

## برآورد عرض کانال پایدار با استفاده از روابط ارائه شده براساس الگوهای آماری چند متغیره

ندا یوسفی<sup>۱\*</sup> - سعیدرضا خداشناس<sup>۲</sup> - حجت رضایی پزند<sup>۳</sup> - علی اصغر بهشتی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۸

### چکیده

پیش‌بینی رفتار و تعیین ابعاد هندسی کانال‌ها و رودخانه‌های آبرفتی که رسوب‌گذاری و فرسایش در آن‌ها به‌حال تعادل رسیده یکی از مهم‌ترین مباحث مهندسی رودخانه است. پژوهشگران مختلف روابطی برای تخمین عرض پایدار رودخانه ( $W$ ) ارائه داده‌اند. روابط موجود با استفاده از داده‌های موجود از ۲۹ رودخانه پایدار به تعداد ۱۶۴۴ عدد که در این مطالعه جمع‌آوری شده‌اند مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین این روابط با الگوی جدید ارائه شده در این مقاله برای تخمین  $W$  مقایسه شده‌اند. برای ارائه رابطه جدید داده‌ها به دو دسته رودخانه کم‌عرض ( $W < 600m$ ) و رودخانه عریض ( $W \geq 600m$ ) تقسیم شدند. الگوهای جدید چندمتغیره‌ی خطی و غیرخطی بر هر دو دسته برازش و الگوهای برتر با انجام آزمون‌های اولیه و آسیب‌شناسی انتخاب شدند. ضریب‌تعیین این الگوها از ۰/۸۷ تا ۰/۹۶ متغیر است. برای بررسی کارایی و دقت روش ارائه شده از معیارهای آماری و همچنین مقایسه نموداری استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوهای ارائه شده در این مطالعه در مقایسه با روش‌های موجود از دقت بیشتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌شناسی، رودخانه‌ی آبرفتی، ضریب‌تعیین، عرض پایدار، کارایی مدل

### مقدمه

محققین مختلف روابط گوناگونی برای محاسبه  $W$  برحسب عوامل فوق از سال ۱۹۳۰ تا کنون ارائه کرده‌اند. هی‌تورن (۱۵) دو رابطه یک متغیره (توانی برحسب  $Q$ ) و دو متغیره حاصل‌ضربی (برحسب  $Qd_{50}$ ) برای برآورد  $W$  به‌دست آوردند. داده‌های مورد استفاده آن‌ها مربوط به کانال‌های شنی می‌شد (۱). نیل (۱۶) رابطه‌ی یک متغیره‌ی دیگری برای تعیین  $W$  با تغییر در توان  $Q$  به‌دست آورد. لینگتن (۱۹۸۷) نیز رابطه‌ی یک متغیره‌ی توانی برای برآورد  $W$  برحسب  $Q$  به‌دست آورد (۹). ریاحی‌مدوار و ایوب‌زاده (۶) رابطه نیل را دقیق‌تر از روابط دیگر معرفی کردند. افضل‌ی‌مهر و همکاران (۸) ضرایب روابط قبلی را با بررسی رودخانه‌های ایران بر اساس پارامترهای  $Q$  و  $d_{50}$  تغییر دادند. آن‌ها دو رابطه یک و دو متغیره مشابه هی و تورن (۱۵) به‌دست آوردند. جایدری و سلطانی (۳)، رابطه‌ی جدیدی با بررسی داده‌های مربوط به رودخانه‌ی کشکان (استان لرستان) ارائه دادند که در آن از شیب بستر نیز در برآورد عرض کانال استفاده شده است. کلیه روابط ذکر شده در بالا به همراه بعضی از روابط مشابه ارائه شده توسط سایر پژوهشگران از ۱۹۳۰ در جدول ۱ خلاصه شده است. این روابط تجربی بوده و با توجه به تعداد محدودی از داده‌ها است که در شرایط خاصی از نظر جغرافیایی قرار گرفتند و با روش‌های رگرسیون به‌دست آمده‌اند (۱۵ و ۱۸). تحقیقات نشان می‌دهد که به آسیب-

دستیابی به کانال‌ها و رودخانه‌های فرسایش‌پذیر طبیعی که در آن‌ها رسوب‌گذاری و فرسایش به‌حال تعادل رسیده (سامانه در حالت تعادل دینامیکی باشد)، یکی از مباحث مهم مهندسی رودخانه است (۷). کاهش هزینه‌ی عملیات خاکی، نگهداری و انتقال آب با حداکثر توان نیاز به طراحی بهینه دارد. کنترل سیلاب، سامان‌دهی رودخانه، روندیابی جریان، فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه از موارد کاربرد پیش‌بینی رفتار و تعیین ابعاد کانال‌های آبرفتی است (۵). عرض ( $W$ ) یکی از مهم‌ترین پارامترهای هندسی کانال پایدار است (۱۰ و ۱۳). پیشینه‌ی تعیین ابعاد کانال پایدار به بیش از یک‌صد سال می‌رسد. نتیجه‌ی تحقیقات نشان داد که  $W$  بیش‌ترین بستگی را به دبی ( $Q$ ) و اندازه‌ی متوسط ذرات رسوب ( $d_{50}$ ) دارد (۱۴، ۱۷ و ۲۰). زندپارسا و جوان (۲) و جایدری و سلطانی (۳)، شیب بستر ( $S$ ) را نیز در برآورد عرض کانال پایدار به‌عنوان عامل مؤثر سوم معرفی کردند (۳ و ۲).

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
\* - نویسنده مسئول: (Email: nedayousefi.68@gmail.com)  
۳- مربی هیدرولوژی، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

نسبت به سایرین به خوبی نشان می‌دهد.

### مواد و روش‌ها

#### داده‌ها و موقعیت

اطلاعات مربوط به ۲۹ رودخانه‌ی پایدار شامل ۱۶۹۱ نقطه‌ی برداشتی در نقاط مختلف جهان (آمریکا، کانادا، هند، پاکستان، پرتغال، مصر) استفاده شده‌است. رودخانه‌ی کشکان به عنوان مهم‌ترین و پر آب‌ترین زیر حوضه‌های رودخانه کرخه واقع در استان لرستان نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

شناسی این روابط از دیدگاه ریاضی توجه نشده است. رگرسیون یک فن ریاضی است که نیاز به آزمون‌های اولیه و آسیب-شناسی دارد. آسیب شناسی رد و قبول الگوهای رگرسیونی را رقم می‌زند (۱۱) و (۱۹).

