

تحلیل آماری رابطه‌های هندسی - هیدرولیکی رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه فیروزه - شاهجوب بجنورد)

محبوبه حاجی بیگلو^{۱*}، عباسعلی قزل سوفلو^۲، محمد تقی دستورانی^۳، بیژن قهرمان^۴ و محمدرضا اختصاصی^۵

چکیده

مطالعه سیستم‌های رودخانه‌ای از جنبه‌های مختلف محیط طبیعی شامل هیدرولوژی، هیدرولیک، فرآیندهای فرسایش و رسوب‌گذاری و همچنین شکل کانال‌های رودخانه‌ای است. بین تغییرات ایجاد شده در متغیرهای مستقل و واکنش متغیرهای وابسته همواره تأخیر زمانی وجود دارد که با مقادیر و حدود تغییرات در متغیرهای مستقل و قابلیت تغییرپذیری متغیرهای وابسته کنترل می‌شود. در این پژوهش، برای بررسی خصوصیات هندسی و هیدرولیکی مقاطع عرضی رودخانه فیروزه - شاهجوب در استان خراسان شمالی بعد از تحلیل نتایج خروجی از مدل هیدرولیکی HEC-RAS، برای دبی با دوره بازگشت ۱۰ ساله برای ۳۷ بازه که در طول رودخانه انتخاب شده بود، اقدام شد. بهترین معادله از بین رابطه‌های رگرسیونی که دارای کمترین خطای استاندارد، کمترین مقدار P-value و ضریب تشخیص بالاتر بود، انتخاب شد. نتایج پژوهش نشان داد که معادله نمایی به‌عنوان معادله مناسب‌تر برای رابطه‌های ژئومتری - کانال برای رودخانه مورد مطالعه است که دارای خطای استاندارد ۰/۰۱۰، ضریب تشخیص ۰/۸۸ و P-value ۰/۰۰۲ نسبت به سایر مدل‌ها بود.

واژه‌های کلیدی: رابطه‌های رگرسیونی، مشخصات هندسی و هیدرولیکی رودخانه، HEC-RAS.

ارجاع: حاجی بیگلو م. قزل سوفلو ع. و دستورانی م. ت. قهرمان ب. و اختصاصی م. ر. ۱۳۹۴. تحلیل آماری رابطه‌های هندسی - هیدرولیکی رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه فیروزه - شاهجوب بجنورد). مجله پژوهش آب ایران. ۱۶: ۱۸۹-۱۹۳.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد.

۳- دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

* نویسنده مسئول: hajibigloo_m@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۰/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۲۷

مقدمه

پژوهش در مورد رابطه‌های بین خصوصیات ژئومتری رودخانه و دبی جریان در آن، سبب افزایش رابطه‌های تجربی مربوطه شده است. رابطه‌های زید ژئومتری-هیدرولیک به دنبال پژوهش پیشگام لئوپولد و مادوک (۱۹۵۳) بود که نشان داد چگونه ژئومتری رودخانه با افزایش دبی جریان به پایین دست برای رودخانه‌ها در محیط‌های مختلف هماهنگی دارد.

هدمان و همکاران (۱۹۷۲) در مطالعه‌ای بر روی ۵۳ آبراهه دائمی در ناحیه‌های کوهستانی ایالت کلرادو آمریکا رابطه زیر را ارائه دادند:

$$Q_2 = 0.991W_d^{1.797} \quad (1)$$

که در آن Q_2 دبی سیلابی با دوره بازگشت ۲ سال بر حسب فوت مکعب بر ثانیه و W_d عرض رودخانه در سطح مرجع نهشته رسوبی بر حسب فوت است.

در مورد ناحیه‌های مرطوب گرمسیری، پیکاپ و وارنر (۱۹۸۴) دو رودخانه در گینه نو را مطالعه کردند و رابطه‌های زیر را ارائه کردند:

$$Q = 0.013W_b^{2.13} \quad r^2 = (0.17) \quad (2)$$

$$Q = 54.9D_b^{1.58} \quad r^2 = (0.17) \quad (3)$$

$$Q = 0.21A_b^{1.17} \quad r^2 = (0.17) \quad (4)$$

محدوده کاربرد W_b (عرض مقطع پر) بین ۳۴۰ - ۱۸۵ متر است. D_b عمق مقطع پر بر حسب متر، A_b سطح مقطع روخانه در مقطع پر بر حسب مترمربع و Q دبی متوسط بر حسب مترمکعب بر ثانیه است.

استیونسن (۲۰۰۹)، طی پژوهشی روی رودخانه کلیرا^۱، تحلیل حساسیت را برای مدل یک بعدی، HEC-RAS انجام داد. تحلیل حساسیت مدل نشان داد زمانی که تغییرات ضریب زبری مانینگ ۵٪ است، تغییرات سطح تراز آب در پایین دست ± 2 سانتی‌متر است، که نشان می‌دهد اگر فرآیند واسنجی به درستی انجام نشود، شبیه‌سازی می‌تواند سبب خطا شود.

