	0/218	0/681	49/40	0/577	36/18	54/31	72/51	1/271	19/88
7	1/70	0/139	0/708	45/08	0/592	33/17	49/28	63/61	0/158	18/79
8	1/89	0/258	0/629	48/40	0/539	34/71	53/94	76/90	0/588	16/43
9	1/84	0/249	0/674	53/08	0/550	37/47	58/92	78/75	0/525	18/04
10	1/90	0/233	0/673	54/55	0/531	37/34	60/96	80/96	0/264	11/04
11	1/87	0/236	0/664	47/51	0/541	33/31	52/90	71/54	0/238	11/18
12	1/84	0/2572	0/6657	48/19	0/549	34/18	53/50	72/38	1/713	19/62

جدول 4 مدل‌های بهینه برای متغیرهای وابسته

متغیر وابسته	رابطه	ضریب تبیین	درصد خطای تخمین	سطح معنی‌داری
M_g	$M_g=530.264\exp(n)-0.234\exp(V)+5.107\exp(\text{Log}(Q))-565.284$	0/747	562/475	0/030
σ_g	$\sigma_g=0.933 \exp(R)-1.334 \exp(\text{Log}(S))+0.013 \exp(V)-0.567 \exp(\text{Log}(Q))+10.084$	0/885	92/419	0/030
SK_g	$SK_g=-0.069A+0.151P+2.276R+1.706\text{Log}(S)-41.096n+2.388\text{Log}(Q)+1.895$	0/857	7/608	0/049
$\text{Log}(K_g-0.45)$	$\text{Log}(K_g-0.45)=0.019\exp(R)+3.717\exp(\text{Log}(n))-0.003\exp(V)+0.015\exp(\text{Log}(Q))-4.663$	0/804	5/368	0/039
M	$M=78.424\exp(\text{Log}(S))+11.340\exp(\text{Log}(Q))-11.160$	0/610	2806/556	0/047
D_{10}	$D_{10}=1.260\exp(\text{Log}(S))+15.266\exp(n)-0.014\exp(V)+0.236\exp(\text{Log}(Q))-18.356$	0/881	29/015	0/032
D_{50}	$D_{50}=0.001A^3-0.011P^3-19.232R^3+72.480(\text{Log}(S))^3-1.675V^3+31.389(\text{Log}(Q))^3-13.130$	0/915	602/951	0/015
D_{90}	-	-	-	-
Gravel %	$\text{Gravel \%}=-1.964\exp(R)+226.621\exp(n)-0.065\exp(V)+2.613\exp(\text{Log}(Q))-163.714$	0/869	218/364	0/041
Sand %	$\text{Sand \%}=1.857\exp(R)-221.137\exp(n)+0.065\exp(V)-2.647\exp(\text{Log}(Q))+257.925$	0/870	184/471	0/012
$\text{Log}(\text{Mud \%})$	$\text{Log}(\text{Mud \%})=0.004\exp(V)-0.552$	0/536	23/639	0/032
A	-	-	-	-
B	-	-	-	-
c	-	-	-	-
SF	$SF=-0.030A+0.075P+1.282(R)+0.700\text{Log}(S)-10.190n-1.324\text{Log}(Q)+1.013$	0/948	1/173	0/005
N_d	-	-	-	-
S_p	$S_p=-0.018A+0.037P+0.935(R)+0.827\text{Log}(S)-11.607n-0.160V-0.581\text{Log}(Q)+1.165$	0/950	0/763	0/018
R_o	$R_o=0.161R-0.465\text{Log}(S)+0.820V+0.363$	0/668	4/142	0/026
W_r	$W_r=0.015A-0.273P-4.259R-1.653\text{Log}(S)+23.680n-0.248V+5.026\text{Log}(Q)+0.615$	0/963	3/693	0/010

جدول 5 رتبه‌بندی عوامل هیدرولیکی با استفاده از ضرایب β

رتبه متغیر مستقل					متغیر وابسته
رتبه 5	رتبه 4	رتبه 3	رتبه 2	رتبه 1	
-	n 0/449	P -0/764	V -0/970	Q 1/306	M_g
V 0/256	P -0/628	R -0/700	Q -0/703	A 1/296	σ_g
S 2/143	R 6/125	Q -6/689	A -7/452	P 8/068	SK_g
n 0/313	Q 0/378	P -0/759	V -1/190	R 1/676	$\text{Log}(K_g-0/45)$
-	-	A -0/306	S 0/584	Q 0/674	M
P 0/476	S 0/634	V -0/881	A -0/939	Q 0/947	d_{10}
R -2/652	A 3/766	V -3/868	P -7/241	Q 8/093	d_{50}
-	-	-	-	-	d_{90}
n 0/421	V -0/591	R -0/667	A -0/828	Q 1/467	Gravel %
n -0/442	R 0/620	V 0/636	A 0/678	Q -1/599	Sand %
-	-	-	V 0/457	A 0/607	$\text{Log}(\text{Mud } \%)$
-	-	-	-	-	a
-	-	-	-	-	b
-	-	-	-	-	c
S 3/445	A -12/810	R 13/526	Q -14/535	P 15/700	SF
-	-	-	-	-	N_d
S 6/894	Q -10/001	A -12/592	P 13/051	R 16/696	S_p
-	-	R -0/959	Q 1/059	S -1/294	R_o
S -2/427	A 13/322	R -13/399	Q 16/456	P -17/075	W_r

6- منابع

[۳] رزاقیان، ه.، 1383. بررسی اثر توزیع مکانی و زمانی

بارندگی بر روی وضعیت سیل در بخشی از حوضه آبخیز گرگانرود، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، 68 ص.