هدف و نوآوری این مقاله ارائه الگوهای جدید خطی و غیرخطی بین  $W$  و سایر عوامل مانند  $d_{50}$ ،  $Q$  و  $S$  با طیف وسیعی از داده‌های جمع‌آوری شده در این مطالعه است که بتواند خطای برآورد  $W$  را کاهش دهد. الگوها با آزمون‌های اولیه آماری بررسی شده‌اند و رد و قبول آن‌ها پس از آسیب شناسی مشخص شده‌است. الگوهای ارائه شده توسط این پژوهش با معیار دقت نسبی با الگوهای سایر پژوهشگران مقایسه شده‌است که دقت و کاهش خطای برآورد را

جدول ۱- مهم‌ترین روابط برآورد عرض کانال پایدار توسط پژوهشگران مختلف

ردیف	نام محقق	الگو	سیستم
۱	گلاور و فلوری (۱۹۵۱)	$W = 0.93Q^{0.46}d_{50}^{-0.15}$	متریک
۲	نیکسون (۱۹۵۲)	$W = 1.67Q^{0.5}$	متریک
۳	سایمونتر و آلبرتسون (۱۹۶۳)	$W = 2.85Q^{0.5}$	متریک
۴	شیتال (۱۹۶۶)	$W = 4.3Q^{0.523}$	انگلیسی
۵	کلرهاز (۱۹۶۷)	$W = 1.8Q^{0.5}$	متریک
۶	کلرهاز (۱۹۶۷)	$W = 3.26Q^{0.5}$	متریک
۷	پارکر (۱۹۷۹)	$W = Q^{0.5}d_{50}^{-0.25}$ $W = C_1Q^{0.47}$	متریک
۸	چانگ (۱۹۸۰)	$C_1 = 3.101 + 0.4035 \left[ \log \left( 0.000238Q^{0.42}d_{50}^{-1.15}S^{-1} \right) \right]$	متریک
۹	بری (۱۹۸۲)	$W = 2.73Q^{0.5}d_{50}^{-0.07}$	متریک
۱۰	پارکر (۱۹۸۲)	$W = 4.4d_{50}Q_e^{0.5}$ $Q_e = Q \left[ (G - 1)gd_{50}^5 \right]^{-0.5}$	متریک
۱۱	بری (۱۹۸۲)	$W = 3.86Q^{0.53}d_{50}^{-0.07}$	متریک
۱۲	اندرو (۱۹۸۴)	$W = 3.4Q^{0.42}d_{50}^{-0.05}$	متریک
۱۳	هی و تورن (۱۹۸۶)	$W = 3.6Q^{0.45}$	متریک
۱۴	هی و تورن (۱۹۸۶)	$W = 3.27Q^{0.42}d_{50}^{-0.5}$	متریک
۱۵	لینگتن (۱۹۸۷)	$W = 1.22Q^{0.557}$	انگلیسی
۱۶	نیل (۱۹۸۸)	$W = 4.38Q^{0.5}$	متریک
۱۷	افضلی‌مهر و همکاران (۲۰۱۰)	$W = 5.876Q^{0.743}$	متریک
۱۸	افضلی‌مهر و همکاران (۲۰۱۰)	$W = 4.92Q^{0.726}d_{50}^{-0.035}$	متریک
۱۹	جایدیری و سلطانی (۱۳۸۷)	$W = 1.722Q^{0.507}d_{50}^{-0.089}S^{-0.28}$	متریک

جدول ۲- محدوده‌ی داده‌های مورد استفاده

دبی (مترمکعب بر ثانیه)	اندازه متوسط ذرات (میلی‌متر)	عرض (متر)	عمق (متر)	شیب (درصد)
۵/۲-۲۸۸۲۵/۷	۰/۰۲-۵۷/۶	۰-۱۱۰۹/۵	۰/۱۲۱-۱۷/۳	۰/۰۳-۷/۴۵

$d_{50}$  و  $S$  برازش داده‌شد. الگوهای مختلفی به‌دست آمد. چون تعداد الگوها بسیار زیاد بود الگوها با توجه به تعداد پارامترهای مؤثر دسته‌بندی شدند. الگوی برتر هر دسته به عنوان الگوی رقیب انتخاب شد. چهار الگوی برای حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ ) و دو الگو برای حالت عریض ( $W \geq 600m$ ) به‌دست آمد. ضریب تعیین (قدرت تقریبی) الگوهای به‌دست آمده ۰/۸۷ تا ۰/۹۶ است. روش گام‌به‌گام در تحلیل رگرسیونی استفاده شده است.

### رگرسیون

رگرسیون چندگانه ابزاری سودمند در الگوبندی پارامترهای مؤثر در  $W$  است. رگرسیون به خوبی می‌تواند جنبه‌های آماری الگو را بررسی و به نمایش بگذارد. این کار با آزمون‌های مختلف مانند: آزمون ضرورت وجود ضرایب الگو، جدول تحلیل واریانس و ایجاد فاصله اطمینان انجام می‌شود. این موارد قبول اولیه الگو را رقم می‌زند. آسیب‌شناسی الگوی رگرسیونی (تحلیل باقی‌مانده‌ها یا خطاها) شامل: تثبیت واریانس، همگنی، استقلال و داده پرت است. این موارد با آزمون‌های مختلف آماری انجام می‌گیرد که قبول نهایی (رد نشدن) الگو را تایید می‌کند. می‌توان الگوی رگرسیونی را به سادگی تغییر و توانایی‌های الگوی جدید را با قبلی مقایسه کرد. قدرت رگرسیون با ضریب تعیین ( $R^2$ ) آن مشخص می‌شود. این ضریب سهم نوسانات متغیر وابسته را توسط متغیرهای مستقل تعیین می‌کند (۱۲و۴). رگرسیون خطی و غیرخطی (قابل تبدیل به خطی) چندگانه با  $K$  متغیر توضیحی مطابق رابطه ۱ است.  $\beta_0$  عرض از مبدا و  $\beta_1$  ها شیب‌های صفحه‌های مربوط به متغیرهای توضیحی ( $X_1$ ) است.  $\varepsilon$  جمله خط (باقی‌مانده) است که فرض می‌شود از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت  $\sigma^2$  پیروی می‌کند (۴).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (1)$$

تحلیل داده‌های مقاله حاضر با نرم افزار SPSS.16 انجام شده است. این نرم‌افزار به خوبی می‌تواند خصوصیات مختلف الگوی برازشی و آزمون‌های مربوط را در جداولی ارائه دهد. ویژگی دیگر آن ارائه آزمون‌های مربوط به آسیب‌شناسی (تحلیل باقی‌مانده‌ها) است. خروجی این نرم‌افزار تماماً به‌صورت جدول و نمودارهای مناسب است که می‌تواند در نتایج و بحث به خوبی عمل کند.