در این پژوهش فرض بر این است که تغییرات ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی رودخانه فیروزه-شاهجوب در مقاطع عرضی مختلف (تغییرات عرض، عمق، سرعت آب، دبی، از بالادست به پایین دست) به ویژگی جریان بستگی داشته و از روند ویژه‌ای پیروی می‌کند. از طرفی نوع متغیرهای تأثیرگذار و درجه تأثیر آن‌ها بر مورفولوژی

رودخانه فیروزه-شاهجوب متفاوت بوده و از منطقه‌ای به منطقه دیگر نیز فرق می‌کند.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

حوضه آبریز رودخانه فیروزه - شاهجوب در محل ایستگاه هیدرومتری بابامان که دارای مساحتی حدود ۱۲۳۳ کیلومتر مربع است در استان خراسان شمالی در نزدیکی شهرستان بجنورد واقع شده است. حوضه بالادست این رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری بابامان در حد فاصل طول‌های شرقی $3^\circ 57'$ تا $4^\circ 57'$ و عرض‌های شمالی $14^\circ 37'$ تا $14^\circ 35'$ قرار گرفته است. ارتفاع متوسط حوضه ۱۵۹۶ متر از سطح دریا است.

با توجه به اینکه آمار ۳۵ ساله آبدی رودخانه فیروزه-شاهجوب در محل ایستگاه هیدرومتری بابامان موجود است، از داده‌های متوسط آبدی سالانه ایستگاه بابامان در انتهای بازه مورد مطالعه از سال آبی ۵۳-۱۳۵۲ تا ۸۰-۱۳۷۹ (دوره مشترک آماری با ایستگاه‌های مجاور حوضه) برای بررسی وضعیت آبدی رودخانه مورد نظر استفاده شده است. در رودخانه مورد مطالعه براساس نتایج به دست آمده از نتایج خروجی نرم‌افزار Hyfa توزیع لوگ نرمال سه پارامتره به‌عنوان توزیع مناسب برای برآورد دبی‌های سیلابی انتخاب شد (بی‌نام، ۱۳۸۷).

واسنجی و تحلیل حساسیت مدل هیدرولیکی HEC-RAS

در مطالعات متعددی با توجه به اهمیت نقش سرعت متوسط جریان در پدیده فرسایش و نیز اهمیت عرض سطح آزاد آب و عمق به‌عنوان پارامترهای مؤثر در مورفولوژی رودخانه، حساسیت مدل نسبت به تغییر ضریب مانینگ در مورد سه پارامتر عرض سطح آب، سرعت و عمق جریان بررسی شده است (مهدوی، ۱۳۸۴). برای بررسی بهتر نتایج حاصل از مدل در تحلیل حساسیت، با در نظر گرفتن دقت ۸۰ درصد، تعداد مقاطعی که در آن‌ها درصد حساسیت بیش از ۲۰ درصد است، به‌عنوان خطای کار محاسبه شده‌اند. بنابراین هرچه تعداد این مقاطع در مقایسه با کل مقاطع کمتر باشد نشان دهنده آن است که کار دقت بالایی دارد. برای کمی کردن این موضوع، درصد مقاطعی که تغییرهای آن‌ها بیش از ۲۰ درصد است را از دقت اولیه (۸۰ درصد) کم کنیم و

دقت برآورد مدل $0.73/8$ به دست آمد که به طور کلی مدل دقت قابل قبولی نشان داد. تغییرات پارامتر سرعت، عرض و عمق جریان با تغییرهای ضریب مانینگ در حد قابل قبول است.