[۴] شفاعی بجنستان، م.، 1373. هیدرولیک رسوب،

انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز، 438 ص.

[۱] خالدی درویشان، ع.و.، 1383. بررسی تاثیر برداشت

شن و ماسه بر خصوصیات ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه، سمینار کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، 36 ص.

[۲] خالقی، پ.، 1377. نیمرخ جنگلهای خزر جنگل

تحقیقاتی واز رود، انتشارات موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، تهران، 380 ص.

Boulder Deposition the Colorado Front Range". Geological Society American Bulletin, 94:986-1004.

[14] Das, G., 2000. "Hydrology and soil conservation engineering". Prentice-Hall of India, Private Limited Pub., 489p.

[15] Demir, T., 2003. "Downstream Changes in Bed Material Size and Shape Characteristics in a Small Upland Stream, Cwm Treweryn, in South Wales". Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, 33-47.

[16] Fripp, J.B. and Diplas, 1993. "Surface Sampling in Gravel Stream". Journal of Hydraulic Engineering, 119 (4): 473-490.

[17] Green, I.R.A. and Stephenson, D., 1986. "Criteria for comparison of single event models". Hydrological Sciences Journal, 31: 395-411.

[18] Kochel, R.C. and Baker, V.R., 1988. "Paleoflood Analysis Using Slack Water Deposits, Flood Geomorphology". John Willey and Sons Publications: 357- 376.

[19] Leeder, M. R., 1988. "Sedimentology: Process and Product". Fletcher & Son Ltd, 344 pp.

[20] Mosley, M. P. and Tindale, D. S., 1985. "Sediment Variability and Bed Material Sampling in Gravel-Bed Rivers". Earth Surface Processes Landforms, 10(5): 465-482.

[21] Nino, Y., 2002. "Simple Model for Downstream Variation of Median Sediment Size in Chilean Rivers". Journal of Hydraulic Engineering, 128 (10): 934-941.

[22] Tucker, M. E., 1981. "Sedimentary Petrology: an Introduction". Blackwell Scientific Publication, London, 252 p.

[23] Webb, R. H., O'Conner, J. E. and Baker, V. R., 1988. "Paleohydrologic Reconstruction of Flood Frequency on the Escalante River". South Central Utah, Flood Geomorphology, John Willey and Sons Publication: 403-418.

[24] Williams, G. P., 1983. "Paleohydrological Methods and Some Examples from Swedish Fluvial Environment". Cobble and Boulder Deposits, Geogr. Ann., 65A: 227-243.

[۵] صادقی، س.ح.ر.، مرادی، ح.ر.، مزین، م. و وفاخواه، م.، 1384. کارآیی روشهای مختلف تجزیه و تحلیل آماری در مدلسازی بارش-رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کسپلیان)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، 90-81:(3)12.

[۶] مهدوی، م.، 1378. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، 401ص.

[۷] وفاخواه، م. و مهدوی، م.، 1378. "ارائه مدل ریاضی جهت برآورد خشکسالی هیدرولوژیک در مناطق خشک ایران مرکزی"، دومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، تهران، 13 و 14 آبان، 202-209.

[8] Abdel-Fattah, S., Amin, A. and Van Rijn, L.C., 2004. "Sand Transport in Nile River, Egypt". Journal of Hydraulic Engineering, 130(6): 488-500.

[9] Ahmad Bakri, A. G., Aminuddin, AB. G., Nor Azazi, Z., Zorkeflee, A. H. and Chang, C. K., 2002. "Determination of Manning's Flow Resistance Coefficient for Rivers in Malaysia". 1st International Conference on Managing Rivers in the 21st Century: Issues & Challenges, 104-110.

[10] Arcement, G. J. and Schneider, V. R., 1980. "Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficient for Natural Channels and Flood Plains (Metric Version)". United States Geological Survey Water-Supply (USGS), Paper 2339.

[11] Blott, S.J. and Pye, K., 2001. "Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediment". Earth Surface Processes Landforms, 10(26):1237-1248.

[12] Clifford, N. J., 2001. "Conservation and the River Channel Environment". In: A. Warren 2 J. R. French (eds) Habitate Conservation, John Wiley and Sons, Ltd, 356:68-104.

[13] Costa, J. E., 1983. "Paleohydraulic Reconstruction of Flash Flood Peaks from