تحلیل اولیه‌ی داده‌ها با نمودار پراکنش آغاز شد (شکل ۱). این نمودار نشان می‌دهد که  $W$  به دو گروه مجزای کم‌عرض ( $W < 600m$ ) به تعداد ۱۵۸۴ عدد و عریض ( $W \geq 600m$ ) به تعداد ۶۰ عدد تقسیم می‌شود. الگوهای مختلف خطی و غیرخطی یک تا سه متغیره با متغیرهای توضیحی  $Q$ ،

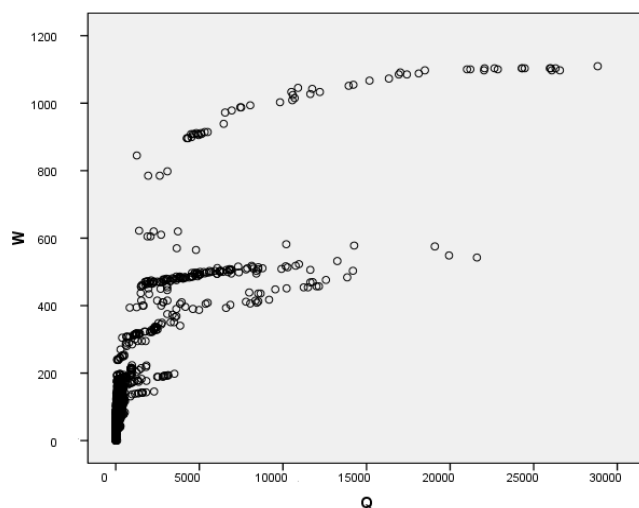
### نتایج و بحث

پیکربندی نتایج و بحث این مقاله شامل: تحلیل اولیه‌ی داده‌های موجود و تفکیک داده‌ها، انتخاب الگوی مناسب (برازش الگو)، آزمون‌های لازم اولیه (قبول اولیه الگو)، آسیب‌شناسی و تعیین دقت الگوهای این مقاله و الگوهای ارائه شده توسط سایر محققین است. چون بحث رگرسیون مفصل و همراه با جداول و نمودارهای متعدد است، فقط تحلیل آماری الگوی (۴) از حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ ) که کم‌ترین خطا را در این دسته دارد بررسی می‌شود.

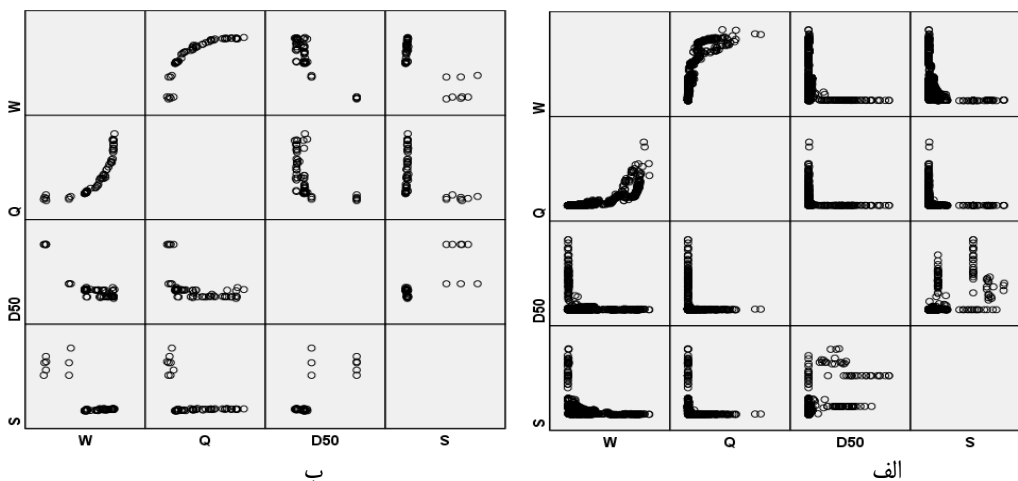
### برازش و قبول اولیه الگوها

اولین گام تحلیل رگرسیونی نمودار پراکنش است (شکل ۱). این شکل پیشنهاد می‌کند که باید  $W$  را به دو دسته کم‌عرض ( $W < 600m$ ) و عریض ( $W \geq 600m$ ) تقسیم کرد. شکل ۲ پراکنش تفکیکی این دو را به خوبی نشان می‌دهد. با استفاده از این نمودار می‌توان نوع رابطه متغیره را شناسایی کرد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است رابطه تقریبی بین  $Q$  و  $W$  در هر دو نمودار توانی است. نمودار پراکنش  $W$  با  $d_{50}$  و  $S$  نیز نشان از ارتباط مناسب بین این پارامترها دارد. تبدیل برای ایجاد رابطه بهتر نیز مورد نیاز است. ابتدا حالت کم‌عرض را بررسی می‌کنیم. سپس این کار را برای حالت عریض انجام می‌دهیم.

تحلیل حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ ): شکل (۲-الف) نشان می‌دهد که  $W$  با  $Q$  رابطه مستقیم و با  $d_{50}$  و  $S$  رابطه معکوس دارد. الگوهای مختلف خطی و غیرخطی برای شناخت این روابط با نرم‌افزار SPSS (روش گام‌به‌گام) و با نردبان تبدیل بر داده‌ها برازش داده شد. نردبان تبدیل در بازه [۲،۲-] در نظر گرفته شده است. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که الگوهای متنوعی بر داده‌ها برازش مناسب دارند.