نتایج تجزیه رگرسیونی

معادله‌های خطی ساده (درجه ۱) اغلب دارای R^2 و SE بالا و P-value به نسبت بالایی هستند. در الگوهای درجه دوم میزان R^2 بین متغیرها افزایش یافته اما میزان خطای استاندارد نیز بالا است و برخی از متغیرها به دلیل مشکل هم خطی، معنی‌دار نیستند. یعنی P-value متغیرها در سطح 0.1 به خوبی معنی‌دار نیست، پس این گونه مدل‌ها دارای R^2 بالا و P-value پایینی هستند. بنابراین مدل‌های مناسبی تلقی نمی‌شوند. در مدل‌های رگرسیونی درجه سوم، میزان R^2 افزایش یافته که نشان دهنده میزان تأثیر زیاد متغیرها بر دبی رودخانه است اما کلیه متغیرها در سطح 0.1 معنی‌دار نیستند بنابراین الگوهای درجه سوم نمی‌توانند مدل‌های مناسبی برای این رودخانه تلقی شوند. میزان ضریب تبیین به دست آمده در تابع نمایی برای ضریب‌های D, V, A, W که به ترتیب شامل عمق هیدرولیکی جریان، سرعت متوسط جریان، سطح مقطع جریان و عرض مقطع جریان است، از مقادیر مربوط به توابع رگرسیونی ساده، درجه دو و درجه سه بیشتر است. همان‌گونه که از مقدارهای P-value مشاهده می‌شود متغیرها در سطح 0.1 (فاصله اطمینان 99%) به خوبی معنی‌دار و همچنین دارای کمترین خطای استاندارد هستند و مدل‌های مناسبی برای رودخانه مورد بررسی به حساب می‌آیند (جدول‌های ۱ و ۲).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد بهترین معادله برای رابطه‌های ژئومتری-کانال معادله‌های نمایی بوده که از نظر ضریب تبیین، P-value و خطای استاندارد نسبت به مدل‌های خطی ساده، درجه ۲ و درجه ۳ مقادیر قابل قبول‌تری را دارا هستند. همچنین لازم به ذکر است که در مدل نمایی مشکل هم خطی بین متغیرها وجود نداشته و متغیرها بر روی یکدیگر اثر متقابل نداشته باشند. در صورتی که در مدل‌های درجه دوم و سوم به دلیل مشکل هم خطی، این مدل‌ها از اعتبار کافی برخوردار نیستند. مدل‌های مورد

عدد به دست آمده دقت نهایی است (پی‌کاپ و همکاران، ۱۹۷۶).

تحلیل نتایج خروجی مدل هیدرولیکی

برای بررسی ارتباط بین داده‌های هندسی و هیدرولیکی به دست آمده از خروجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS، گام‌های زیر طی شد:

نخست در طول مسیر رودخانه بازه‌هایی براساس شکل پلان طولی رودخانه، وضعیت رسوبات بستر، وضعیت سازه‌های عرضی و جاده انتخاب شد و مقادیر متوسط هر یک از متغیرها از قبیل دبی، عرض، عمق، سطح مقطع و سرعت جریان مربوط به هر یک از مقاطع عرضی موجود در مدل هیدرولیکی برای این بازه‌ها با دوره بازگشت ۱۰ ساله محاسبه شد. سپس آزمون همگنی داده‌ها براساس روش Run Test انجام گردید. آزمون نرمال سازی داده‌ها برای داده‌های همگن شده انجام و مشخص شد که داده‌های عرض، عمق و دبی غیرنرمال بودند پس برای نرمال سازی داده‌ها از لگاریتم متغیرها استفاده شد. برای به دست آوردن رابطه‌های رگرسیونی میزان همبستگی بین متغیرها بررسی شد تا به دنبال رابطه برای پارامترهایی باشیم که بیشترین همبستگی را دارند و در نهایت رابطه‌ای که دارای بیشترین ضریب تبیین^۱، کمترین خطای استاندارد^۲ و کمترین P-value^۳ باشد، به عنوان رابطه مناسب انتخاب شد (عباسی، ۱۳۸۸).

نتایج و بحث

در بازه اول رودخانه فیروزه (از $2/5$ کیلومتری بالادست روستای فیروزه در مسیر رودخانه تا پایین دست رودخانه و بعد از گذر از مجتمع تفریحی بش قارداش تا محل پیوستن شاخه چناران) تعداد مقاطع 1621 و میزان دقت برآورد مدل به ازای 20% تغییر ضریب مانینگ برای عرض سطح آب برابر $62/92\%$ است. در بازه دوم رودخانه شاهجوب (محل اتصال شاخه فرعی حمید به آبراهه اصلی) که تعداد مقاطع 143 است میزان دقت برآورد مدل برای همان پارامتر $72/31\%$ می‌باشد. در بازه سوم رودخانه شاهجوب (بعد از شهر بجنورد و در محل ایستگاه هیدرومتری بابامان است)، تعداد مقاطع 145 و میزان

1- Coefficient of Determination
2- Standard Error
3- Probability Value

این تغییرها در مقادیر ضریب‌ها و نماهای رابطه‌های بالا تنها به علت تغییر دبی نبوده بلکه ناشی از شکل هندسی- هیدرولیکی مجرای جریان هستند. شکل هندسی- هیدرولیکی نیز با اندازه ذرات و میزان حمل رسوب (که اندازه به مقاومت جریان مربوط است) و فرسایش‌پذیری ساحل‌ها (که متأثر از میزان چسبندگی مواد ساحلی و وجود پوشش گیاهی در آن است) کنترل می‌شود.