شکل ۱- تقسیم عرض به دو گروه کم عرض ( $W < 600m$ ) و عریض ( $W \geq 600m$ )



شکل ۲- نمودار پراکنش ماتریسی الف: کم عرض ( $W < 600m$ ) و ب: عریض ( $W \geq 600m$ )

مانده‌ها مستقل فرض می‌شوند. عامل تورم واریانس (VIF) برای هر چهار الگو بسیار کم‌تر از ۱۰ است، بنابراین عدم هم‌خطی نیز برقرار است. آماره فاصله کوک<sup>۱</sup> نیز مناسب است و نشان از عدم داده پرت دارد. دامنه نوسان اهرم‌گون مرکزی شده<sup>۲</sup> نیز مورد قبل را ثابت می‌کند. شکل‌های (۳-۵) نمودارهای باقی‌مانده‌ها را برای بررسی همگنی و تثبیت واریانس نشان می‌دهد. چون ارائه نمودار هر چهار الگو حجم زیادی دارد، فقط نمودارهای مربوط به الگوی ۴ ارائه شده است. نمودارهای ۳ و ۴، همگنی و پیروی باقی‌مانده‌ها از توزیع نرمال را تأیید می‌کند. نمودار ۵ نیز تثبیت واریانس را نشان می‌دهد، زیرا

این الگوها به چهار دسته به صورت خطی، نمایی و دو تبدیل در متغیر پاسخ دسته‌بندی می‌شوند. برترین الگوی هر دسته پس از آزمون‌های اولیه و آسیب‌شناسی انتخاب و به عنوان الگوهای رقیب در نظر گرفته شدند. خلاصه این الگوها در جدول ۳ آمده است. محدودی کاربری الگوها نیز در جدول ۳ مشخص شده است. ضریب تعیین تصحیح شده آن‌ها ( $AdjR^2$ ) بین ۰/۸۷ تا ۰/۸۷۵ است. بنابراین نمی‌توان به خوبی الگوی برتر را مشخص کرد. ستون‌های جدول ۴ نشان می‌دهد که آماره دوربین-واتسون دلالت بر عدم وجود همبستگی بین باقی‌مانده‌ها دارد. آماره جدول دوربین-واتسون با توجه به تعداد داده‌ها و متغیرها ۱/۷۹ است و آماره داخل جدول ۴ بزرگتر از ۱/۷۹ و کوچکتر از  $4 - 1/79 = 2/21$  است بنابراین باقی-

1- Cook's Distance  
2- Centered Leverage

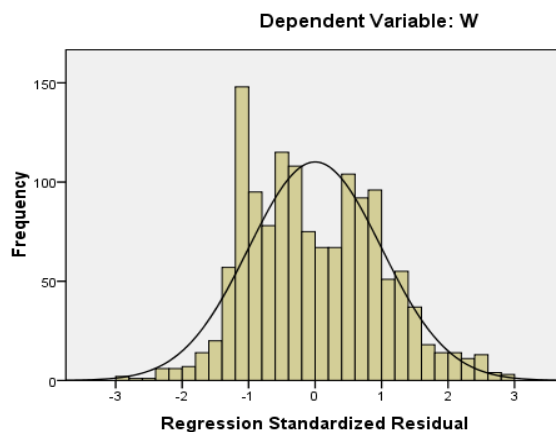
نقاط موجود در نمودار الگوی خاصی را نشان نمی‌دهد و تقریباً در یک نوار مستطیلی توزیع شده‌اند. علت خوشه‌ای شدن بعضی از نقاط، اندازه‌گیری‌های نزدیک به هم است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که چهار الگوی فوق آسیب‌شناسی شده و قبول می‌شوند.

جدول ۳- الگوهای معرفی شده در این مقاله برای حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ )

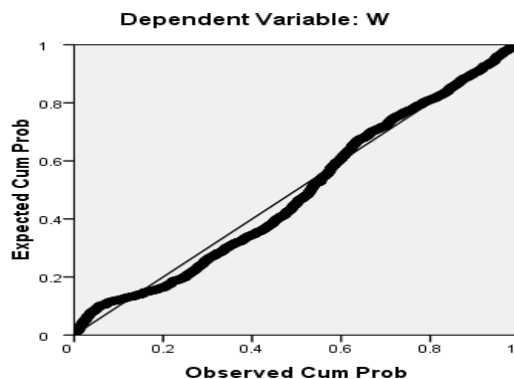
$W = -82.096 + 57.048Q^{0.25}$	الگوی ۱
$W = -62.809 + 57.09Q^{0.251} - 1.676d_{50}^{-0.317}$	الگوی ۲
$W = -89.788 + 62.516Q^{0.247} + 7.953 \ln S$	الگوی ۳
$W = -64.079 + 56.659Q^{0.249} - 0.359d_{50}^{-0.513} + 2.261S^{-0.698}$	الگوی ۴
محدوده داده‌ها $Q : 5.2 - 21605 \frac{m^3}{s}$ $d_{50} : 0.02 - 57.6mm$ $S : 0.003 - 7.45\%$ $W : 3.05 - 582m$	

جدول ۴- ویژگی‌های آماری الگوهای ارائه شده برای حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ )

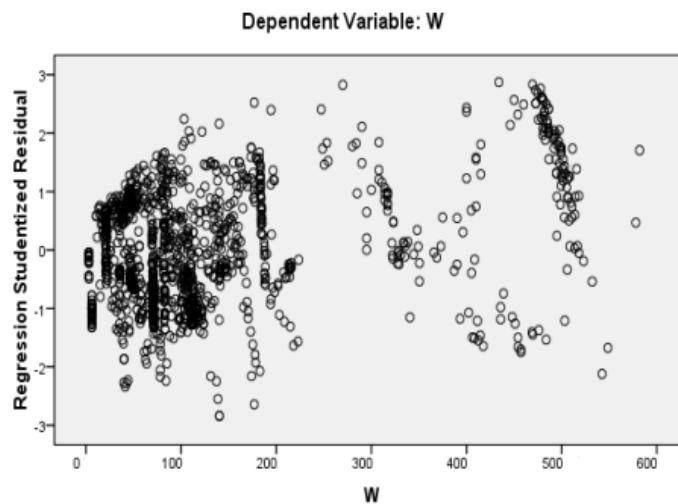
Centered Leverage	Cook's Distance	Std. Residual	VIF	F	Durbin Watson	Adjusted R Square	الگو
[۰,۰/۰۱۱]	[۰,۰/۰۱۴]	[-۲/۶۸۳,۲/۹۸۹]	۱	۱۰۵۹۴/۰۹۶	۲/۱۱	۰/۸۷	۱
[۰,۰/۰۱۴]	[۰,۰/۰۱۲]	[-۲/۷۸۵,۲/۹۷۸]	۱/۰۳۳	۵۴۵۰/۵۱۶	۲/۱۲	۰/۸۷۳	۲
[۰,۰/۰۱۶]	[۰,۰/۰۲]	[-۲/۸,۲/۹۹۸]	۱/۸۳۲	۵۴۳۲/۵۴۳	۲/۱۸	۰/۸۷۳	۳
[۰,۰/۰۱۴]	[۰,۰/۰۵۸]	[-۲/۷,۲/۹۹۹]	۰/۸۷۴	۳۶۹۷/۵۹۶	۲/۰۱	۰/۸۷۵	۴



شکل ۳- نمودار آسیب‌شناسی (بافت‌نگار) الگوی ۴ حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ )



شکل ۴- نمودار آسیب‌شناسی (چندکی) الگوی ۴ حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ )



شکل ۵- نمودار آسیب‌شناسی (باقی مانده‌ها در مقابل برآوردها) الگوی ۴ حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ )

دو الگو بسیار کم‌تر از ۱۰ است، بنابراین عدم هم‌خطی نیز برقرار است. آماره فاصله کوک (Cook's Distance) نیز مناسب است و نشان از عدم داده پرت دارد. دامنه نوسان اهرم‌گون مرکزی شده (Centered Leverage) نیز مورد قبل را ثابت می‌کند. شکل‌های (۸-۶) نمودارهای باقی‌مانده‌ها را برای بررسی همگنی و تثبیت واریانس نشان می‌دهد. چون ارائه نمودار هر دو الگو حجم زیادی دارد، فقط نمودارهای مربوط به الگوی ۲ ارائه شده است. نمودارهای ۶ و ۷، همگنی و پیروی باقی‌مانده‌ها از توزیع نرمال را تأیید می‌کند. نمودار ۸ نیز تثبیت واریانس را نشان می‌دهد، زیرا نقاط موجود در نمودار الگوی خاصی را نشان نمی‌دهد و تقریباً در یک نوار مستطیلی توزیع شده‌اند. علت خوشه‌ای شدن بعضی از نقاط، اندازه‌گیری‌های نزدیک به هم است. نتیجه این که دو الگوی فوق آسیب‌شناسی شده و قبول می‌شوند.

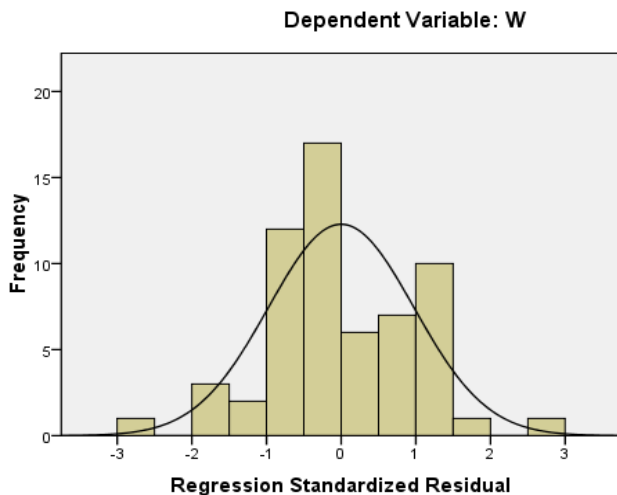
تحلیل حالت عریض ( $W \geq 600m$ ): شکل (۲-ب) نشان می‌دهد که  $W$  با  $Q$  رابطه مستقیم (لگاریتمی) و با  $d_{50}$  و  $S$  رابطه معکوس (لگاریتمی) دارد. تحلیلی مشابه حالت کم‌عرض صورت گرفت. نتایج تحلیل‌ها نشان داد که الگوهای متنوعی بر داده‌ها برازش مناسب دارند. خلاصه این الگوها و محدوده‌ی کاربرد آن‌ها در جدول ۵ آمده است. ضریب‌تعیین تصحیح شده آن‌ها  $AdjR^2$  ۰/۹۳ و ۰/۹۶ است. این دو عدد نشان می‌دهد که رابطه‌های قوی بین متغیرها برقرار است. از طرفی نزدیک به هم بودن این دو سبب می‌شود که نتوان به خوبی الگوی برتر را مشخص کرد. ستون‌های جدول ۶ نشان می‌دهد که آماره دوربین-واتسون دلالت بر عدم وجود همبستگی بین باقی‌مانده‌ها دارد. آماره جدول دوربین-واتسون با توجه به تعداد داده‌ها و متغیرها  $1/62$  است و آماره داخل جدول ۶ بزرگتر از  $1/62$  و کوچکتر از  $2/38 = 1/62 - 4$  است. بنابراین باقی‌مانده‌ها مستقل فرض می‌شوند. عامل تورم واریانس (VIF) برای هر

جدول ۵- الگوهای معرفی شده در این مقاله برای حالت عریض ( $W \geq 600m$ )