نظر (درجه دوم و سوم) هم از نظر P-value و هم خطای استاندارد از اعتبار کافی برخوردار نبودند. پس مدل نمایی به دلیل‌های هم خطی نبودن، P-value کمتر از ۰/۱ و خطای استاندارد کمتر نسبت به مدل‌های دیگر، به عنوان مدل مناسب‌تر معرفی شد، که با نتایج حاصل از نتایج پژوهش‌های لئوپولد و مادوک (۱۹۵۳)، هدمان (۱۹۷۲)، موزلی (۱۹۷۹)، کلین (۱۹۸۱) و نجفی (۱۳۸۳) هم‌خوانی دارد (جدول ۳).

جدول ۱- نتایج الگوهای برآوردی متغیر وابسته (دبی جریان) و متغیر مستقل (سرعت متوسط، سطح مقطع، عمق هیدرولیکی و عرض متوسط مقاطع)

شاخص آماری	W	A	V	D
خطای استاندارد (SE)	۰/۰۴۲	۰/۰۵۷	۰/۰۱۰	۰/۱۲۱
P-value	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
ضریب تبیین (R ²)	۰/۳۸	۰/۸۸	۰/۴۸	۰/۶۴
رابطه‌های به دست آمده	$Q = 1.645 W^{0.130}$	$Q = 1.404 A^{0.559}$	$Q = 1.929 V^{-0.119}$	$Q = 1.78 D^{0.254}$

جدول ۲- نتایج الگوهای برآوردی متغیر وابسته (عرض متوسط مقاطع) و متغیر مستقل (سرعت متوسط، دبی)

شاخص آماری	V	Q
خطای استاندارد (SE)	۰/۰۱۲	۰/۰۸۳
سطح معنی‌داری (P-value)	۰/۰۰۰	۰/۰۲
ضریب تشخیص (R ²)	۰/۷۳	۰/۷۳
رابطه‌های به دست آمده		$W = 2.012 V^{-0.423} Q^{1.253}$

جدول ۳- معادله‌های پیشنهادی برای استخراج رابطه‌های عرض، عمق و سرعت متوسط جریان در رودخانه‌ها

سرعت جریان (V)	عمق هیدرولیکی (D)	عرض رودخانه (W)	کارشناس پیشنهاد کننده
KQ^{-1}	$CQ^{-1/4}$	$AQ^{-1/5}$	لئوپولد و مدداک
$0.18 Q^{-0.167}$	$0.164 Q^{-0.23}$	$2/6 Q^{-0.5}$	لیسی
$0.18 Q^{-0.2}$	$0.1715 Q^{-0.3}$	$2/45 Q^{-0.5}$	پتیس
$0.18 (D)^{-0.6} (S)^{-0.29}$	$0.1266 Q^{-0.33}$	$2/38 Q^{-0.527}$	بری
-	-	$3/6 Q^{-0.42}$	اکرز و چارلتون
-	-	$KQ^{-0.5}$	اسمیت
$1/82 Q^{-0.12}$	$1/68 Q^{-0.33}$	$1/31 Q^{-0.33}$	پژوهش حاضر

۳. مهدوی م. ۱۳۸۴. هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم).

چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۳۵ ص

۴. نجفی م. جمیری م. ۱۳۸۴. برآورد دبی‌های سیلابی براساس خصوصیات هندسی و هیدرولیکی رودخانه، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۶(۲۴): ۱۱۱-۱۲۲.

5. Hedman E. R. Moore D. O. and Livingston R. K. 1972. Selected streamflow characteristics as related to channel geometry of perennial streams in Colorado. US Geol. Survey Open-file

منابع

۱. بی‌نام. ۱۳۸۷. گزارش مطالعات هیدرولیک و هیدرومورفولوژی حوزه رودخانه فیروزه- شاه‌جوب. مهندسين مشاور کاوش پی مشهد.
۲. عباسی الف. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات مکانی مورفولوژی مسیل‌ها (رودخانه‌های موقتی) مطالعه موردی: رودخانه‌های استان یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

- Report. 14 p.
6. Klein M. 1981. Drainage area and the variation of channel geometry downstream. *Earth Surface Processes and Land forms*. 6: 589-593.
 7. Leopold L. B. and Maddock T. 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. United States Geological Survey Professional Paper 252. 57 p.
 8. Mosley. M. P. 1979. Prediction of Hydrologic Variables from Channel Morphology, South Island River. *Journal of Hydrology (NZ)*. 109-120.
 9. Pickup G. and Warner R. F. 1976. Effects of hydrologic regime on magnitude and frequency of dominant discharge. *Journal of Hydrology*. 29(1-2): 51-75.
 10. Stevenson D. 2009. 1D HEC RAS model and sensitivity analysis for River Clair from 1971 – 2007, international upper Great Lakes study, 234 Laurie, 22nd floor.