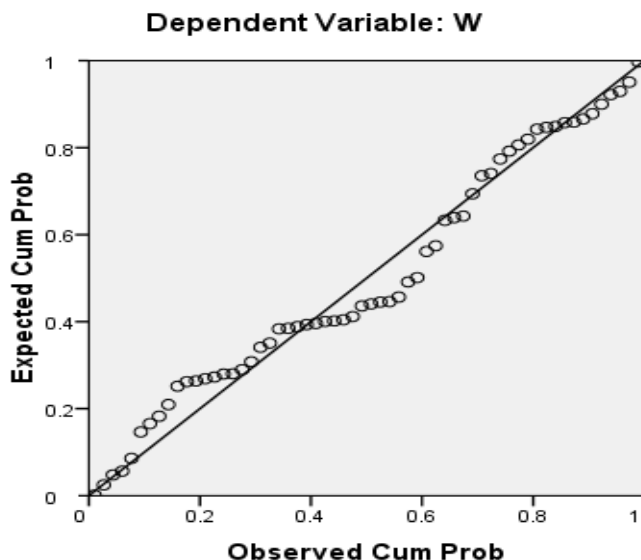
$\ln W = 4.415 - 0.188 \ln d_{50} + 0.101 \ln Q$	الگوی ۱
$W = -1004.237 + 107.662 \ln Q + 402.002 d_{50}^{-0.1} - 27.058 \ln S$	الگوی ۲
$Q : 1400 - 28825.7 m^3 / S$ $d_{50} : 0.165 - 1.05 mm$ $S : 0.01 - 0.62\%$	محدوده داده‌ها
$W : 605 - 1109 m$	

جدول ۶- ویژگی‌های آماری الگوهای ارائه شده برای حالت عریض ( $W \geq 600m$ )

Centered Leverage	Cook's Distance	Std. Residual	VIF	F	Durbin Watson	Adjusted R Square	الگو
[۰, ۰/۱۶۶]	[۰, ۰/۴۹]	[-۲/۳۱۹, ۱/۵۷]	۲/۱۴۷	۳۷۹/۵۱۵	۱/۸۷	۰/۹۳	۱
[۰, ۰/۲۰۱]	[۰, ۰/۶۶۵]	[-۲/۹۷۸, ۲/۷۳۲]	۳/۴۷	۴۸۷/۸۹۶	۲/۱۵	۰/۹۶	۲



شکل ۶- نمودار آسیب‌شناسی (بافت‌نگار) الگوی ۲ حالت عریض ( $W \geq 600m$ )



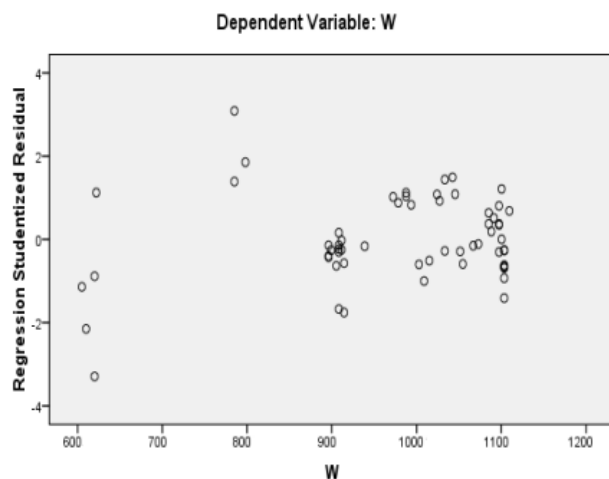
شکل ۷- نمودار آسیب‌شناسی (چندکی) الگوی ۲ حالت عریض ( $W \geq 600m$ )

روش‌های ارائه شده توسط محققین مختلف با هم مقایسه شدند (جدول ۷) و نتایج نشان داد روش بری (۱۹۸۲) بهترین تخمین را دارد. لذا در شکل ۹ فقط این روش با الگوی ۴ این مقاله مقایسه شده است. پراکندگی نقاط برای الگوی ۴ پیشنهادی این مقاله بهترین است. این شکل نشان می‌دهد که الگوی بری فرو برآورد دارد که از نظر ضریب اطمینان طراحی در مسائل مختلف مهندسی روش مناسبی نبوده و استفاده از آن در تخمین عرض ( $W$ ) پیشنهاد نمی‌شود.

برتری الگوها با آماره جذرمیانگین مربعات خطا (RMSE) تعیین می‌شود

مقایسه ودقت الگوهای حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ ):

دقت چهار الگوی معرفی شده در این مقاله و الگوهای سایر پژوهشگران بررسی شد. RMSE های داخل جدول ۷ نشان می‌دهد که کم‌ترین خطا (۴۵/۹) مربوط به الگوی ۴ پیشنهادی این مقاله است. مقادیر عرض مشاهده‌ای و برآوردی برای الگوهای جدول ۷ تهیه و مقایسه شد. چون تعداد نقاط زیاد و الگوها متنوع‌اند، تمامی

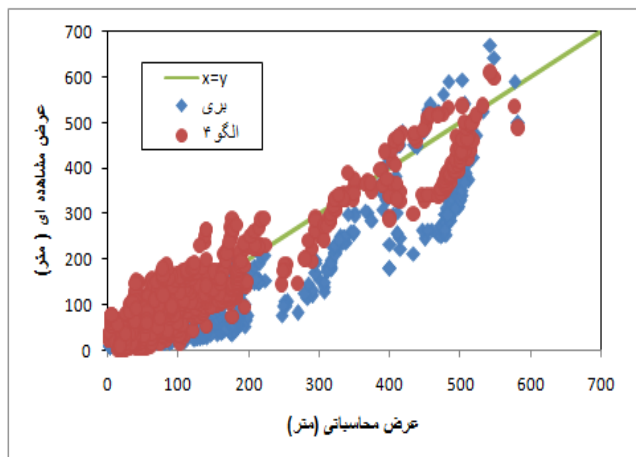


شکل ۸- نمودار آسیب‌شناسی (باقی مانده‌ها در مقابل برآوردها) الگوی ۲ حالت عریض ( $W \geq 600m$ )

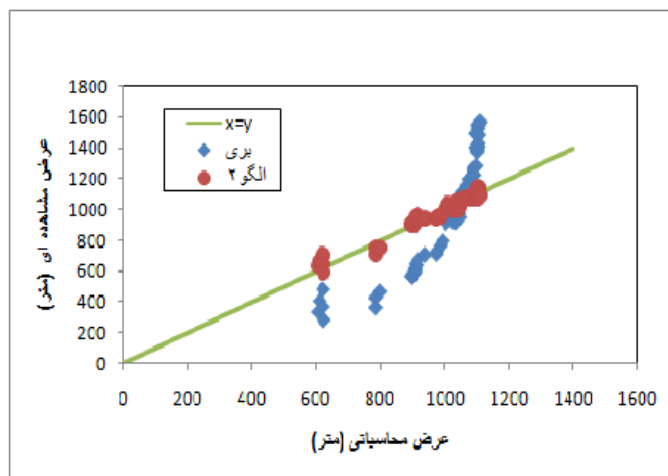
جدول ۷- RMSE روابط تجربی و الگوهای پیشنهادی

ردیف	نام محقق	RMSE(m) ( $W < 600$ )	RMSE(m) ( $W \geq 600$ )
۱	گلور و فلوری (۱۹۵۱)	۱۲۲/۸۵	۷۵۸/۶۴
۲	نیکسون (۱۹۵۲)	۱۳۸/۷	۸۱۶/۸۹
۳	سایمونز و آلبرتسون (۱۹۶۳)	۱۰۷/۹۹	۶۹۵/۳۷
۴	شینتال (۱۹۶۶)	۱۳۲/۰۵	۳۳۳/۶۴
۵	کلرهاز (۱۹۶۷)	۱۳۵/۲۴	۸۰۶/۰۵
۶	کلرهاز (۱۹۶۷)	۹۷/۸۲	۶۴۹/۹۱
۷	پارکر (۱۹۷۹)	۷۹/۴۹	۲۸۱/۸۳
۸	چانگ (۱۹۸۰)	۹۵/۲۲	۶۳۱/۹۴
۹	پارکر (۱۹۸۲)	۳۳۱/۱۹	۱۰۶۱/۵۲
۱۰	بری (۱۹۸۳)	۶۵/۶۸	۴۹۰/۵۲
۱۱	بری (۱۹۸۳)	۹۵/۹	۲۷۵/۳۷
۱۲	اندرو (۱۹۸۴)	۱۱۱/۳۱	۷۳۷/۰۸
۱۳	هی و تورن (۱۹۸۶)	۱۱۸/۶	۷۵۵/۸
۱۴	هی و تورن (۱۹۸۶)	۳۹۳/۳۷	۱۰۱۹۷/۲
۱۵	لینگتن (۱۹۸۷)	۷۷/۰۱	۵۱۱
۱۶	نیل (۱۹۸۸)	۷۲/۵۷	۵۳۸/۸
۱۷	افضلی مهر و همکاران (۲۰۱۰)	۱۱۹۳/۴	۶۰۱۴/۱
۱۸	افضلی مهر و همکاران (۲۰۱۰)	۱۱۵۳/۲	۵۶۷۳/۹
۱۹	جایدی و سلطانی (۱۳۸۷)	۱۰۱	۳۰۳/۱
۲۰	الگوی ۱ ( $W < 600$ )	۴۶/۹	-
۲۱	الگوی ۲ ( $W < 600$ )	۴۶/۳	-
۲۲	الگوی ۳ ( $W < 600$ )	۴۶/۵	-
۲۳	الگوی ۴ ( $W < 600$ )	۴۵/۹	-
۲۴	الگوی ۱ ( $W \geq 600$ )	-	۴۱/۴
۲۵	الگوی ۲ ( $W \geq 600$ )	-	۲۷/۲





شکل ۹- مقایسه عرض ( $W$ ) مشاهده‌ای و تخمین زده شده با استفاده از روش بری (۱۹۸۲) و الگوی (۴) ارائه شده برای حالت کم عرض ( $W < 600m$ )



شکل ۱۰- مقایسه عرض ( $W$ ) مشاهده‌ای و تخمین زده شده با استفاده از روش بری (۱۹۸۲) و الگوی (۲) ارائه شده برای حالت عریض ( $W \geq 600m$ )

این روش با الگوی ۲ این مقاله مقایسه شده است. این شکل نشان می‌دهد که الگوی بری برآورد نارایب و کم‌دامنه دارد که از نظر ضریب اطمینان طراحی در مسائل مختلف مهندسی روش مناسبی نبوده و استفاده از آن در تخمین عرض ( $W$ ) پیشنهاد نمی‌شود. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته الگوی ۲ به عنوان الگوی مناسب و کم خطا برای برآورد عرض کانال پایدار و پهنه سیلابی در مقاطع عریض ( $W \geq 600m$ ) پیشنهاد می‌شود.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف مقاله حاضر ارائه الگویی دقیق‌تر برای تخمین عرض کانال

با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته الگوی ۴ به عنوان الگوی مناسب و کم خطا برای برآورد عرض کانال پایدار و پهنه سیلابی در مقاطع کم عرض ( $W < 600m$ ) پیشنهاد می‌شود.

**مقایسه الگوهای حالت عریض ( $W \geq 600m$ ):** دقت دو الگوی معرفی شده در این مقاله و الگوهای سایر پژوهشگران بررسی شد. RMSE های داخل جدول ۷ نشان می‌دهد که کم‌ترین خطا (۲۷/۲) مربوط به الگوی ۲ پیشنهادی این مقاله است. مقادیر عرض مشاهده‌ای و برآوردی برای الگوهای جدول ۷ تهیه و مقایسه شد. چون تعداد نقاط زیاد و الگوها متنوع‌اند، تمامی روش‌های ارائه شده توسط محققین مختلف با هم مقایسه شدند (جدول ۷) و نتایج نشان داد روش بری (۱۹۸۲) بهترین تخمین را دارد. لذا در شکل ۱۰ فقط

برای حالت عریض ( $W \geq 600m$ ) به دست آمد که نشان برآزش خوب این روابط با داده‌ها است. مقایسه دقت این الگوها و سایر الگوهای ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف نیز بر اساس معیارهای آماری انجام شد. الگوی ۴ در گروه کم‌عرض ( $W < 600m$ ) و الگوی ۲ در گروه عریض ( $W \geq 600m$ ) با دقت‌ترین روابط هستند. بنابراین می‌توان این الگوها را که از نظر آماری و فیزیکی نسبت به الگوهای سایر پژوهشگران برتری دارند برای تخمین عرض رودخانه‌های آبرفتی، پهنه‌های سیلابی، ساماندهی رودخانه‌ها و کانال‌های اصلی آبیاری استفاده کرد.

پایدار ( $W$ ) در رودخانه‌های آبرفتی است. داده‌های ۲۹ رودخانه‌ی پایدار به تعداد ۱۶۴۴ عدد برای تحلیل استفاده شد. داده‌ها نشان داد که  $W$  به دو حالت کم‌عرض ( $W < 600$ ) و عریض ( $W \geq 600$ ) تقسیم می‌شود. الگوهای مختلف خطی و غیرخطی با رگرسیون گام‌به‌گام و استفاده از نرم افزار SPSS16 بر داده‌های هر دسته به طور جداگانه برآزش داده شد. چهار الگو در حالت کم‌عرض ( $W < 600$ ) و دو الگو برای حالت عریض ( $W \geq 600$ ) بهترین رفتار را نشان دادند. خصوصیات آماری الگوها شامل آزمون‌های اولیه و آسیب‌شناسی انجام شد. آزمون‌ها نشان داد که الگوها از نظر آماری مناسب‌اند و قبول می‌شوند. قدرت الگوها (ضریب تعیین)  $0/87$  تا  $0/875$  برای حالت کم‌عرض ( $W < 600m$ ) و از  $0/93$  تا  $0/96$

## منابع

- ۱- افضل‌مهر ح. ۱۳۸۰. طراحی کانال پایدار در بستر شنی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۵ (۳): ۱۷-۳۰.
- ۲- اکبری د، خلیلی د، زندپارسا ش. و جوان م. ۱۳۸۴. بررسی قابلیت کاربرد معادلات رژیم در طراحی مجاری آبرفتی منطقه کامفیروز استان فارس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۲ (۴).
- ۳- جایدری ش. و سلطانی ش. ۱۳۸۷. بهبود معادلات تجربی رژیم رودخانه کشکان با افزایش پارامترها. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، ۲۵-۲۳ مهر، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز.
- ۴- رضایی‌پژند ح. و بزرگ‌نیا الف. ۱۳۸۱. تحلیل رگرسیون غیرخطی و کاربردهای آن
- ۵- ریاحی‌مدوار ح. و ایوب‌زاده س. ۱۳۸۶. پیش‌بینی رفتار کانال‌های پایدار رژیمی با استفاده از سیستم تطبیقی استنتاج فازی-عصبی. اولین همایش ملی سد و سازه‌های هیدرولیکی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
- ۶- ریاحی‌مدوار ح. و ایوب‌زاده س. ۱۳۸۶. پیش‌بینی رفتار کانال‌های پایدار رژیمی با استفاده از شبکه عصبی. اولین همایش ملی سد و سازه‌های هیدرولیکی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج.
- ۷- عبدالحسینی م، افضل‌مهر ح. و مصطفی‌زاده فرد ب. ۱۳۸۵. ارائه معادلات رژیم برای رودخانه کاج. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. بهمن، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 8- Afzalimehr H., Abdolhosseini M, and Singh V.P. 2010. Hydraulic geometry relations for stable channel design. Journal of Hydrological Engineering, 15(10): 859-864.
- 9- Allen P.M., Arlond J.G., and Byars B.W. 1994. Downstream channel geometry for use in planning-model models. Water Resources Bulletin, 30(4): 663-671.
- 10- Anderson R.J., Bledsoe B.P., and Hession W.C. 2004. Width of streams and rivers in response to vegetation, bank material, and other factors. Journal of the American Water Resources Association, 40(5): 1159-1172.
- 11- Belsley D.A., and Welsch R.E. 2004. Regression Diagnostics; John Wiley & Sons, P:314
- 12- Browlie R.W. 1981, Complication of alluvial channel data.
- 13- Chemma N.M., Miguel A.M., and Johannes J.D. 1997. Stable width of an alluvial channel. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 123(1): 55-61.
- 14- Darby S.E. 2005. Refined Hydraulic geometry data for British gravel-bed rivers. Journal of Hydraulic Engineering, 131(1): 60-64.
- 15- Hey R.D. 2006. Fluvial geomorphological methodology for natural stable channel design. American Water resources association, 42(2): 357-386.
- 16- Neil C.R. 1986. Stable channels with mobile gravel beds. Journal of Hydraulic Engineering, 112(8): 671-689.
- 17- Parker G., Wilcok P.R., Paola C., Dietrich W.E., and Pitlick J. 2007. Physical basis for quasi-universal relations describing bankfull hydraulic geometry of single-thread gravel bed rivers. Journal of Geophysical research, 112(f4).
- 18- Sharifi S. and Sterling M. 2010. Using the shiono and knight model to predict sediment transport. European IAHR Congress. Edinburgh, Heriot Watt University.
- 19- Weisberg S. 2005. Applied Linear Regression; John Wiley & Sons, P:335.
- 20- Xu J. 2004. Comparison of hydraulic geometry between sand- and gravel-bed rivers in relation to channel pattern discrimination. Earth surface processes and landforms, 29(5): 645-657.



## Estimating Width of the Stable Channels Using Multivariable Statistical Based Empirical Equations

N. Yousefi<sup>1\*</sup> - S.R. Khodashenas<sup>2</sup>- H. Rezaee Pajand<sup>3</sup>-A.A. Beheshti<sup>4</sup>

Received: 09-07-2013

Accepted: 09-12-2013

### Abstract

Predicting behavior and the geometry of the channels and alluvial rivers in which the erosion and sediment transport are in equilibrium is one of the most important topics in river engineering. Various researchers have proposed empirical equations to estimate stable river width ( $W$ ). Empirical equations were tested with a comprehensive available data set consisting of 1644 points collected from 29 stable rivers. Moreover, these equations are compared with new model in this article for estimating  $W$ . The data set covers a wide range of flow conditions, river geometry, and bed sediments. These data set is classified in two groups ( $W < 600$  m &  $W \geq 600$  m) for presenting new model. The new linear and nonlinear multivariable equations are fitted to these two groups and best models were selected by preliminary tests and diagnostic for each group. The determine coefficient of these models ranged from 0.87 to 0.96. The statistical measures and graphical representations are used to check relative efficiency and accuracy of new model in comparison with previous empirical equations. The results show that the models presented in this paper are more accurate with respect to previously presented models.

**Keywords:** Diagnostic, Alluvial rivers, Determine coefficient, Stable width, Efficiency of model

---

1, 2, 4 - MSc Student, Associate Professor and Assistant Professor of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(\*-Corresponding Author Email: nedayousefi.68@gmail.com)

3- Instructor of Hydrology, Department of Civil, Azad University of Mashhad